UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

ANÁLISIS DE LOS FACTORES QUE AFECTAN EL LARGO DE GESTACIÓN SOBRE BOVINOS DE RAZA "WAGYU"

por

Francisco BISIO LANDONI

Tomás GARCÍA SAINZ RASINES

Trabajo final de grado
presentado como uno de los
requisitos para obtener el
título de Ingeniero Agrónomo

MONTEVIDEO

URUGUAY

2026

Este Trabajo Final de Grado se distribuye bajo licencia

“Creative Commons **Reconocimiento – No Comercial – Sin Obra Derivada**”.



PÁGINA DE APROBACIÓN

Trabajo final de grado aprobado por:

Directora: _____

Ing. Agr. (Dra.) Ana Carolina Espasandín Mederos

Co-director: _____

Lic. Bioq. (Dr.) Andrés Rogberg

Tribunal:

_____

Lic. Bioq. (Dr.) Andrés Rogberg Muñoz

_____

Ing. Agr. (Mag.) Micaela Botta Areal

_____

Lic. Bioq. (Dra.) Ana Laura Sánchez

Fecha: 28 de setiembre de 2026

Estudiantes: _____

Francisco Bisio Landoni

_____

Tomás García Sainz Rasines

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, queremos agradecer a nuestra tutora, Ing. Agr. PhD. Ana C. Espasandín, por el tiempo dedicado a este trabajo y el continuo apoyo hacia nosotros durante todo este proceso.

A nuestras familias y amigos, por estar siempre para apoyarnos durante toda la carrera.

Al establecimiento "El Oriental" y a la familia Rogberg, por facilitarnos los datos y su buena disposición para llevar a cabo este trabajo.

Finalmente, agradecemos a todas aquellas personas que, de una u otra manera, contribuyeron a que este trabajo pudiera concretarse.

TABLA DE CONTENIDO

PÁGINA DE APROBACIÓN 3
LISTA DE TABLAS Y FIGURAS 7
RESUMEN 8
ABSTRACT 9
1. INTRODUCCIÓN 10
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA 12
2.1. Definición de largo de gestación y los factores que lo afectan 12
2.2. Factores fetales 13
2.3. Factores maternos 14
2.4. Factores ambientales 15
2.5. Factores genéticos 15
2.6. Características productivas y adaptativas del ganado Wagyu 19
3. HIPÓTESIS 21
4. MATERIALES Y MÉTODOS 22
4.1. Localización del experimento 22
4.2. Animales 22
4.3. Depuración de la base de datos 24
4.4. Variables de respuesta 25
4.5. Análisis estadístico 25
4.5.1. Análisis de Varianza y comparación de medias 25
4.5.2. Análisis de heredabilidad y correlación genética 26
5. RESULTADOS 28
5.1. Caracterización del largo de gestación 28
5.2. Análisis de Varianza a partir del Modelo 1 28
5.3. Análisis de Varianza a partir del Modelo 2 33
6. DISCUSIÓN 37
6.1. Efecto del año de parto 37
6.2. Efecto del sexo del ternero 37
6.3. Efecto del genotipo de la madre 38
6.4. Relación entre LDG y Peso al nacer 38
6.5. Disociación entre genotipo materno sobre LDG y Peso al Nacer 38
6.6. Heredabilidad del Largo de Gestación 39

6.7. Correlación genética LDG y Peso al Nacer 39
7. CONCLUSIÓN 40
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 41

LISTA DE TABLAS Y FIGURAS

Tabla n.

Tabla 1 *Duración de la gestación (días) según sexo del ternero y edad de la madre* 14
Tabla 2 *Duración de la gestación (días) en función del sexo del feto y la paridad* 15
Tabla 3 *Duración promedio de la gestación según la raza bovina* 16
Tabla 4 *Medias corregidas para largo de gestación de diferente composición racial* ... 18
Tabla 5 *Largo de gestación promedio según raza paterna* 19
Tabla 6 *Caracterización general de la base de datos original* 22
Tabla 7 *Composición racial del ternero según el genotipo de la madre* 23
Tabla 8 *Distribución de la muestra según año de parto* 23
Tabla 9 *Distribución cruzada de sexo del ternero y genotipo materno (GENOMAD)* ... 24
Tabla 10 *ANAVA — efectos fijos sobre LDG* 29
Tabla 11 *LDG por Año de parto - medias ajustadas con letras (Tukey-Kramer)* 30
Tabla 12 *Medias ajustadas, errores estándar y diferencias Tukey para Largo de Gestación según sexo del ternero* 31
Tabla 13 *Regresión lineal y cuadrática entre Peso al Nacer y LDG, general y por genotipo materno* 31
Tabla 14 *Resultados del Análisis de Varianza para peso al nacer* 32
Tabla 15 *Medias ajustadas y Errores Estándar para Pesos al Nacer según los años de parto analizados* 32
Tabla 16 *Medias, errores estándar y diferencias de Tukey para peso al nacer según sexo del ternero* 33
Tabla 17 *Peso al nacer por GENOMAD (genotipo materno)* 33
Tabla 18 *Cuadro de ANAVA completo — Modelo LDG con efecto Padre* 34
Tabla 19 *Componentes de varianza — Modelo LDG con efecto Padre* 34
Tabla 20 *Parámetros derivados para el cálculo de Heredabilidad* 34
Tabla 21 *Componentes de varianza y heredabilidad de Largo de Gestación y Peso al Nacer (modelos univariados)* 35
Tabla 22 *Covarianza, Varianza y Correlación genética entre LDG y Peso al Nacer* 36

Figura n.

Figura 1 *Factores que influyen sobre el largo de la gestación en bovinos* 12
Figura 2 *Distribución del largo de gestación, media del rodeo y referencia nacional* ... 28

RESUMEN

El largo de gestación (LDG) es un indicador reproductivo clave en la cría bovina, ya que condiciona el intervalo entre partos y la posibilidad de lograr un ternero por vaca por año. El ganado Wagyu, raza originaria de Japón valorada por la calidad de su carne, fue introducido en Uruguay en 2003. Dos años después fue incorporado por la familia Rogberg en el establecimiento "El Oriental" (Soriano), donde ha sido objeto de diversos estudios productivos; sin embargo, el LDG de esta raza no había sido estudiado previamente en condiciones productivas nacionales. El objetivo de este trabajo fue analizar la variabilidad del LDG en bovinos Wagyu puros y sus cruzas con Holando y Angus en dicho establecimiento, evaluando el efecto del genotipo materno, el año de parto y el sexo del ternero sobre la duración de la gestación y sobre el peso al nacer. Se analizaron 624 eventos de gestación registrados entre 2017 y 2025, correspondientes a 416 vacas (Wagyu puras y cruzas F1 y F2 con Holando o Angus) y 31 toros Wagyu, con todas las concepciones obtenidas mediante inseminación artificial a tiempo fijo. El LDG se calculó como la diferencia entre las fechas de parto y de concepción. Se ajustó un modelo mixto con año de parto, genotipo materno, sexo del ternero y peso al nacer como efectos fijos, e identidad de la madre como efecto aleatorio, estimado por máxima verosimilitud restringida. Para analizar el peso al nacer se ajustó el mismo modelo, sin incluir el peso al nacer como efecto fijo. Un segundo modelo, con el padre como efecto aleatorio, permitió estimar la heredabilidad del LDG y su correlación genética con el peso al nacer. El LDG promedió 286,2 ± 5,5 días (rango 261-299 días), de 3 a 5 días superior al reportado para el ganado de carne uruguayo. El año de parto y el sexo del ternero afectaron significativamente el LDG (los machos gestaron en promedio un día más que las hembras), mientras que el genotipo materno no mostró efecto significativo. En cambio, las tres variables afectaron significativamente el peso al nacer. El peso al nacer se asoció positiva y significativamente con el LDG, aunque explicó solo una fracción reducida de su variación total. La heredabilidad estimada del LDG fue de 0,224 ± 0,106, y se observó una tendencia, no significativa, hacia una correlación genética negativa entre el LDG y el peso al nacer. Los resultados indican que el LDG del ganado Wagyu criado en Uruguay es superior al de las razas de carne tradicionales, con implicancias directas sobre el margen disponible para lograr un ternero por vaca por año. El genotipo materno no determina la duración de la gestación, resultado consistente con el marco teórico planteado, mientras que el cruzamiento permite regular el peso al nacer sin modificar la fecha esperada de parto, lo que facilita la planificación reproductiva del rodeo.

Palabras clave: largo de gestación, Wagyu, peso al nacer, heredabilidad, cruzamiento

ABSTRACT

Gestation length (GL) is a key reproductive indicator in beef cattle breeding, as it determines the calving interval and the possibility of achieving one calf per cow per year. Wagyu cattle, a breed originally from Japan valued for its meat quality, were introduced to Uruguay in 2003. Two years later, the breed was incorporated by the Rogberg family at the "El Oriental" farm (Soriano), where it has been the subject of several production studies; however, GL in this breed had not previously been studied under Uruguayan production conditions. The objective of this study was to analyze the variability of GL in purebred Wagyu cattle and their crosses with Holstein and Angus at this farm, evaluating the effect of maternal genotype, year of calving, and calf sex on gestation duration and birth weight. A total of 624 gestation events recorded between 2017 and 2025 were analyzed, corresponding to 416 cows (purebred Wagyu and F1 and F2 crosses with Holstein or Angus) and 31 Wagyu bulls, with all conceptions obtained through fixed-time artificial insemination. GL was calculated as the difference between calving date and conception date. A mixed model was fitted including year of calving, maternal genotype, calf sex, and birth weight as fixed effects, and dam identity as a random effect, estimated by restricted maximum likelihood. To analyze birth weight, the same model was fitted without birth weight as a fixed effect. A second model, with sire as a random effect, allowed estimation of GL heritability and its genetic correlation with birth weight. Mean GL was 286.2 ± 5.5 days (range 261-299 days), 3 to 5 days longer than reported for Uruguayan beef cattle. Year of calving and calf sex significantly affected GL (males gestated on average one day longer than females), while maternal genotype showed no significant effect. In contrast, all three variables significantly affected birth weight. Birth weight was positively and significantly associated with GL, although it explained only a small fraction of its total variation. Estimated GL heritability was 0.224 ± 0.106, and a non-significant trend toward a negative genetic correlation between GL and birth weight was observed. The results indicate that GL in Wagyu cattle raised in Uruguay is longer than in traditional beef breeds, with direct implications for the margin available to achieve one calf per cow per year. Maternal genotype does not determine gestation duration, a result consistent with the proposed theoretical framework, while crossbreeding allows birth weight to be managed without altering the expected calving date, facilitating reproductive planning at herd level.

Keywords: gestation length, Wagyu, birth weight, heritability, crossbreeding

1. INTRODUCCIÓN

Los indicadores reproductivos resumen el proceso llevado a cabo durante el manejo del rodeo de cría. Disponer de registros de los animales es de suma importancia para la obtención de estos indicadores. En la cría, la duración del periodo de gestación, el intervalo de tiempo entre partos y el número de terneros que nacen por año son herramientas que permiten analizar y tomar decisiones de manejo en el establecimiento.

El largo de gestación es el periodo de tiempo comprendido entre la concepción del ternero y el nacimiento (Bavera, 2000). Su duración va a estar afectando el momento en el que la vaca pueda volver a ciclar y por lo tanto volver a concebir un ternero. Factores tales como la edad de la madre, características fetales como el sexo y la raza, y factores ambientales como la nutrición, entre otros, estarían determinando el largo de gestación que para ganado bovino se encuentra en torno a los 280 a 283 días (Bavera, 2000; Norman et al., 2009).

Originario de Japón, el Wagyu es una raza que ha tomado importancia a nivel mundial debido a las características únicas de su carne (Hirooka, 2014; Motoyama et al., 2016). El sabor y la terneza debido al marmóreo entre otras características hacen a esta carne una materia prima muy interesante y de alto coste en el mercado gastronómico (Hirooka, 2014; Motoyama et al., 2016). Por otra parte, se destacan dos características asociadas a la cría; un bajo peso al nacer lo cual disminuye los problemas al parto (Inthamoussu Pereyra & Vera Young, 2022) y una alta precocidad y fertilidad en la actividad sexual (Mazolla, 2022).

Esta raza fue introducida al país en el año 2003 a través de la importación de embriones originarios de Australia, los cuales fueron implantados en madres receptoras. En 2005 fue incorporada por la familia Rogberg en el establecimiento "El Oriental", que posee uno de los rodeos más antiguos del país y cuenta actualmente con 120 madres de la raza (A. Rogberg, comunicación personal, 28 de setiembre, de 2026).

En este establecimiento se han realizado numerosos estudios en colaboración con la Facultad de Agronomía, la mayoría de ellos enfocados en aspectos productivos. Sin embargo, no se registran antecedentes de investigaciones sobre la duración del período de gestación. En este contexto, surge como una alternativa pertinente y de gran interés profundizar en el estudio de esta característica.

El objetivo central de estudio de este trabajo fue analizar la variabilidad del largo de gestación en animales de la raza Wagyu del establecimiento “El Oriental” ubicado en el departamento de Soriano, Uruguay.

Como objetivos específicos se plantea evaluar, en vacas de cría Wagyu puras y cruzas con Angus y Holando, el efecto de los siguientes factores sobre el largo de gestación y el peso al nacer:

- Genotipo materno
- Año de parto
- Sexo del ternero

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Definición de largo de gestación y los factores que lo afectan

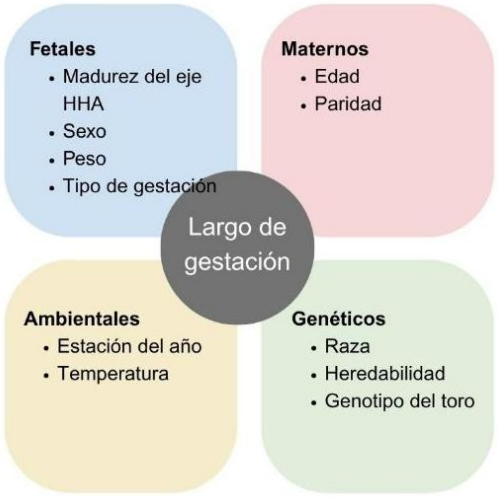
Una de las principales dificultades que enfrentan actualmente los sistemas de cría de ganado vacuno es alcanzar un ternero por vaca por año. Este objetivo puede verse comprometido por diferentes factores, entre los que se destacan los períodos de anestro prolongados y gestaciones que se extienden en el tiempo (Mee, 2024), los cuales afectan directamente la eficiencia reproductiva del rodeo. El intervalo entre partos debe ser en torno a los 365 días, lo que implica que la vaca de cría logre un ternero por año (Silva et al., 1992). Considerando que la duración promedio del período de gestación es de aproximadamente 281-283 días (Espasandín et al., 2006), el tiempo disponible para que el animal recupere su status nutricional y vuelva a entrar en celo se reduce a 82 días, por lo cual resulta de gran importancia el manejo del ganado durante este período.

El largo de gestación se define como el periodo comprendido entre la concepción y el parto. Si bien su duración está determinada genéticamente, puede verse influenciada por factores maternos, fetales, genéticos y ambientales (Jainudeen & Hafez, 2000).

En la Figura 1 se presenta un esquema resumido que permite visualizar de manera general los principales factores que influyen sobre el largo de la gestación en bovinos.

Figura 1

Factores que influyen sobre el largo de la gestación en bovinos



Nota. Adaptado de Andersen y Plum (1965), Jainudeen y Hafez (2000) y Norman et al. (2009).

La Figura 1 esquematiza los principales factores que influyen sobre el largo de gestación en bovinos, agrupados en cuatro categorías: fetales, maternos, ambientales y genéticos. Esta clasificación evidencia que el largo de gestación es un carácter de origen multifactorial, en el que interactúan componentes propios del feto, de la madre, del ambiente y de la genética del padre.

La determinación de este parámetro de interés se encuentra influenciada por diversos factores, los cuales se desarrollan a continuación.

2.2. Factores fetales

Dentro de los factores que afectan el largo de la gestación, los de origen fetal juegan un rol determinante, ya que es el propio feto quien, a través de señales hormonales, desencadena el inicio del parto (Jainudeen & Hafez, 2000). Entre los principales factores fetales se destacan la madurez del eje hipotálamo-hipófisario-adrenal (Jainudeen & Hafez, 2000), sexo (Bavera, 2000; Norman et al., 2009), peso (Andersen & Plum, 1965; Norman et al., 2009) y el tipo de gestación (Norman et al., 2009).

De esta manera, la madurez del eje hipotálamo-hipófisario-adrenal (HHA) fetal cumple un rol clave en el inicio del parto en los bovinos (Jainudeen & Hafez, 2000). A medida que el feto se desarrolla, sus glándulas adrenales comienzan a producir cortisol, una hormona que desencadena cambios endócrinos a nivel placentario y uterino (Jainudeen & Hafez, 2000).

En la vaca, se ha comprobado que el cortisol fetal estimula la producción de enzimas placentarias necesarias para la síntesis de estrógenos y prostaglandinas (Schuler et al., 2006a, 2006b, como se citan en Taverne & Noakes, 2019). Estas hormonas provocan la regresión del cuerpo lúteo, la disminución de la progesterona y la preparación del útero para las contracciones, permitiendo el inicio del parto (Taverne & Noakes, 2019).

En este sentido, si bien la madurez endócrina no determina por sí sola la duración de la gestación, sí constituye el mecanismo fetal que desencadena el parto. Se ha comprobado que alteraciones en el funcionamiento de este eje pueden dar lugar a gestaciones prolongadas (Mee, 2024).

En relación al sexo del ternero, diversos autores han demostrado que las gestaciones que dan origen a terneros machos suelen presentar una duración levemente mayor, en

comparación con aquellas que dan origen a hembras, con diferencias que oscilan entre uno y dos días (Andersen & Plum, 1965; Jainudeen & Hafez, 2000).

Otro factor influyente es el peso del feto al nacer, que muestra una correlación positiva con la duración de la gestación. Los terneros de mayor peso suelen nacer luego de gestaciones más prolongadas (Brakel et al., 1952).

El tipo de gestación también juega un rol importante. Diversos estudios han demostrado que las gestaciones múltiples tienden a ser más cortas que las simples, con diferencias promedio de entre 3 y 4 días (Brakel et al., 1952).

2.3. Factores maternos

Los factores maternos también desempeñan un papel relevante en la duración del período de gestación. Uno de los aspectos más estudiados es la edad de la vaca gestante. Diversos estudios sugieren que las vacas de mayor edad tienden a presentar gestaciones ligeramente más prolongadas en comparación con las vacas jóvenes (Brakel et al., 1952).

Otros estudios, como los de Bourdon y Brinks (1982), evaluaron la duración de la gestación en función de la edad de la vaca, desde los 2 años hasta categorías de mayor edad que incluye vacas de entre 5 y 10 años. Los resultados se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1

Duración de la gestación (días) según sexo del ternero y edad de la madre

Edad madre	**Largo de Gestación (Días) Machos**	**Largo de Gestación (Días) Hembras**
2	281,5 ± 0,6	280,9 ± 0,6
3	283,2 ± 0,5	281,2 ± 0,5
4	283,1 ± 0,5	281,8 ± 0,5
5 a 10	283,7 ± 0,5	282,2 ± 0,4
11	283,0 ± 1,0	280,8 ± 0,9
Promedio	**282,9 ± 0,4**	**281,4 ± 0,4**

Nota. Tomado de Bourdon y Brinks (1982).

La paridad (número de partos previos) también se ha asociado con variaciones en la duración de la gestación. Diversos estudios han reportado que las vacas primíparas

tienden a presentar gestaciones ligeramente más cortas en comparación con las multíparas (Norman et al., 2009). En la misma línea, Azzam y Nielsen (1987) observaron que la duración de la gestación se incrementa a medida que aumenta el número de partos (Tabla 2).

Tabla 2
Duración de la gestación (días) en función del sexo del feto y la paridad

Paridad	**1 LG (Días)**	**2 LG (Días)**	**3 LG (Días)**
Machos	284,3 ± 0,2	286,9 ± 0,3	287,2 ± 0,4
Hembras	282,9 ± 0,2	284,7 ± 0,3	285,4 ± 0,4
Mellizos	278,9 ± 0,7	279,3 ± 0,5	280,1 ± 0,5

Nota. Tomado de Azzam y Nielsen (1987).

2.4. Factores ambientales

Diversos factores ambientales pueden influir sobre la duración del período de gestación en bovinos, entre los que se destacan la nutrición, la temperatura ambiente y la estación del año, aunque su influencia es menor en comparación con los factores genéticos (Mee, 2024).

En relación con la estación del año, se han reportado gestaciones más cortas en los meses de verano y otoño en comparación con la primavera (Andersen & Plum, 1965; Bavera, 2000).

Además, algunos autores han reportado que las altas temperaturas pueden influir sobre la duración de la gestación, observándose en ciertos casos una reducción del período gestacional en ambientes cálidos (Andersen & Plum, 1965). Sin embargo, otros estudios no han encontrado diferencias significativas entre ambientes calurosos y fríos, lo que sugiere que el efecto de la temperatura puede ser variable (Silva et al., 1992).

2.5. Factores genéticos

El componente genético representa una de las influencias más estables sobre la duración del período de gestación en bovinos, siendo considerado el factor de mayor importancia (Mee, 2024). A diferencia de los factores ambientales, la genética establece límites fisiológicos heredables, tanto a nivel fetal como materno (Andersen & Plum, 1965; Norman et al., 2009).

Uno de los elementos más estudiados es la raza, ya que existen diferencias bien documentadas entre razas bovinas en cuanto a la duración promedio de la gestación. Por ejemplo, razas de carne como Angus y Hereford presentan gestaciones de 278 y 285 días respectivamente, mientras que razas lecheras como Holstein-Friesian promedian 279 días. Asimismo, algunas razas pueden presentar períodos de gestación más prolongados, en algunos casos superiores a los 285 días, como es el caso de Simmental, Brown Swiss y Brahman (Bavera, 2000). Estas diferencias pueden visualizarse en la Tabla 3.

Tabla 3

Duración promedio de la gestación según la raza bovina

Raza bovina	Duración promedio de gestación (días)
Angus	278
Jersey	279
Holando	279
Shorthorn	282
Hereford	285
Charolaise	286
Simmental	289
Brown Swiss	290
Brahman	292

Nota. Adaptado de Bavera (2000).

Bavera (2000) señala que animales de raza Angus presentan gestaciones más cortas en comparación con razas como Hereford o Shorthorn. Asimismo, observa que en cruzamientos Angus × Hereford la duración de la gestación tiende a incrementarse, siendo menor a medida que aumenta la proporción de Angus en la descendencia. Estos resultados sugieren que el largo de la gestación está influido por el genotipo del ternero, evidenciando un efecto relevante del componente paterno en la duración de este período.

La heredabilidad del largo de gestación suele ser baja a moderada, con valores reportados entre 0,22 y 0,60 (Bavera, 2000), lo que indica que existe variación genética suficiente como para que la selección influya significativamente sobre este rasgo. En este sentido, Norman et al. (2009) concluyen que el largo de gestación es moderadamente heredable y susceptible de cambio rápido bajo selección.

En la misma línea, Gimeno et al. (2002) reportan que las diferencias en la duración de la gestación entre razas se deben a efectos genéticos aditivos, destacándose una mayor duración en razas cebuínas como Nelore, con incrementos de aproximadamente 13 días. Estos resultados pueden observarse en la Tabla 4, donde se presentan diferentes combinaciones genéticas, incluyendo razas puras, cruzamientos simples, primeras retrocruzas y F2. En particular, se evidencia que, al cruzar razas de menor tamaño corporal, como Angus, con toros de razas cebuínas como Nelore, la duración de la gestación aumenta, lo que refuerza la importancia del genotipo del ternero en la determinación de este rasgo (Gimeno et al., 2002).

Tabla 4

Medias corregidas para largo de gestación de diferente composición racial

Padres	Madres	Número	Largo de Gestación
Raza pura			
Hereford	Hereford	52	281
Cruza simple			
Angus	Hereford	42	279
Nelore	Hereford	30	290
Salers	Hereford	46	283
Primeras retrocruzas			
Angus	Angus-Hereford	68	281
Hereford	Angus-Hereford	70	281
Nelore	Nelore-Hereford	55	291
Hereford	Nelore-Hereford	62	285
Salers	Salers-Hereford	88	282
Hereford	Salers-Hereford	89	281
F2			
Angus-Hereford	Angus-Hereford	51	280
Nelore-Hereford	Nelore-Hereford	35	287
Salers-Hereford	Salers-Hereford	56	282

Nota. Rasgos productivos y reproductivos de hembras cruza de origen británica, continental y cebuína en el Uruguay. Adaptado de Gimeno et al. (2002).

El genotipo del toro también juega un rol relevante en la determinación del largo de gestación. Diversos estudios han demostrado que la raza paterna influye significativamente sobre la duración del período gestacional, siendo este efecto independiente de la raza de la madre. En particular, Cundiff et al. (2001) evaluaron el efecto de diferentes razas paternas sobre el largo de gestación en cruzamientos con vacas Angus, Hereford y MARC III, encontrando diferencias significativas entre razas paternas. Los resultados se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5
Largo de gestación promedio según raza paterna

Raza paterna	Largo de gestación (días)
Wagyu	286,9
Hereford	284,1
Norwegian Red	282,6
Angus	282,3
Swedish Red and White	281,8
Friesian	281,4

Nota. Adaptado de Cundiff et al. (2001).

Los toros Wagyu produjeron las gestaciones más prolongadas, significativamente más largas que todas las demás razas estudiadas. Los toros Hereford produjeron gestaciones significativamente más largas que Angus, Norwegian Red, Swedish Red and White y Friesian, mientras que estas últimas cuatro razas no difirieron entre sí. Esto es consistente con lo reportado por Gimeno et al. (2002), quienes observaron que las diferencias en el largo de gestación entre cruzamientos están determinadas principalmente por efectos aditivos individuales del genotipo del ternero, siendo la raza del padre un componente central en dicha determinación. En la misma línea, Brakel et al. (1952) encontraron diferencias significativas entre sementales dentro de razas para el largo de gestación en ganado lechero, confirmando el rol del componente paterno en la expresión de este rasgo. Resultados similares fueron reportados en Uruguay por Frontini Luvizio y Rachetti Olaso (1999), quienes también encontraron un efecto significativo del padre anidado dentro de la raza, tanto en vacas como en vaquillonas Hereford cruzadas con diferentes razas paternas, reforzando la idea de que la variabilidad dentro de una misma raza contribuye a las diferencias observadas en el largo de gestación.

Estos resultados refuerzan la importancia de considerar la raza y el genotipo del toro al momento de planificar el manejo reproductivo del rodeo.

2.6. Características productivas y adaptativas del ganado Wagyu

El ganado Wagyu, como su nombre lo indica ('Wa' significa 'japonés' y 'gyu' significa 'ganado'), se originó a partir de razas nativas japonesas que evolucionaron adaptándose a las condiciones climáticas y ambientales particulares de Japón (Motoyama et al., 2016).

Históricamente, estas razas fueron criadas en condiciones de aislamiento genético durante más de 200 años, lo que favoreció la fijación de características productivas únicas (Namikawa, 1992). Durante el invierno, la disponibilidad de forraje verde (fuente principal de vitamina A) se reduce drásticamente debido al marchitamiento de las plantas y a la acumulación de nieve. Esta carencia estacional habría favorecido deficiencias nutricionales en el ganado, particularmente de vitamina A. Según Hirooka (2014), tales condiciones habrían favorecido un proceso de selección natural y artificial hacia animales con mayor capacidad de almacenar dicha vitamina, la cual se acumula principalmente en el tejido adiposo, promoviendo así un fenotipo con mayor desarrollo de grasa intramuscular (marmoleo).

Una de las principales ventajas del ganado Wagyu es el bajo peso al nacer de sus terneros. En Uruguay, estudios han reportado un peso promedio de 26,3 kg en terneros nacidos de vaquillonas Wagyu, y de 29,4 kg en nacimientos de vacas adultas (Inthamoussu Pereyra & Vera Young, 2022). Estos valores son significativamente inferiores a los registrados en razas como Angus, cuyos terneros pesan entre 35 y 38 kg al nacer (Pino San Martín, 2008). Esta característica reduce el riesgo de distocia, especialmente en vaquillonas, y permite un manejo más eficiente en sistemas de cría extensiva.

En cuanto a la fertilidad y precocidad sexual, el ganado Wagyu presenta resultados favorables. Las hembras alcanzan la pubertad a edades tempranas, observándose celos a partir de los 10-12 meses de edad, y los toros presentan una destacada fertilidad, libido y capacidad de servicio (Mazolla, 2022). El sistema de registro japonés exige que el primer parto ocurra antes de los 28 meses de edad, lo que refleja el estándar reproductivo esperado para la raza (Namikawa, 1992).

En este contexto, resulta importante destacar la existencia de numerosos trabajos realizados con animales de la raza en Uruguay, como el de Marín Laca (2018), que estudió las curvas de crecimiento en hembras desde el nacimiento hasta la adultez, o el de Alayón Dubourdieu et al. (2018), que caracterizó el crecimiento y la morfología de machos enteros en sistemas pastoriles, entre otros. Sin embargo, el largo de gestación en animales de la raza Wagyu no ha sido estudiado en condiciones productivas nacionales. Considerando la relevancia de este rasgo en la eficiencia reproductiva del rodeo, así como el creciente interés en la raza en el país, el presente trabajo tiene como objetivo contribuir al conocimiento de la raza Wagyu en Uruguay, aportando información sobre el largo de gestación y los factores que lo afectan en condiciones productivas nacionales.

3. HIPÓTESIS

Luego de realizar la revisión bibliográfica, en base al material recopilado se formuló la siguiente hipótesis:

- El genotipo de la madre tendrá un efecto reducido o nulo sobre el largo de gestación (LDG)

El largo de gestación puede verse afectado por múltiples factores, sin embargo, la bibliografía analizada lleva a destacar que la genética es uno de los componentes de mayor peso a la hora de determinar el largo de este periodo.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Localización del experimento

El experimento se realizó con la base de datos de la Cabaña “El Oriental” ubicada en el departamento de Soriano, Ruta 2 km 261.

4.2. Animales

Se analizaron 624 eventos de gestación registrados entre 2017 y 2025, correspondientes a 416 vacas puras Wagyu y cruzas F1 y F2 con Holando (F1H, F2H) o Angus (F1A, F2A) y 31 toros Wagyu puros. En la Tabla 6 se presenta la caracterización de la base de datos original.

Tabla 6
Caracterización general de la base de datos original

Registros	**N**
Total de partos/registros	624
Madres	416
Padres	31
Terneros	593

Los datos presentados en la Tabla 6 muestran la caracterización inicial de la base de datos, que contaba con 624 registros. Estos registros fueron luego depurados mediante un análisis de consistencia, en el que se eliminaron datos faltantes o ilógicos, como se describe en el punto 4.3.

En la Tabla 7 se presenta la composición racial del ternero según el genotipo de la madre.

Tabla 7

Composición racial del ternero según el genotipo de la madre

Genotipo materno	%No Wagyu	%Wagyu
Wg	0%	100 %
F2H	12,5 % H	87,5 %
F2A	12,5 % A	87,5 %
F1H	25 % H	75 %
F1A	25 % A	75%

Nota. Referencias: Wg: Wagyu; H: Holando; A: Angus; F1H o A: Madre Holando o Angus cruza con Padre Wagyu; F2H o A: Madre F1H o A cruza con Padre Wagyu.

Dado que todos los padres utilizados son Wagyu puros, la variación racial del rodeo proviene exclusivamente de la línea materna, por lo que todo ternero hereda como mínimo un 75 % de sangre Wagyu. La categoría más numerosa corresponde a madres Wagyu puras, que representan el 48 % de los registros (Tabla 9). Considerando la proporción de sangre Wagyu de cada categoría ponderada por su frecuencia, el rodeo analizado presenta en promedio un 88,5 % de sangre Wagyu. La distribución de la muestra según el año de parto se puede observar en la Tabla 8.

Tabla 8

Distribución de la muestra según año de parto

Año	N
2018	31
2019	10
2021	130
2022	106
2023	95
2024	123
2025	129

Nota. No se registran partos en el año 2020.

A partir de la Tabla 8 es posible destacar un aumento el número de registros a medida que avanzan los años, debido a un aumento en el tamaño del rodeo de cría. También es posible destacar que no existen registros de parto en el año 2020 debido a que el trabajo fue realizado a partir de animales que tenían como tratamiento IATF, lo cual en 2020 no se llevaron a cabo inseminaciones en el establecimiento.

En la Tabla 9 se muestra la distribución de los terneros según el sexo y el genotipo de la madre.

Tabla 9

Distribución cruzada de sexo del ternero y genotipo materno (GENOMAD)

GENOMAD	H	M	Sin dato	Total
F1A	47	44	1	92
F1H	74	82	1	157
F2A	23	37	2	62
F2H	6	8	0	14
Wg	138	152	9	299
Total	**288**	**323**	**13**	**624**

Nota. Referencias: Wg: Wagyu; H: Holando; A: Angus; F1H o A: Madre Holando o Angus cruza con Padre Wagyu; F2H o A: Madre F1H o A cruza con Padre Wagyu.

En total hay 624 registros, de los cuales 323 son machos (51,8 %), 288 son hembras (46,2 %) y 13 no tienen sexo registrado (2,1 %), correspondiendo estos últimos mayoritariamente a terneros muertos al nacer.

En cuanto al genotipo materno, el grupo con mayor número de registros es el de madres Wagyu puras (Wg) con 299 registros, seguido por F1H con 157, F1A con 92, F2A con 62 y F2H con 14.

4.3. Depuración de la base de datos

La base de datos original contaba con 624 registros. Se realizó una depuración que incluyó la corrección de inconsistencias en el año de nacimiento de la madre, errores en la raza asignada al ternero y discordancias entre el genotipo registrado cuando un animal figuraba como cría y como madre. Estas inconsistencias fueron resueltas utilizando la información

genealógica disponible y criterios de consistencia entre registros. Se excluyeron de los análisis los registros sin sexo del ternero o sin dato de peso al nacer; el número de registros utilizado en cada análisis se indica en las tablas correspondientes.

4.4. Variables de respuesta

Las variables de respuesta estudiadas fueron el Largo de Gestación (LDG, medido en días) y el Peso al nacer de los terneros. El LDG se estimó como la diferencia entre la fecha de parto y la fecha de concepción.

Los servicios fueron realizados mediante inseminación artificial a tiempo fijo (IATF).

4.5. Análisis estadístico

4.5.1. Análisis de Varianza y comparación de medias

Mediante diferentes pruebas y usando como criterio de elección de los efectos a los coeficientes Akaike (AIC) y a la significancia de cada uno, el modelo final elegido para el análisis de varianza contempla los siguientes efectos:

$$LDG_{ijklm} = \mu_0 + \text{Año de parto}_i + \text{Genomad}_j + \text{Sexo}_k + \beta(\text{Peso al nacer})_l + \text{ID madre}_m + \varepsilon_{ijklm} \quad \text{(M1)}$$

Donde:

- μ_0: es la media general del experimento
- LDG: Largo de Gestación (días)
- Año de parto$_i$ (fijo): Año en que ocurre cada parto (2018 a 2025)
- Genomad$_j$ (fijo): Genotipo de la madre (Wg: Wagyu puro; F1H/A: Holando o Angus × Wagyu; F2H/A: F1H o A × Wagyu).
- Sexo$_k$ (fijo): sexo del ternero (Hembra o Macho)
- Peso al nacer: covariable lineal
- ID madre$_m$ (aleatorio): Efecto individual de cada vaca

Para cada efecto significativo se obtuvieron las medias de mínimos cuadrados y las mismas fueron comparadas mediante el test de Tukey ajustado ($p < 0,05$).

El peso al nacer fue analizado mediante modelo similar incluyendo los efectos fijos del Genotipo de la Madre, Sexo del ternero y Año de parto como efectos fijos y como aleatorio el efecto individual de la vaca.

$$\text{Peso al nacer}_{ijkm} = \mu_o + \text{Año de parto}_i + \text{Genomad}_j + \text{Sexo}_k + \text{ID madre}_m + \varepsilon_{ijkm}$$

Donde,

- μ_o: es la media general del experimento
- Año de parto$_i$ (fijo): Año en que ocurre cada parto (2018 a 2025)
- Genomad$_j$ (fijo): Genotipo de la madre (Wg: Wagyu puro; F1H/A: Holando o Angus × Wagyu; F2H/A: F1H o A × Wagyu).
- Sexo$_k$ (fijo): sexo del ternero (Hembra o Macho)
- ID madre$_m$ (aleatorio): Efecto individual de cada vaca

Para cada efecto significativo se obtuvieron las medias de mínimos cuadrados y las mismas fueron comparadas mediante el test de Tukey ajustado ($p < 0,05$).

La relación entre el LDG y el Peso al nacer de los terneros fue estudiada mediante modelos de regresión lineal y cuadrática, utilizando los coeficientes de determinación (r^2) para evaluar el grado de ajuste.

Para determinar si el modelo cuadrático describe mejor la relación entre el peso al nacer y el LDG que el modelo lineal simple, se compararon ambos ajustes mediante el criterio de información de Akaike (AIC), considerando que el modelo cuadrático solo se prefiere si reduce el AIC en más de 2 puntos respecto al lineal ($\Delta AIC > 2$); de lo contrario, se conserva el modelo lineal por ser más simple.

4.5.2. Análisis de heredabilidad y correlación genética

La heredabilidad del largo de gestación (LDG) y del peso al nacer se estimó mediante el método de correlación intraclase entre medios hermanos paternos (Falconer & Mackay, 1996). Para cada variable se ajustó un modelo mixto lineal, incluyendo como efectos fijos el grupo genético (GENOMAD) y el sexo de la cría (y, en el caso de LDG, el peso al nacer como covariable), y al padre como efecto aleatorio:

$$y_{ijkl} = \mu_o + \text{Genomad}_i + \text{Sexo}_j + \beta(\text{Peso al nacer})_k + \text{Padre}_l + \varepsilon_{ijkl} \quad \text{(M2)}$$

Donde:

- y_{ijkl} es la variable respuesta (LDG o peso al nacer)
- μ_o la media general

- $Genomad_i$: Genotipo de la madre (Wg: Wagyu puro; F1H/A: Holando o Angus × Wagyu; F2H/A: F1H o A × Wagyu).
- $Sexo_j$ los efectos fijos correspondientes
- β la covariable de peso al nacer (solo para el modelo de LDG)
- $Padre_l \sim N(0, \sigma^2_s)$ el efecto aleatorio del padre
- $\varepsilon_{ijkl} \sim N(0, \sigma^2_e)$ el error residual.

El efecto de año de parto no se incluyó en estos modelos por presentar confusión parcial con el efecto de padre (19 de 31 padres fueron utilizados en un único año). Los modelos se ajustaron por máxima verosimilitud restringida (REML).

A partir de las componentes de varianza estimadas se calculó la correlación intraclase entre padres ($t = \sigma^2_s / (\sigma^2_s + \sigma^2_e)$) y la heredabilidad en sentido estricto mediante $h^2 = 4t$, asumiendo un diseño de medios hermanos paternos no emparentados entre sí ni con las madres. El error estándar (EE) de h^2 se estimó según la fórmula descrita por Falconer & Mackay (1996)

$$EE(t) = \sqrt{[2(1-t)^2(1+(k-1)t)^2 / (k(k-1)(s-1))]}$$

Donde:

- s es el número de padres
- k el tamaño de familia efectivo, calculado como $k_0 = (N - \Sigma n_i^2/N)/(s-1)$ para corregir por el desbalance en el número de crías por padre (Falconer & Mackay, 1996).
- El error estándar de la heredabilidad se obtuvo como $EE(h^2) = 4 \times EE(t)$.

La correlación genética entre LDG y peso al nacer se estimó mediante análisis de modelos bivariados y usando el método de máxima verosimilitud restringida.

Los análisis se realizaron en entorno Python (statsmodels, MixedLM).

5. RESULTADOS

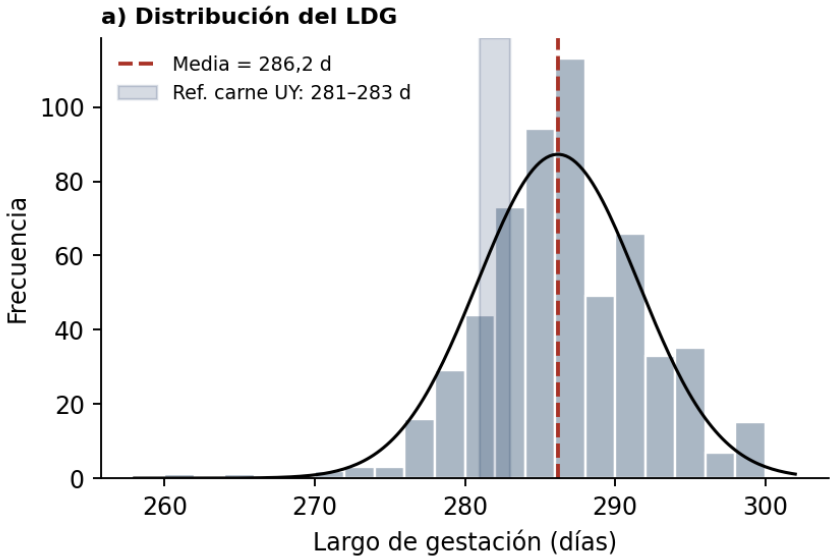
5.1. Caracterización del largo de gestación

El LDG promedió 286,2 ± 5,5 días (n = 624), con un rango de 261 a 299 días y un coeficiente de variación de 1,91 %. Este valor supera en 3 a 5 días el rango de 281 a 283 días reportado para el ganado de carne en Uruguay (Espasandín et al., 2006).

En la Figura 2 se presenta la distribución de los datos obtenidos del largo de gestación.

Figura 2

Distribución del largo de gestación, media del rodeo y referencia nacional



La forma en que se distribuyen los datos es bastante simétrica, con la mayor concentración de registros en el rango de 280-286 días. También es posible destacar la media del rodeo (286,2 días) y, como referencia, el rango reportado para el ganado de carne en Uruguay (281-283 días), lo que permite visualizar la posición del rodeo Wagyu respecto a los estudios realizados a nivel país.

5.2. Análisis de Varianza a partir del Modelo 1

En la Tabla 10 se presenta el resultado del Análisis de Varianza con los efectos fijos y aleatorios considerados para el Largo de Gestación en la raza Wagyu pura y cruzas F1 y F2 con Angus u Holando, resultantes del M1.

Tabla 10
ANAVA — efectos fijos sobre LDG

Fuente de variación	**Gl**	**χ^2**	**p-valor**
Año de parto	6	15,09	0,0195
GENOMAD	4	5,21	0,2665
Sexo	1	5,82	0,0159
Peso al nacer	1	37,99	<0,0001

Nota. GENOMAD (genotipo materno): Wg = Wagyu pura; F1H = madre Holando × padre Wagyu; F1A = madre Angus × padre Wagyu; F2H = madre F1H × padre Wagyu; F2A = madre F1A × padre Wagyu. H = Holando; A = Angus.

En la Tabla 10 se observa que el año de parto y el sexo del ternero presentan significancia estadística (p = 0,019 y p = 0,016, respectivamente). Por su parte, la covariable peso al nacer también fue significativa (p < 0,0001) indicando que a mayor peso al nacer mayor largo de gestación. Sin embargo, el genotipo de la madre no presentó efectos de significancia estadística (p = 0,27), esto puede deberse a que el rodeo de animales no tiene muchas fuentes de variación genética en cuanto que todas las madres dan origen a animales que tienen al menos un 75% de Wagyu en su genotipo.

En la Tabla 11 se presentan las medias y desvíos obtenidos para cada año, así como la comparación entre ellas (medias que comparten letra no difieren significativamente, p ≥ 0,05).

Tabla 11

LDG por Año de parto - medias ajustadas con letras (Tukey-Kramer)

Año	N	Media	Error Estándar	Letras (Tukey- Kramer)
2024	116	286,75	0,54	a
2025	129	286,41	0,52	a
2023	95	286,24	0,63	ab
2018	31	285,66	1,03	ab
2019	7	285,61	1,99	ab
2021	118	285,29	0,60	ab
2022	105	284,25	0,61	b

Los años 2022 (b) y 2024–2025 (a) son estadísticamente distintos entre sí. Todos los demás años (2018, 2019, 2021, 2023) no se diferencian de ninguno de los extremos ("ab"). A modo de resumen, se observa que el año 2022 fue en donde ocurrieron gestaciones más cortas (284 días), en los años 2024-2025 las gestaciones más largas, (286-287 días) y los demás años presentaron valores intermedios entre ambos extremos (285-286 días).

En la Tabla 12 se presentan las medias ajustadas y los errores estándar para el largo de gestación según el sexo del ternero. Se observa que los terneros machos nacen, en promedio, 1 día más tarde que las hembras. Esta diferencia (1,03 días) resultó estadísticamente significativa ($p = 0,0162$), confirmando que el sexo del ternero afecta el largo de gestación.

Tabla 12

Medias ajustadas, errores estándar y diferencias Tukey para Largo de Gestación según sexo del ternero

Sexo	N	Media	EE	Letras
Machos (M)	316	286,26	0,52	a
Hembras (H)	285	285,23	0,52	b

Nota. EE: Error Estándar de la Media. Diferencia: M − H = 1,03 días, p = 0,0162 (significativo).

A pesar de ser reducida la diferencia, se observa que la gestación de las madres de terneros machos es casi un día más largo respecto a las hembras (286,26 vs 285,23 días, respectivamente), siendo esta diferencia significativa (p = 0,016).

Por su parte, la relación entre el peso al nacer y el largo de gestación mediante el estudio de modelos de regresión, es presentada en la Tabla 13.

Tabla 13

Regresión lineal y cuadrática entre Peso al Nacer y LDG, general y por genotipo materno

Genotipo	N	R^2 lineal	p (b_1) lineal	R^2 cuadrático	p (b_1) cuadrático	p (b_2) cuadrático
General	603	0,0550	$5{,}56 \times 10^{-9}$	0,0694	0,0018	0,0024
Wg	283	0,0798	$1{,}36 \times 10^{-6}$	0,0823	0,3409	0,3859
F1H	156	0,0624	0,0017	0,1087	0,0048	0,0054
F1A	90	0,0302	0,1012	0,0311	0,7709	0,7839
F2A	60	0,0970	0,0154	0,1411	0,0850	0,0926
F2H	14	0,0012	0,9077	0,1383	0,2122	0,2126

Nota. Se ajustaron modelos de regresión lineal (Peso al nacer = $b_0 + b_1 \cdot$LDG) y cuadrático (Peso al nacer = $b_0 + b_1 \cdot$LDG + $b_2 \cdot$LDG^2) por mínimos cuadrados ordinarios. Se excluyeron 21 registros sin dato de peso al nacer (n final = 603 de 624). El genotipo F2H presenta un n muy reducido (n = 14); sus resultados deben interpretarse con cautela.

Bajo este criterio, el término cuadrático resulta significativo y mejora el ajuste en el conjunto general de datos y en el genotipo F1H, lo que sugiere que en estos casos la relación entre el LDG y el peso al nacer no es estrictamente lineal. En los genotipos F1A,

F2A, F2H y Wg, en cambio, el término cuadrático no aporta una mejora sustancial, por lo que se conserva el modelo lineal como descripción adecuada de la relación entre ambas variables.

Por su parte, los resultados del ANAVA Peso al Nacer se resumen en la Tabla 14.

Tabla 14
Resultados del Análisis de Varianza para peso al nacer

Fuente de variación	**gl**	**χ^2**	**p-valor**
Año de parto	6	59,69	**<0,001**
Genotipo de la madre	4	102,52	**<0,001**
Sexo	1	19,09	**<0,001**

Nota. A diferencia de LDG, en este caso todos los efectos son altamente significativos ($p \leq 0,001$).

En la Tabla 15 se presentan las medias ajustadas y errores estándar para el peso al nacer según el año de parto.

Tabla 15
Medias ajustadas y Errores Estándar para Pesos al Nacer según los años de parto analizados

Año	**N**	**Media (kg)**	**EE**	**Comparacion de Tukey-Kramer**
2018	31	30,63	0,81	a
2025	129	30,60	0,41	a
2022	105	30,32	0,48	a
2019	7	29,42	1,56	a
2021	118	29,39	0,47	a
2024	116	27,69	0,42	**b**
2023	95	27,69	0,49	**b**

Los años 2023 y 2024 fueron los años en los que los terneros nacieron más livianos, con una media de 27,69 ± 0,45 kg. En contraste, los años restantes (2018, 2019, 2021, 2022 y 2025) presentaron pesos mayores, en un rango de 29,39 a 30,63 kg, sin diferencias estadísticas entre ellos.

En la Tabla 16 se presentan las medias ajustadas de pesos al nacer según el sexo del ternero.

Tabla 16
Medias, errores estándar y diferencias de Tukey para peso al nacer según sexo del ternero

Sexo	N	Media (kg)	EE	Letras
Machos (M)	316	30,11	0,41	a
Hembras (H)	285	28,67	0,41	b

En la Tabla 17 se presentan las medias ajustadas de peso al nacer según el genotipo materno. Se observa un gradiente significativo entre grupos, donde los terneros de madres F1H presentaron el mayor peso al nacer (31,88 ± 0,44 kg), seguidos por F1A (30,68 ± 0,53 kg), F2A (28,66 ± 0,64 kg), F2H (28,22 ± 1,17 kg) y finalmente los terneros de madres Wagyu puras con el menor peso (27,52 ± 0,32 kg).

Tabla 17
Peso al nacer por GENOMAD (genotipo materno)

GENOMAD	N	Media (kg)	EE	Letras
F1H	156	31,88	0,44	**a**
F1A	90	30,68	0,53	ab
F2A	59	28,66	0,64	bc
F2H	14	28,22	1,17	bc
Wg	282	27,52	0,32	**c**

El test de Tukey reveló que F1H difiere significativamente de Wg (letras a y c respectivamente), mientras que los cruzamientos F1A, F2A y F2H no se diferenciaron entre sí (letras ab y bc). Este patrón refleja el efecto de la heterosis y el aporte genético de las razas maternas Holando y Angus sobre el peso al nacer, siendo el cruzamiento con Holando el que mayor peso genera. El peso de los terneros Wagyu puros confirma la característica reconocida de la raza de producir terneros livianos al nacer.

5.3. Análisis de Varianza a partir del Modelo 2

En la Tabla 18 se presentan los resultados del análisis de varianza del modelo que incluye al efecto padre como aleatorio (M2).

Tabla 18
Cuadro de ANAVA completo — Modelo LDG con efecto Padre

Fuente de variación	gl	χ^2	p-valor
GENOMAD	4	6,75	0,150
Sexo	1	5,41	0,020
Peso al nacer	1	41,97	<0,001

Como se observa en el cuadro, nuevamente el efecto del genotipo materno no presento efecto significativo, en tanto el sexo del ternero y su peso al nacer sí.

En las Tablas 19 y 20 se presentan los componentes de varianza estimados a partir del modelo, así como los posteriores cálculos de Heredabilidad para el LDG respectivamente.

Tabla 19
Componentes de varianza — Modelo LDG con efecto Padre

Componente	Estimación	EE
σ² Padre (varianza genética aditiva ¼)	1,513	0,164
σ² Residual (ambiental + genética no explicada)	25,494	---
σ² Fenotípica total	**27,007**	**---**

Tabla 20
Parámetros derivados para el cálculo de Heredabilidad

Parámetro	Valor
Correlación intraclase entre padres (t = σ²padre/σ²feno)	0,056
Heredabilidad ($h^2 = 4t$)	0,224 ± 0,106

En la Tabla 21 se presentan las varianzas obtenidas mediante el modelo que incluye el efecto padre, para las variables Largo de Gestación y Peso al Nacer de los terneros.

Tabla 21

Componentes de varianza y heredabilidad de Largo de Gestación y Peso al Nacer (modelos univariados)

Rasgo	σ^2(padre)	σ^2(residual)	σ^2(fenotípica)	t	h^2	EE(h^2)	IC 95%
LDG	1,513	25,494	27,007	0,056	0,224	±0,106	[0,02–0,43]
Peso al nacer	0,901	16,784	17,685	0,051	0,204	±0,102	[0,01–0,40]

Nota. σ^2(padre): varianza genética atribuible al padre; σ^2(residual): varianza residual; σ^2(fenotípica): varianza fenotípica total (σ^2(padre) + σ^2(residual)); t: correlación intraclase entre medios hermanos paternos (σ^2(padre) / σ^2(fenotípica)); h^2: heredabilidad (h^2 = 4t); EE(h^2): error estándar de la heredabilidad; IC 95%: intervalo de confianza del 95 % para la heredabilidad. LDG: largo de gestación.

Como se observa, ambas heredabilidades son moderadas-bajas y presentan errores estándar de magnitud similar (EE ≈ 0,10 en ambas).

Los resultados del análisis bivariado entre el LDG y el PN permiten estimar la correlación genética entre ambos caracteres, los cuales se presentan en la Tabla 22.

Tabla 22

Covarianza, Varianza y Correlación genética entre LDG y Peso al Nacer

Parámetro	**Valor**
Covarianza genética aditiva aprox. (padre)	−0,360
σ(padre) LDG	1,230
σ(padre) Peso al nacer	0,949
Correlación genética (rg)	**−0,330**
p-valor	0,070
N padres	31

La correlación genética es negativa y de magnitud moderada, pero no alcanza significancia convencional ($p = 0,07$), resultado esperable dado el reducido número de padres considerados en el análisis. En contraste, la correlación fenotípica entre ambos caracteres resultó significativa y de magnitud baja a moderada ($r = +0,235$, $p < 0,0001$).

6. DISCUSIÓN

El largo de gestación promedio estimado de 286,2 ± 5,5 días constituye el primer valor reportado para ganado Wagyu y sus cruzas en condiciones productivas del Uruguay, y es el resultado más sólido de este trabajo dado que no depende de ningún modelo. Este valor coincide en gran medida con los 286,9 días reportados por Cundiff et al. (2001) para toros Wagyu en cruzamientos con vacas de razas europeas en Estados Unidos, lo que indica que el largo de gestación es una característica intrínseca de la raza, estable a través de distintos ambientes productivos y sistemas de manejo. A su vez, supera en 3 a 5 días el rango de 281 a 283 días reportado para el ganado de carne en Uruguay (Espasandín et al., 2006) y se encuentra por encima de los valores descritos para las razas maternas involucradas en este estudio, como Angus (278 días) y Holando (279 días) según Bavera (2000), lo que refuerza el peso del componente paterno Wagyu en la determinación del largo de gestación.

El Largo de Gestación obtenido tiene un peso importante a la hora de la planificación del manejo del rodeo de cría, dado que, alcanzar un ternero por vaca por año exige un intervalo entre partos próximo a los 365 días. Partiendo de una gestación de 281 a 283 días (Espasandín et al., 2006), el período disponible para la recuperación del estado nutricional y el reinicio de la actividad ovárica es de aproximadamente 82 días. Con la gestación de 286,2 días hallada en este rodeo, ese margen se reduce a 78,8 días.

6.1. Efecto del año de parto

El año de parto resultó significativo sobre el LDG ($p = 0,019$), con diferencias de hasta 2,5 días entre extremos; el año 2022 tuvo las gestaciones más cortas (284,25 días) y los años 2024-2025 las más largas (286,4-286,7 días). Norman et al. (2009) también identificaron al año como una fuente importante de variación en el largo de gestación, asociándolo a cambios en el clima, la alimentación y el manejo entre años. Sin embargo, en este trabajo no fue posible determinar a qué se debieron las diferencias, pero dado que todas las concepciones fueron por IATF en primavera, la estación del año queda descartada como causa.

6.2. Efecto del sexo del ternero

El sexo del ternero afectó significativamente el LDG ($p=0,016$), con gestaciones de machos 1,03 días más largas que las de hembras (286,26 vs. 285,23 días). Este resultado

es consistente con lo reportado por Jainudeen y Hafez (2000) y Andersen y Plum (1965), quienes describen diferencias de 1 a 2 días entre sexos en bovinos. La magnitud hallada se ubica dentro del rango bibliográfico esperado.

6.3. Efecto del genotipo de la madre

El genotipo de la madre no mostró efecto significativo sobre el LDG ($p = 0,27$), con diferencias entre grupos que no superaron 1,1 días, confirmando la hipótesis planteada. Esto se explica por la estructura genética del rodeo: dado que todos los padres son Wagyu puro, la fracción no Wagyu de los terneros no supera el 25 % en los cruzamientos F1 y el 12,5 % en los F2. Según Bavera (2000) y Cundiff et al. (2001), la diferencia en LDG entre razas como Angus u Holando (278-279 días) y Wagyu (286,9 días) es de aproximadamente 8 días; sin embargo, como la fracción no Wagyu de los terneros no supera el 25 %, la diferencia esperada entre genotipos maternos sería de apenas 1 a 2 días, una magnitud demasiado pequeña para ser detectada con la variabilidad natural del rasgo y los tamaños de grupo disponibles en este rodeo.

6.4. Relación entre LDG y Peso al nacer

La correlación positiva entre LDG y peso al nacer ($r = 0,235$) es coherente con lo reportado por Brakel et al. (1952) y con la biología del desarrollo fetal: terneros más pesados nacen de gestaciones más largas. Sin embargo, la baja magnitud indica que el peso al nacer no es el principal determinante del LDG, y gran parte de su variación responde a factores no incluidos en el modelo.

6.5. Disociación entre genotipo materno sobre LDG y Peso al Nacer

Un hallazgo de relevancia práctica es que el genotipo materno no afectó el LDG, pero sí el peso al nacer. Los terneros de madres F1H pesaron 31,9 kg, casi 4,4 kg más que los de madres Wagyu puras (27,5 kg), siguiendo un gradiente según el nivel de cruzamiento con Holando. Estos valores son consistentes con los reportados por Inthamoussu Pereyra y Vera Young (2022) para el mismo establecimiento, quienes encontraron pesos de 25,93 kg en vaquillonas Wagyu puras y 29,72 kg en cruzas con Holando. Esto significa que el cruzamiento permite ajustar el peso al nacer según el objetivo del sistema; aumentarlo para mayor vigor o reducirlo para disminuir el riesgo de problemas al parto sin modificar la fecha esperada del mismo.

6.6. Heredabilidad del Largo de Gestación

La heredabilidad estimada del LDG fue de $h^2 = 0{,}224 \pm 0{,}106$, valor bajo a moderado según Bourdon (2000), coincidente con lo reportado por Norman et al. (2009) para bovinos lecheros ($h^2 = 0{,}22$) y dentro del rango descripto en la literatura (0,22 a 0,60; Bavera, 2000). El intervalo de confianza amplio ([0,02–0,43]) refleja el número limitado de padres disponibles (n = 31). La magnitud obtenida indica que existe variación genética suficiente para que la selección de toros por LDG produzca respuesta, aunque el avance por generación sería modesto.

6.7. Correlación genética LDG y Peso al Nacer

La correlación genética entre LDG y peso al nacer fue negativa (−0,330) pero no alcanzó significancia estadística ($p = 0{,}070$), probablemente por el reducido número de padres. Esto contrasta con la correlación fenotípica positiva ($r = +0{,}235$), lo que indica que la relación observada entre ambos rasgos a nivel individual no refleja necesariamente la relación genética entre toros. Se trata de una tendencia que debería evaluarse en estudios con mayor número de padres y crías.

7. CONCLUSIÓN

El largo de gestación del ganado Wagyu y sus cruzas en condiciones productivas del Uruguay es de 286,2 ± 5,5 días, valor superior en 3 a 5 días al reportado para el ganado de carne nacional, con implicancias directas sobre el margen disponible para alcanzar un ternero por vaca por año.

El genotipo materno no presentó efecto significativo sobre el largo de gestación: las diferencias entre genotipos no superaron 1,1 días. Este resultado es consistente con la predicción del marco teórico, según la cual el rasgo se determina por vía del genotipo del ternero y del padre.

El mismo genotipo materno que no altera la duración de la gestación sí modifica marcadamente el peso al nacer, con diferencias de hasta 4,4 kg. Ambos rasgos responden de forma independiente al cruzamiento.

El sexo del ternero prolonga el largo de gestación en 1,03 días en los machos, en magnitud coincidente con la literatura internacional (Andersen & Plum, 1965; Jainudeen & Hafez, 2000).

La heredabilidad estimada del LDG fue de 0,224 ± 0,106, valor bajo a moderado, indicando que existe variación genética suficiente para que la selección de toros por este rasgo produzca respuesta. Se observó además una tendencia hacia una correlación genética negativa entre LDG y peso al nacer (−0,330, $p = 0,070$), resultado que no alcanzó significancia estadística y que debería explorarse en estudios con mayor número de padres.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alayón Dubourdieu, S., Cavia Rodríguez, N., & Ciganda Herrero, F. (2018). *Crecimiento y caracterización morfológica de toros de la raza Wagyu en sistemas pastoriles* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibri. https://hdl.handle.net/20.500.12008/28226

Andersen, H., & Plum, M. (1965). Gestation length and birth weight in cattle and buffaloes: A review. *Journal of Dairy Science*, *48*(9), 1224-1235. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(65)88431-4

Azzam, S. M., & Nielsen, M. K. (1987). Genetic parameters for gestation length, birth date and first breeding date in beef cattle. *Journal of Animal Science, 64*(2), 348-356. https://doi.org/10.2527/jas1987.642348x

Bavera, G. A. (2000). *Preñez y tabla de gestación*. Sitio Argentino de Producción Animal. https://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/cria/18-prenez_y_tabla_de_gestacion.pdf

Bourdon, R. M. (2000). *Understanding animal breeding* (2nd ed.). Prentice Hall.

Bourdon, R. M., & Brinks, J. S. (1982). Genetic, environmental and phenotypic relationships among gestation length, birth weight, growth traits and age at first calving in beef cattle. *Journal of Animal Science*, *55*(3), 543-553. https://doi.org/10.2527/jas1982.553543x

Brakel, W. J., Rife, D. C., & Salisbury, S. M. (1952). Factors associated with the duration of gestation in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, *35*(3), 179-194. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(52)93690-4

Cundiff, L. V., Wheeler, T. L., Shackelford, S. D., Koohmaraie, M., Thallman, R. M., Gregory, K. E., & Van Vleck, L. D. (2001). *Preliminary results from Cycle VI of the cattle germplasm evaluation program at the Roman L. Hruska U.S. Meat Animal Research Center*. USDA. https://www.ars.usda.gov/ARSUserFiles/30400000/gpe/gpe20.pdf

Espasandín, A. C., Franco, J., Oliveira, G., Bentancur, O., Gimeno, D., Pereyra, F., & Rogberg, M. (2006). Impacto productivo y económico del uso del cruzamiento entre las razas Hereford y Angus en el Uruguay. En *XXXIV Jornadas Uruguayas de Buiatría* (pp. 41-51). CMVP.

Falconer, D. S., & Mackay, T. F. C. (1996). *Introduction to quantitative genetics* (4th ed.). Prentice Hall.

Frontini Luvizio, J. E., & Rachetti Olaso, M. P. (1999). *Análisis de largo de gestación y peso al nacer de terneros hijos de vaquillonas Hereford y padres Hereford, Red Poll, Angus, Salers y de vacas Hereford con padres Hereford, Angus, Salers y Nelore* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibri. https://hdl.handle.net/20.500.12008/25522

Gimeno, D., Aguilar, I., Franco, J., & Feed, O. (2002). Rasgos productivos y reproductivos de hembras cruza origen británica, continental y cebuína en el Uruguay. En *XXX Jornadas Uruguayas de Buiatría* (pp. 176-181). CMVP.

Hirooka, H. (2014). Marbled japanese black cattle. *Journal of Animal Breeding and Genetics*, *131*(1), 1-2. https://doi.org/10.1111/jbg.12073

Inthamoussu Pereyra, S., & Vera Young, S. (2022). *Estudio del peso al nacimiento en terneros Wagyu puros y cruzas con Holando y Aberdeen Angus* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibri. https://hdl.handle.net/20.500.12008/41991

Jainudeen, M. R., & Hafez, E. S. E. (2000). Gestation, prenatal physiology, and parturition. En B. Hafez & E. S. E. Hafez (Eds.), *Reproduction in Farm Animals* (7th ed., pp. 140-155). Wiley. https://doi.org/10.1002/9781119265306.ch10

Marín Laca, M. F. (2018). *Curvas de crecimiento de hembras Wagyu desde el nacimiento hasta los ocho años* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibri. https://hdl.handle.net/20.500.12008/28813

Mazolla, M. (2022). Apuntes sobre Wagyu en Uruguay. *Revista del Plan Agropecuario*, (183), 16-18. https://www.planagropecuario.org.uy/uploads/magazines/articles/199_3109.pdf

Mee, J. F. (2024, setiembre). *Overview of prolonged gestation in cattle and sheep*. MSD Veterinary Manual. https://www.msdvetmanual.com/reproductive-system/prolonged-gestation-in-cattle-and-sheep/overview-of-prolonged-gestation-in-cattle-and-sheep

Motoyama, M., Sasaki, K., & Watanabe, A. (2016). Wagyu and the factors contributing to its beef quality: A Japanese industry overview. *Meat Science*, *120*, 10-18. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.04.026

Namikawa, K. (1992). *Breeding history of Japanese beef cattle and preservation of genetic resources as economic farm animals*. Wagyu Registry Association. https://s3.wp.wsu.edu/uploads/sites/386/2016/08/BreedingHistoryofJapaneseBeefCattle.pdf

Norman, H. D., Wright, J. R., Kuhn, M. T., Hubbard, S. M., Cole, J. B., & VanRaden, P. M. (2009). Genetic and environmental factors that affect gestation length in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, *92*(5), 2259-2269. https://doi.org/10.3168/jds.2007-0982

Pino San Martín, F. H. (2008). *Evaluación productiva de la raza Wagyu en cruzamiento con diferentes razas bovinas presentes en Chile* [Trabajo final de grado]. Universidad de Chile.

Silva, H. M., Wilcox, C. J., Thatcher, W. W., Becker, R. B., & Morse, D. (1992). Factors affecting days open, gestation length, and calving interval in Florida dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, *75*(1), 288-293. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(92)77764-9

Taverne, M., & Noakes, D. E. (2019). Parturition and the care of parturient animals and the newborn. En D. E. Noakes, T. J. Parkinson, & G. C. W. England (Eds.), *Veterinary reproduction and obstetrics* (10th ed., pp. 115-147). Elsevier.