

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**CURVAS DE CRECIMIENTO DE HEMBRAS WAGYU DESDE EL
NACIMIENTO HASTA LOS OCHO AÑOS**

por

María Federica MARÍN LACA

**TESIS presentada como uno de
los requisitos para obtener el
título de Ingeniero Agrónomo.**

**MONTEVIDEO
URUGUAY
2018**

Tesis aprobada por:

Director:

Ing. Agr. PhD. Ana C. Espasandín

Ing. Agr. Andrea Larracharte Cardoso

Ing. Agr. María André Cabrera

Fecha: 24 de agosto de 2018

Autora:

María Federica Marín Laca

AGRADECIMIENTOS

A mi abuelo, mi familia y mis amigos, que también son familia y me han acompañado durante la carrera.

A mi tutora, Ing. Agr. PhD. Ana C. Espasandín por la guía y el apoyo brindado en esta etapa.

A la familia Rogberg ya que gracias a su gran colaboración y disposición este trabajo fue posible.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	VI
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
1.1. <u>OBJETIVOS</u>	2
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u>	4
2.1. <u>CRECIMIENTO Y DESARROLLO</u>	5
2.1.1. <u>Ondas y curvas de crecimiento</u>	6
2.2. <u>FACTORES QUE AFECTAN EL CRECIMIENTO Y DESARROLLO</u>	8
2.3. <u>PRECOCIDAD</u>	13
2.4. <u>MÉTODOS DE MEDICIÓN Y MODELOS DE CRECIMIENTO</u> ...15	
2.4.1. <u>Modelos lineales</u>	20
2.4.2. <u>Modelos no lineales</u>	20
2.5. <u>EL GANADO WAGYU</u>	22
2.6. <u>HIPÓTESIS</u>	24
3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	25
3.1. <u>UBICACIÓN Y MANEJO</u>	25
3.2. <u>DESCRIPCIÓN DEL EXPERIMENTO</u>	25
3.3. <u>PROCESAMIENTO DE DATOS Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO</u>	28
3.3.1. <u>Modelos lineales</u>	28
3.3.2. <u>Modelos no lineales</u>	28
4. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	30
4.1. <u>MODELOS LINEALES</u>	32
4.1.1. <u>Lineal</u>	33
4.1.2. <u>Cuadrático</u>	34
4.1.3. <u>Polinomial de tercer grado</u>	35
4.1.4. <u>Polinomial de cuarto grado</u>	36
4.2. <u>MODELOS NO LINEALES</u>	36
4.2.1. <u>Gompertz</u>	37
4.2.2. <u>Brody</u>	39
4.2.3. <u>Logístico</u>	41

4.2.4. <u>Richards</u>	43
4.3. <u>COMPARACIÓN ENTRE MODELOS</u>	44
4.4. <u>CARACTERES MORFOLÓGICOS</u>	50
4.4.1. <u>Espesor de grasa subcutánea</u>	51
4.4.2. <u>Altura de anca</u>	53
4.4.3. <u>Ancho de cadera</u>	54
4.4.4. <u>Ancho de pecho</u>	56
4.4.5. <u>Ancho de pelvis</u>	57
4.5. <u>IMPLICANCIAS</u>	58
5. <u>CONCLUSIONES</u>	61
6. <u>RESUMEN</u>	62
7. <u>SUMMARY</u>	63
8. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	64

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Factores que afectan el crecimiento pre y posnatal en mamíferos.....	8
2. Descripción de la región, tejido, hueso y tipo de grasa asociado a cada curva de velocidad de desarrollo.....	14
3. Número de animales registrados en la cabaña el oriental y registros totales discriminados por año.....	27
4. ANAVA de crecimiento de hembras Wagyu desde el nacimiento hasta los casi 8 años de edad.....	50
5. Modelos lineales y no lineales evaluados, sus parámetros y evaluación de ajuste.....	31
6. Comparación de peso vivo estimado a diferentes edades así como tasas de ganancia esperadas entre los modelos que presentaron mejor ajuste.....	45
7. Esquema de manejo de engorde de novillos de razas británicas con ganancias esperadas.....	48
8. Estimación de parámetros y ajuste de los modelos probados para todas las variables evaluadas.....	51
9. Valores máximos y mínimos así como promedios y desvíos de los valores obtenidos en las tres instancias de registro.....	46
Figura No.	
1. Ondas de crecimiento animal.....	7
2. Rapidez de desarrollo de los diferentes tejidos y regiones del	

cuerpo según precocidad y mejoramiento.....	13
3. Curva de crecimiento total	16
4. Curva de ganancia de peso por unidad de tiempo.....	17
5. Curva de ganancia de peso en cada momento como porcentaje del peso en el momento anterior.....	18
6. Evolución de peso vivo de hembras Wagyu hasta los 8 años de edad según modelo lineal.....	33
7. Evolución de peso vivo de hembras Wagyu hasta los 8 años de edad según modelo cuadrático.....	34
8. Evolución de peso vivo de hembras Wagyu hasta los 8 años de edad según modelo polinomial de tercer grado.....	35
9. Evolución de peso vivo de hembras Wagyu hasta los 8 años de edad según modelo polinomial de cuarto grado.....	36
10. Evolución de peso vivo de hembras Wagyu hasta los 8 años de edad según modelo Gompertz.....	37
11. Correlación entre los valores observados de peso y los predichos por el modelo Gompertz.....	38
12. Evolución de peso vivo de hembras Wagyu hasta los 8 años de edad según modelo Brody.....	39
13. Correlación entre los valores observados de peso y los predichos por el modelo Brody.....	40
14. Evolución de peso vivo de hembras Wagyu hasta los 8 años de edad según modelo logístico.....	41
15. Correlación entre los valores observados de peso y los predichos por el modelo logístico.....	42
16. Evolución de peso vivo de hembras Wagyu hasta los 8 años de edad según modelo Richards.....	43

17. Correlación entre los valores observados de peso y los predichos por el modelo Richards.....	44
18. Evolución del peso vivo entre los modelos que presentaron mejor ajuste.....	46
19. Evolución de las tasas de crecimiento estimadas entre los modelos que presentaron mejor ajuste.....	47
20. Curvas de crecimiento hasta dos años de edad de novillos británicos y Wagyu bajo diferentes escenarios de alimentación.....	49
21. Evolución del espesor de grasa subcutánea de hembras Wagyu entre el año y los dos años de edad según modelo lineal.....	52
22. Evolución del espesor de grasa subcutánea de hembras Wagyu entre el año y los dos años de edad según modelo cuadrático.....	52
23. Evolución del altura de anca de hembras Wagyu entre el año y los dos años de edad según modelo lineal.....	53
24. Evolución del altura de anca de hembras Wagyu entre el año y los dos años de edad según modelo cuadrático.....	54
25. Evolución del ancho de cadera de hembras Wagyu entre el año y los dos años de edad según modelo lineal.....	55
26. Evolución del ancho de cadera de hembras Wagyu entre el año y los dos años de edad según modelo cuadrático.....	55
27. Evolución del ancho de pecho de hembras Wagyu entre el año y los dos años de edad según modelo lineal.....	56
28. Evolución del ancho de pecho de hembras Wagyu entre el año y los dos años de edad según modelo cuadrático.....	57
29. Evolución del ancho de pelvis de hembras Wagyu entre el año y los dos años de edad según modelo lineal.....	58

30. Evolución del ancho de pelvis de hembras Wagyu entre el año y los dos años de edad según modelo cuadrático.....	58
---	----

1. INTRODUCCIÓN

La región ganadera en el Uruguay ocupa 6 millones y medio de hectáreas aproximadamente, lo que representa un 40% del total del área ocupada por el sector agropecuario. Casi 6 millones de las hectáreas previamente mencionadas, que se corresponden a un 36% del total, están ocupadas por ganado vacuno de carne (MGAP. DIEA, 2017).

En el ejercicio 2015/2016 fue registrado que existen en el país más de 42000 establecimientos ganaderos y más de 5000 agrícola ganaderos. La mitad de los mismos, tanto en número como en superficie ocupada corresponden a explotaciones dedicadas a la cría. Le siguen en importancia los que realizan ciclo completo y los invernadores, que representan 14 y 12% de las explotaciones, y 24 y 17% de la superficie total ocupada por dichos establecimientos, respectivamente (MGAP. DIEA, 2017).

Estas explotaciones, en el ejercicio mencionado, alojaron un total de 12 millones de vacunos y produjeron 1167 mil toneladas de carne. La producción de carne es producto de la faena de casi 2,3 millones de cabezas de ganado, correspondiendo un poco más de un millón de las mismas a novillos. Es notable destacar la disminución en edad de las categorías faenadas donde actualmente 6,1% de la faena de novillos corresponde a animales entre 0 y 2 dientes cuando en 2007 sólo representaba el 4,6%. Paralelamente, las vaquillonas faenadas con edades entre 0 y 4 dientes pasaron de un 20% en 2007 a un 22% en 2016 (MGAP. DIEA, 2017).

Para el año 2016, las exportaciones de carne le significaron al país ingresos cercanos a los 1500 millones de dólares representando el 22% del total de las exportaciones, solamente siendo superadas por los productos agrícolas (MGAP. DIEA, 2017).

Los cambios en las edades a faena así como los volúmenes de carne producidos dependen de la producción animal en general, y del crecimiento de los animales en lo particular.

El crecimiento de los vacunos se encuentra dividido en tres etapas: lactancia, recría y engorde. Cada una de estas etapas está caracterizada por cambios en el peso, tipo y proporción de los tejidos que se desarrollan, y por modificaciones en el metabolismo (Di Marco, 2004). El crecimiento de los animales será dependiente del genotipo de los mismos y de las condiciones ambientales en que se desarrollan (alimentación, clima).

El peso vivo de cada animal es determinante en la edad a faena y en otros factores que afectan la eficiencia productiva como lo es la edad al primer entore en las

hembras, ya que condiciona el tiempo de permanencia de las mismas en el rodeo: a menor intervalo generacional se podrá lograr un mayor progreso genético por la velocidad a la que el rodeo puede introducir o mejorar ciertas características.

En el Uruguay, la base alimenticia del ganado es fundamentalmente pastoril. Más específicamente, la ganadería se desarrolla en esencia sobre campo natural, por lo que la disponibilidad de las pasturas y el crecimiento de las mismas generan un gran impacto en el crecimiento de los animales, por lo tanto, afecta la oferta de éstos para faena a lo largo del año.

Además de las variaciones en la disponibilidad forrajera a lo largo del año, el crecimiento animal está fundamentalmente condicionado por la raza así como también por el sexo y la edad del mismo. A nivel nacional, han sido divulgados varios trabajos que describen las curvas de crecimiento y madurez de machos y hembras de raza Angus, Hereford y distintas cruzas de origen principalmente británico. No obstante, en los últimos años se han introducido nuevas razas a Uruguay cuyo origen no es europeo. Es el caso de la raza sudafricana Bonsmara introducida en 2005, el compuesto tropical Senepol que ingresó en 2012, y la raza japonesa Wagyu en la que se centra este estudio.

Este trabajo se centra en el estudio de curvas de crecimiento en la raza Wagyu, de la cual la primera importación de genética al país ocurrió en 2003; sin embargo, no es hasta 2005, a raíz de una segunda importación, que animales puros de la raza son registrados en la Asociación Rural del Uruguay.

La carne proveniente de animales Wagyu es un producto de lujo y por tanto el mercado está dispuesto a pagar un precio superior por el mismo. Siendo Uruguay un país agro exportador pero incapaz de competir en volumen contra otras potencias dado su tamaño y capacidad de producción, apuntar a mercados específicos dispuestos a pagar precios diferenciales por productos de alta calidad se vuelve una necesidad. Es en función de esto y lo antes expuesto que se elabora este trabajo que tiene el objetivo de modelar las curvas de crecimiento en las hembras de la raza desde el nacimiento hasta los dos años de edad en un sistema pastoril del litoral oeste del Uruguay.

1.1 OBJETIVOS

General: describir el crecimiento y características morfológicas de hembras Wagyu en un sistema pastoril del litoral oeste de Uruguay.

Específicos: en hembras puras Wagyu en un sistema pastoril del Litoral Oeste del Uruguay:

- Comparar diferentes curvas de crecimiento desde el nacimiento hasta los 8 años de edad
- Describir la curva de crecimiento más ajustada
- Describir la evolución de diferentes caracteres morfológicos en hembras Wagyu de 1 a 2 años de edad.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

La producción de carne depende tanto del crecimiento como del desarrollo de los animales, y la eficiencia de estos procesos fisiológicos es, conjuntamente con las aptitudes reproductivas del rodeo, determinante de la eficiencia del proceso productivo.

El crecimiento animal por tanto es uno de los aspectos más importantes para evaluar la productividad animal en las empresas ganaderas. Su eficiencia es más importante en los bovinos de carne que en otros animales, debido a la participación de procesos ineficientes en la cría vacuna como reproducción (con bajas tasas de procreos) y el alto costo que implica el mantenimiento de una vaca del rodeo maternal en relación a cada animal que ingresa al mercado (Arango y Van Vleck, 2002).

Bavera et al. (2005) señalan que, tanto el crecimiento como el desarrollo son resultantes de una serie de cambios anatómicos y fisiológicos complejos que ocurren en el organismo animal, y a través de los cuales se opera la transformación de una única célula en un animal adulto típico de la especie. Esta transformación incluye la multiplicación de las células (hiperplasia), diferenciación, aumento del tamaño (hipertrofia) y formación de órganos y tejidos; es decir, que los cambios que sufre el organismo son de tipo cualitativo y cuantitativo.

En esta línea, Fowler (1968) propuso una separación del crecimiento en dos aspectos, uno es el aumento de peso por unidad de tiempo (crecimiento propiamente dicho) y el otro abarca los cambios en forma y composición que resultan de un crecimiento diferencial de las partes componentes del cuerpo, o sea, el desarrollo.

Hammond (1960) por su parte, entiende el crecimiento como el aumento de peso que experimenta un animal hasta alcanzar su estabilización en la madurez, y al desarrollo como las modificaciones que experimentan las proporciones, conformación, composición química corporal y funciones fisiológicas del animal a medida que avanza la edad. La ocurrencia de estos procesos pueden darse simultáneamente, sin embargo, la ocurrencia de uno no implica necesariamente que se esté produciendo el otro, es de esta manera que puede haber desarrollo sin crecimiento y viceversa.

Álvarez et al. (2009), consideran al crecimiento como una característica de desarrollo de los animales pluricelulares que se traduce en el aumento de tamaño físico del organismo y determina que este proceso de gran complejidad está determinado por dos factores fundamentales: carga genética (ADN) y alimentación. Aunque el potencial genético del animal determine el crecimiento y desarrollo corporal en la madurez, la alimentación determina la conformación y composición durante el crecimiento activo (Bavera et al., 2005). Crecer es por tanto un proceso multifactorial y complejo que comprende fenómenos de aumento de tamaño y cantidad de los tejidos.

2.1. CRECIMIENTO Y DESARROLLO

A medida que el animal crece, las proporciones del mismo se van modificando debido a que las diferentes partes que componen al organismo no crecen o experimentan cambios a la misma velocidad. Según Hammond (1960), los diferentes órganos, tejidos y piezas anatómicas van adquiriendo velocidades de crecimiento diferentes y características a medida que el animal crece a la vez que siguen un orden definido. Esto implica, a su vez, que los nutrientes absorbidos durante la digestión no se distribuyan uniformemente entre los diversos tejidos, sino que se repartan de acuerdo a ciertas prioridades. Estas transformaciones que ocurren en un animal, resultan del desarrollo simultáneo de todas sus partes, pero en proporciones que individualmente varían mucho (Bavera et al., 2005).

El primer tejido en alcanzar la máxima velocidad de crecimiento es el nervioso, seguido por el tejido óseo, luego el muscular y por último el graso. La prioridad en la distribución de nutrientes sigue esta misma línea, y ante carencias en el aporte de nutrientes, los primeros tejidos en no desarrollarse o en catabolizarse si la restricción es severa, corresponden al orden inverso. La secuencia de desarrollo prioriza los tejidos y partes del cuerpo más indispensables para la vida, es por esto que los genitales no presentan mayor desarrollo hasta la pubertad, o que el crecimiento óseo se desarrolle en longitud previo a engrosarse o que haya un cierto orden en el cual la grasa es depositada.

A nivel de los órganos, el crecimiento diferencial es principalmente funcional, por lo que los órganos de mayor importancia fisiológica para el animal están mejor desarrollados al nacimiento que aquellos que tienen menor importancia. A estos órganos de menor prioridad se les puede fomentar su velocidad de desarrollo con un manejo especial del ternero (Bavera et al., 2005).

Siguiendo esta lógica, Bavera et al. (2005) determinaron que al comienzo de la vida del ternero el desarrollo del esqueleto está adelantado respecto al de los músculos, que éstos crecen en relación al peso del cuerpo y que durante este crecimiento siempre existe alguna acumulación de grasa, que va siendo cada vez mayor a medida que el animal se aproxima a la madurez.

Las curvas de crecimiento de los diferentes tejidos y órganos son sigmoideas; los tejidos, dependiendo de su capacidad de regeneración pueden clasificarse en: tejidos que renuevan su población celular (ejemplo, epidermis que posee células de vida muy corta con altas tasas de sustitución); tejidos que expanden su población celular (ejemplo, hígado riñones y pulmones); y tejidos estables (como las neuronas o el músculo cardíaco) que contienen células que una vez desarrolladas en las primeras etapas se mantienen durante toda la vida del individuo (Álvarez et al., 2009).

Los principales indicadores para cuantificar el crecimiento animal son el incremento de peso vivo o masa corporal, y el tamaño o cambios en longitud y altura. La combinación de estos parámetros (relación peso-tamaño) es frecuentemente utilizada como indicador de la etapa de desarrollo, pudiendo entonces diferenciarse tres etapas: la primera caracterizada por un incremento relativamente armónico entre peso y tamaño, la segunda por el aumento de tamaño que corresponde al crecimiento puberal, y la tercera por el incremento significativo del peso en la etapa adulta (Álvarez et al., 2009).

2.1.1. Ondas y curvas de crecimiento

Como se discutió previamente, las partes del cuerpo del animal no crecen simultáneamente ni con igual intensidad, por lo que el aumento de peso y tamaño animal no será uniforme a lo largo de toda la vida del mismo.

Como determinaron Bavera et al. (2005), al nacimiento el animal presenta más desarrolladas las regiones más precoces: como resultado del crecimiento diferencial durante la vida fetal el animal es de cabeza grande, largo de patas, con cuerpo angosto y muy poco desarrollados los cuartos traseros. Las vísceras representan un elevado porcentaje de su peso total, y la canal tiene un porcentaje alto de hueso y bajo de grasa. Sin embargo, el ejemplar adulto posee una cabeza liviana en relación con el volumen general del animal, la caja torácica amplia, con costillar bien desarrollado, y un tren posterior de correcta conformación, estos aspectos además contribuyen a dar la sensación que los miembros son más cortos. La cabeza y la alzada son dos características que ejemplifican las diferencias en los tiempos de desarrollo, dado que estas adquieren rápidamente su tamaño adulto alcanzando su dimensión definitiva a temprana edad.

Es a partir de la observación de estas diferencias que se desarrolla el concepto de ondas de crecimiento, que aplica a todos los mamíferos y estipula que el ternero al nacer tiene mejor desarrollados los tejidos duros que los blandos, y que el crecimiento se da desde desde la cabeza y las extremidades hacia la región de las caderas; es decir, que el desarrollo se realiza siguiendo disposiciones preestablecidas (Bavera et al., 2005).

La Figura 1 muestra el sentido de acción de las diferentes ondas de crecimiento en el cuerpo del animal.

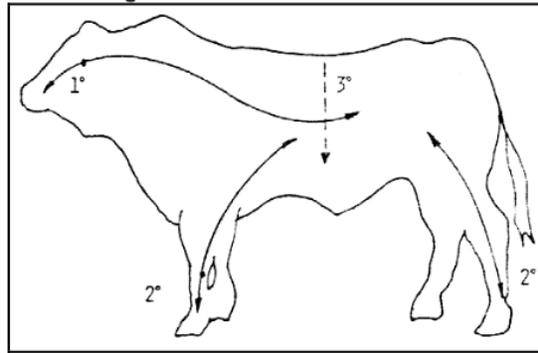


Figura 1. Ondas de crecimiento animal. Fuente: Bavera et al. (2005).

Según explican Bavera et al. (2005), la primera onda, llamada axial o primaria, comienza en el cerebro y continúa en dos direcciones: en sentido craneal, encargándose del aumento del tamaño de la cara, y en sentido caudal, produciendo el desarrollo en largo del animal. Así, a medida que avanza, crecerá la cabeza, el cuello, el tórax, el lomo y la cadera. Esta onda, que tiene prioridad de desarrollo sobre las demás, explica el crecimiento paulatino en sentido craneal-caudal.

La segunda onda, que recibe el nombre de apendicular, se inicia en la parte media de las extremidades y consta de dos ramas: una se dirige hacia la terminación de cada miembro y es la encargada de dar el tamaño definitivo al pie, mientras que la otra se orienta en sentido dorsal a lo largo de las diversas regiones de los miembros, originando el crecimiento en alto. Esto aclara el hecho que el pie y la caña son las partes de las extremidades que primero alcanzan su tamaño definitivo en el animal adulto. Como efecto de la acción de cada onda, resulta la alzada, una dimensión que a edad prematura adquiere la magnitud final. Al subir estas ondas por los miembros, llegan al cuerpo y se orientan hacia la región del lomo, que es una de las partes del animal más tardías en adquirir el tamaño definitivo (Bavera et al., 2005).

La tercera onda no comienza a desenvolverse hasta que empieza a decrecer el efecto de las dos anteriores, y es la encargada del desarrollo longitudinal de las costillas, por cuya causa se la denomina descendente. A sus efectos se atribuye el crecimiento en ancho de los diferentes huesos largos, puesto que éste es muy tardío (Bavera et al., 2005).

Dado que estos eventos ocurren en el mencionado orden predeterminado, las regiones con desarrollo tardío (que son las que coinciden con la ubicación de los cortes más valiosos) son las que se verán especialmente afectadas ante cualquier déficit alimenticio que pueda provocar un retraso en la evolución de las ondas.

2.2. FACTORES QUE AFECTAN EL CRECIMIENTO Y DESARROLLO

De acuerdo a Bavera et al. (2005), el crecimiento y desarrollo de los animales se manifiesta como un aumento coordinado de las partes del organismo a intervalos definidos de tiempo, en forma característica para cada especie. Por lo antedicho, se considera que el grado de crecimiento y desarrollo definidos para la edad adulta de cada especie, está sujeto al componente genético, variabilidad individual y nutrición e implica que debe producirse un crecimiento y desarrollo completo y coordinado de todas y cada una de sus partes, fenómenos que requieren un gran número de procesos.

El Cuadro 1 presenta los diferentes factores que afectan el crecimiento pre y posnatal en mamíferos.

Cuadro 1. Factores que afectan el crecimiento pre y posnatal en mamíferos.

Prenatal	Posnatal	
	Predestete	Posdestete
Genotipo		
Sexo		
Ambiente materno	Peso al nacer	Peso al destete
Tamaño de la madre	Aptitud materna	Equilibrio hormonal
Edad y desarrollo de la madre		Alimento disponible
Número de fetos	Estado nutritivo de la madre	Manejo
Nutrición de la madre	Producción de leche materna	Clima
Temperatura ambiente	Alimentación al pie de la madre	Adaptabilidad
	Estado sanitario de la madre y cría	Sanidad

Fuente: adaptado de Bavera et al. (2005).

Los primeros cambios producidos en el crecimiento prenatal se deben principalmente a fenómenos de hiperplasia (aumento del número celular). El aumento del peso corporal en el estado prenatal (embrión-feto) es relativamente rápido y se produce de una forma exponencial en todas las especies animales aunque la tasa real de crecimiento varía según la especie en función a la diferencia existente en el tamaño del esqueleto de la especie (padres y crías), peso de las crías al nacimiento y duración de la gestación. El crecimiento en la fase posnatal puede ser representado por una curva sigmoidea: primero se produce un crecimiento lento seguido de una alta tasa de desarrollo impulsada por el efecto de las hormonas sexuales, seguidamente la tasa crecimiento se reduce hasta alcanzar el grado de madurez somática o detención del crecimiento (Álvarez et al., 2009).

La influencia de la desnutrición materna prolongada sobre el tamaño del feto es más grave en las etapas finales de la gestación, dado que es el momento en el que el feto presenta el mayor crecimiento (duplica su peso en los últimos dos meses de la

gestación), a la vez que existe una relación directa con el periodo de maduración posnatal (Bogart 1964, Bavera et al. 2005).

Como se mencionó, la nutrición de la madre posee un impacto significativo sobre el peso del feto por lo que sería esperable que los terneros nacidos en verano tengan un mayor peso al nacimiento que los nacidos en primavera debido a las variaciones estacionales del crecimiento de las pasturas (Bustamante y López Saubidet, 1972).

En cuanto al efecto que tiene la edad de la madre sobre el peso al nacimiento, Burris y Blunn (1952) en un experimento realizado para evaluar los diferentes factores que afectan el peso al nacimiento, determinaron que el aumento de peso que mostraban los terneros hijos de madres de tres años en comparación con los nacidos de madres de dos años, era mayor que la diferencia que se podía encontrar comparando cualquier otros pesos de hijos de madres con edades consecutivas. En este mismo estudio se determinó que si bien existe una estrecha relación entre la edad de la vaca al parto y el peso del ternero al nacimiento, no es hasta que la madre alcanza los nueve o diez años que se alcanzan los máximos pesos de los terneros.

Incluso hasta varias semanas posteriores al nacimiento, el rumen del ternero presenta un desarrollo incompleto, lo que genera que la nutrición del animal sea similar a la de un monogástrico. Durante estas primeras etapas del crecimiento, además de la leche, el animal consume cantidades crecientes de forraje u otros alimentos disponibles. Este consumo además de estimular el desarrollo del rumen aporta cantidades crecientes de nutrientes necesarios para el ternero. Carencias en la disponibilidad de alimento en general, de energía, proteína y minerales en particular o una combinación de estos factores, comprometen el crecimiento del animal. Consecuencia de esto se presentan como factores muy importantes en esta etapa: la producción de leche de la madre, la calidad y disponibilidad de forraje, la estrategia de suplementación y la estrategia de destete (Church et al., 2002).

A medida que el ternero madura, la ingesta de leche va disminuyendo y va aumentando la ingestión de forraje. En consecuencia, tanto la calidad como la disponibilidad del mismo se van volviendo cada vez más importantes. Diferente a esto es lo que ocurre en las primeras etapas de la vida del animal, donde la calidad del forraje es más importante que la disponibilidad, dada la limitada capacidad de consumo por parte del ternero joven. Un hecho frecuente en muchos sistemas de producción es que no se da una coincidencia entre las necesidades nutricionales del ternero y la disponibilidad de alimento, es en estos casos donde otros factores como el método de destete o la posibilidad de dar una alimentación diferenciada al ternero cobran gran importancia (Church et al., 2002).

La velocidad a la que el animal crece depende de su raza, edad, peso adulto potencial y sexo. Pero fundamentalmente, la ganancia de peso diaria dependerá de la nutrición y del potencial genético. Es así que razas diferentes tienen distintos pesos adultos y diferentes ganancias diarias (Bavera et al., 2005). Se podría decir entonces que la interacción entre la carga genética que el animal posee y el ambiente conformado por la cantidad y calidad del alimento consumido, y el esfuerzo necesario para localizarlo, consumirlo y digerirlo será determinante de la evolución del crecimiento (Fitzhugh, 1976).

Caracteres como el color de pelaje o la presencia de cuernos están totalmente determinados a nivel genético por lo que no se verán afectados por el ambiente, mientras que los caracteres asociados al crecimiento, determinados por muchos genes, se ven altamente afectados por el ambiente por lo que la influencia genética sobre los mismos será de menor tenor que los nombrados anteriormente (Álvarez et al., 2009).

Respecto al efecto del sexo, los machos crecen comparativamente más rápido que las hembras debido precisamente al mayor efecto de los andrógenos con respecto a los estrógenos sobre la estimulación del crecimiento. Los machos enteros poseen una mayor tasa metabólica que ocasiona un mayor consumo de alimento y presentan mejores tasas de conversión que las hembras. La gestación de los machos es de 3 a 4 días más larga en comparación a las hembras, y al nacimiento los machos tienen un peso entre 5 y 7% superior al de las hembras. Aunque superior, el peso al nacimiento de los machos representa entre un 4 a 5% de su peso adulto. En hembras, a pesar de ser más livianas al nacimiento, ese peso representa un 7 a 10% de su peso adulto, esto significa que nace con una mayor madurez que el macho, lo cual también explica la menor tasa de crecimiento post natal. Esta inmadurez vuelve a los terneros machos más susceptibles a deficiencias nutricionales en las primeras etapas de vida (Bavera et al., 2005).

En particular, el control endócrino del crecimiento está ligado a las hormonas anabólicas, que son aquellas que favorecen este proceso: somatotropina, insulina, andrógenos, estrógenos y glucocorticoides.

La somatotropina o GH (growth hormone), normalmente llamada hormona del crecimiento y secretada de manera pulsátil por la adenohipofisis, es la que mayor influencia tiene en el incremento del tamaño corporal: regula el crecimiento del hueso, del músculo y del cartílago, y tiene un considerable potencial para incrementar la producción de carne y leche además de tener actividad lipolítica y estimulante del sistema inmune. Esta hormona actúa de manera directa e indirecta: en su acción directa actúa sobre todas las células susceptibles de crecer, y en su accionar indirecto lo hace mediante los IGF o factores de crecimiento insulínicos que son producidos por los hepatocitos. La producción y liberación de GH está básicamente determinada por la interacción entre la hormona GRH (growth releasing hormone) que estimula su liberación, y la hormona somatostatina (SS o GHIH -growth hormone inhibiting

hormone-) que inhibe su liberación, aunque otros neuropéptidos, neurotransmisores y señales metabólicas y hormonales pueden intervenir en su regulación (Bavera et al. 2005, Álvarez et al. 2009).

La secreción de IGF está muy condicionada por el estado nutricional del animal, por lo que en situaciones de subnutrición aunque los niveles de GH sean normales, el crecimiento se ve enlentecido porque los niveles de IGF se encuentran deprimidos. Además, el nivel de IGF se ve afectado por las hormonas tiroideas y sexuales, lo que explica el empuje de crecimiento que ocurre durante la pubertad (Álvarez et al., 2009).

La insulina es la hormona anabólica por excelencia, no sólo por ese efecto, sino además porque regula la unión de otras hormonas con sus receptores. Además de ser reguladora de la homeostasis de la glucosa en sangre, funciona como estimulante del crecimiento, ya que coopera en el suministro energético de las células y estimula el crecimiento fetal.

La GH no puede estimular el crecimiento óseo en animales hipotiroideos ni el crecimiento en general en animales sin páncreas o con déficits de carbohidratos, debido a que tanto las hormonas tiroideas como la insulina tendrían un efecto facilitador de la acción de la hormona de crecimiento, permitiendo que las células capten y utilicen los sustratos necesarios para que ocurra este fenómeno. A su vez, las hormonas de la tiroides contribuyen directamente al crecimiento porque son estimulantes de la secreción de GH, a la vez que potencian la síntesis proteica y la multiplicación celular (Bavera et al. 2005, Álvarez et al. 2009).

Los andrógenos tienen marcados efectos sobre el crecimiento de huesos y músculos en ambos sexos: la testosterona, el andrógeno primario, es secretado principalmente por los testículos en los machos y las glándulas adrenales en las hembras. La secreción de andrógenos aumenta marcadamente antes de la pubertad y es parcialmente responsable del rápido crecimiento que ocurre en esta etapa: los machos tienen una más rápida velocidad de crecimiento que las hembras, debido a que los testículos producen más andrógenos que las glándulas adrenales. Los estrógenos secretados por los ovarios sirven para el desarrollo del tracto reproductivo en todas las especies, y también incrementan el desarrollo muscular en rumiantes y la deposición de grasa. Las glándulas adrenales, además, secretan glucocorticoides que pueden causar remoción de nutrientes de las reservas corporales para producir energía, resultando en pérdida de peso o descenso de la tasa de ganancia, lo cual no ocurre en animales sanos pero sí lo hace en animales sometidos a algún tipo de estrés (Bavera et al. 2005, Álvarez et al. 2009).

A nivel nutricional, los animales en crecimiento y terminación consumen alimento equivalente a 2,5 o 3 veces al valor de mantenimiento cuando se les

proporcionan alimentos balanceados y de buena calidad. A medida que la concentración de forraje de la dieta aumenta, la capacidad del animal para consumir masa o volumen de alimento va limitando de manera creciente la entrada de energía. La ingestión de alimento puede diferir sustancialmente entre razas o genotipos de ganado vacuno: el ganado *Bos indicus* suele ingerir menos alimento de buena calidad a voluntad que el ganado *Bos taurus*. A la inversa, el ganado lechero y sus cruza en general consume mayores cantidades de alimento que las razas para carne típicas británicas. La ingestión de alimento se reduce en temperaturas ambientales altas y este efecto se acentúa en animales altamente engrasados por su menor capacidad para disipar el calor (Church et al., 2002).

La etapa de terminación puede ser tan breve como 60 días o cubrir todo el periodo posterior al destete. En la mayoría de los casos, se alimenta a los animales para obtener tasas de ganancia de peso máximos durante este período y hasta un punto final de gordura determinado. En el animal en crecimiento o en terminación, como en el animal maduro, una porción importante del alimento consumido se usa para cubrir los costos energéticos asociados al mantenimiento. Los valores de energía destinada para mantenimiento son menores para el ganado *Bos indicus* que para las cruza de razas británicas, y en general, mayor para razas de ganado lechero o doble propósito, es mayor para machos enteros, e influye en este valor energético, la estación y las condiciones climáticas así como la nutrición previa del animal (Church et al., 2002).

La ingestión de alimento en los animales es mayor en un lapso de tiempo posterior a periodos de restricción del crecimiento, lo cual tiene que ver en parte con la respuesta compensatoria de ganancia de peso. “Ganancia de peso compensatoria” o “crecimiento compensatorio” son términos que se usan para describir una tasa de crecimiento mayor al normal, que ocurre en los animales en los que el crecimiento estuvo limitado antes por la nutrición u otros factores ambientales hasta el reinicio de la alimentación o la eliminación de los factores que limitaron el crecimiento. Los requerimientos de energía de mantenimiento disminuyen en animales en los que el crecimiento se vio limitado nutricionalmente (Church et al., 2002).

Otro factor ambiental que afecta al animal es el clima, y en particular la temperatura, encontrándose un óptimo para el crecimiento en el rango de los 17°C y 32°C. Los animales adaptados a climas templados tienen un mayor desarrollo corporal que los de climas cálidos, pero si son expuestos a temperaturas elevadas tienden a retrasar o detener el crecimiento y la edad de madurez sexual, lo que desencadena en problemas reproductivos. A su vez, la temperatura medioambiental tiene gran influencia sobre la actividad metabólica y fisiológica del animal: altas temperaturas ocasionan respuestas de termorregulación que causan reducciones en el crecimiento y por tanto en la producción por un descenso del consumo voluntario de alimentos, al mismo tiempo que aumenta el gasto de energía por la necesidad de disipar calor (Álvarez et al., 2009).

2.3. PRECOCIDAD

Como se estableció al comienzo, el ganado Wagyu tiene como característica poseer una gran precocidad, que está definida como “*la facultad que posee el animal para realizar aceleradamente su desarrollo, es decir, para lograr rápidamente la colocación definitiva de los diferentes tejidos en su lugar*” (Bavera et al., 2005). Como se mencionó, cada tejido y región tiene una velocidad de desarrollo característica y que cada una se alcanza en diferentes etapas de la vida del animal. Es así que un rasgo de los animales precoces es que los tejidos no primordiales como el graso alcanzan elevados valores de desarrollo temprano en la vida del animal por lo que el mismo puede acumular cantidades importantes de grasa antes de haber concluido el desarrollo óseo y producido tejidos musculares de mayor grosor.

En la Figura 2 se presenta la velocidad de desarrollo de diferentes tejidos y regiones del cuerpo según cuán precoz sea el animal y si el mismo está o no mejorado genéticamente

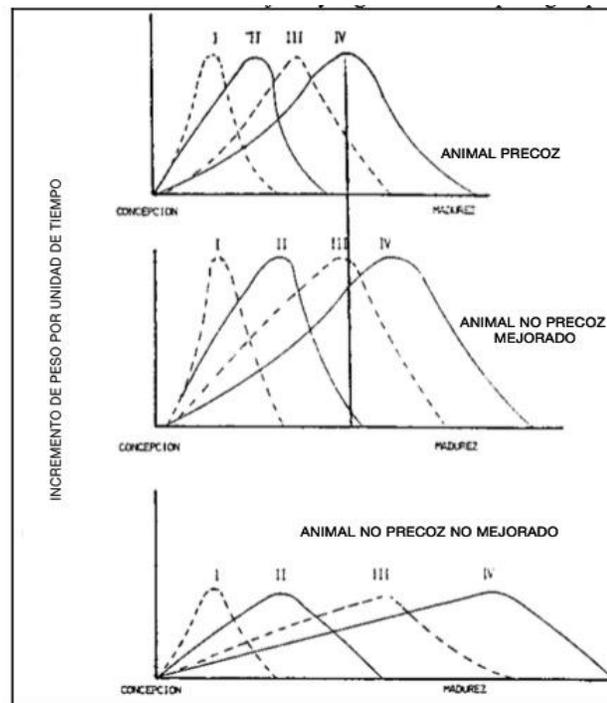


Figura 2. Rapidez de desarrollo de los diferentes tejidos y regiones del cuerpo según precocidad y mejoramiento. Fuente: Bavera et al. (2005).

En cada caso las diferentes curvas representan el desarrollo de los distintos tejidos y regiones corporales. El Cuadro 2 detalla a que región, tejido, hueso y tipo de grasa corresponde cada una de las curvas de la Figura 2.

Cuadro 2. Descripción de la región, tejido, hueso y tipo de grasa asociado a cada curva de velocidad de desarrollo.

	I	II	III	IV
Región	Cabeza	Cuello	Miembros	Lomo
Tejido	Nervioso central	Óseo	Muscular	Adiposo
Hueso	Caña	Tibia	Fémur	Pelvis
Grasa	Interna o visceral	Intermuscular	Subcutánea o cobertura	Intramuscular

Fuente: Bavera et al. (2005).

En las razas precoces, los máximos de las curvas están muy próximos por lo que el animal comienza el proceso de terminación cuando aún se está desarrollando a nivel óseo y muscular. Por el contrario, las razas no precoces ni mejoradas no comenzarán a terminarse hasta que estén casi completamente desarrollados el resto de los tejidos (Bavera et al., 2005).

Es necesario al mismo tiempo resaltar la diferencia entre un animal precoz y uno de rápido crecimiento dado que el mismo puede ser esto último sin necesariamente ser lo primero. Se podrá decir que el animal es precoz si el rápido crecimiento va acompañado de una pronta terminación de los tejidos o desarrollo, y en particular si puede terminarse en el sentido de engordar y depositar grasa a una edad temprana.

Existe también una asociación entre el peso adulto y la precocidad teniendo estas dos características una relación inversa: animales con un mayor peso adulto tenderán a tener una menor precocidad aunque mostrarán mayores ganancias diarias de peso. Los animales de mayor peso adulto alcanzarán la pubertad más tardíamente y a una misma edad serán más inmaduros que animales de menor peso adulto pero más precoces. Las diferencias en estado de madurez serán más notorias cuando se comparan animales de igual peso que cuando se lo hace con animales de igual edad.

Por lo antedicho, se puede concluir que debido a que la grasa intramuscular es la última en depositarse, es posible que las razas grandes puedan presentar un bajo marmoreo si son faenadas anticipadamente o si la alimentación que reciben no permite alcanzar altas tasas diarias de ganancia de peso. Por el contrario, individuos de

maduración temprana que logran depositar grasa más fácilmente podrán llegar a faena con un exceso de grasa subcutánea, interna y visceral, si se les son ofrecidas dietas altamente energéticas (Bavera et al., 2005).

De acuerdo a Berg y Butterfield (1967), la proporción de músculo, grasa y hueso de la carcasa al momento de la faena, son los aspectos más importantes de composición que importan al consumidor, y por lo tanto, determinan el valor económico de la res. A nivel productivo, por tanto, se intenta lograr una carcasa compuesta de una alta proporción de músculo combinado con una adecuada y acorde cantidad de grasa y una mínima proporción de hueso. Peso al momento de la faena, sexo, *frame*, nutrición y raza son los factores que pueden modificar la composición de la carcasa y que a su vez el productor puede manejar con el fin de conseguir el producto deseado. Todos estos factores mencionados deben estar en concordancia con el método y condiciones de producción: el animal más eficiente será aquel que más se adapte al medio donde habita porque será a su vez el menos costoso.

En resumen, aunque la conformación y composición corporal en la madurez sean características determinadas genéticamente según la especie y la raza, es indiscutible que el nivel de alimentación en general y el nivel energético en particular serán los factores que determinarán la conformación y composición durante el tiempo de crecimiento activo (Álvarez et al., 2009).

2. 4. MÉTODOS DE MEDICIÓN Y MODELOS DE CRECIMIENTO

Lo deseable en una medida de crecimiento es que se base en una unidad que describa lo más exacto posible el cambio producido. Tradicionalmente, la medición del peso vivo ha sido la forma más usada para evaluar el crecimiento, pero esta medición puede estar sometida a errores muy importantes debidos al llenado del tracto gastro intestinal en especial en los rumiantes. Por otra parte, la metodología utilizada en la medición no nos brinda información respecto a la composición cualitativa de las ganancias de peso: un animal puede aumentar de peso por acumulación de grasa sin que haya aumento de sus tejidos de estructura y sus órganos.

Otro método de medir el crecimiento consiste en la faena seriada para determinar composición corporal a lo largo de la curva de crecimiento. Este es sin duda el mejor método, pero también el más costoso debido al número de animales necesarios y el tiempo demandado.

También es posible evaluar el crecimiento a través del uso de marcadores radioactivos y una ecuación que permite determinar el contenido de agua en la res; debido a la relación inversa entre contenido de agua y contenido de grasa, se puede determinar el porcentaje de esta última. Una vez estimado el contenido de grasa se puede obtener la cantidad de proteína. Este método tiene la limitante que la ecuación predictiva

sólo es válida para las condiciones experimentales particulares en que fue realizado el cálculo (Bavera et al., 2005).

De los métodos expuestos, la medida de crecimiento más usual es la medición del peso corporal. En este sentido, el crecimiento puede definirse a través de:

- 1) Curva de crecimiento total o de ganancia acumulativa de peso: expresa el crecimiento como un aumento que se va acumulando durante un periodo de tiempo prefijado (Figura 3).

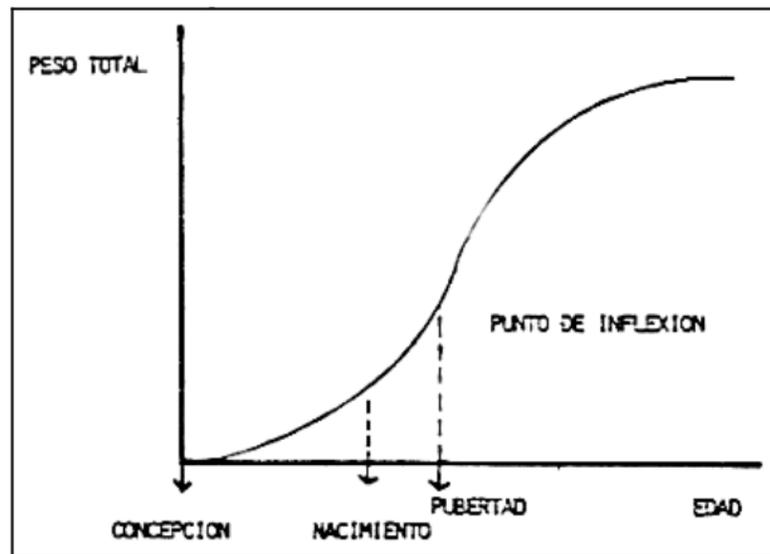


Figura 3. Curva de crecimiento total. Fuente: Berg y Butterfield (1974).

La curva sigmoidea característica muestra que durante las primeras etapas del crecimiento, el aumento de masa corporal supera ampliamente a las pérdidas. Esta diferencia entre el aumento y la pérdida de masa corporal se mantiene relativamente constante durante esta fase y es lineal el incremento de peso con relación a la edad. Sin embargo, cuando el animal se convierte en adulto, las tasas de ganancia y de pérdida muestran un cambio en el equilibrio, y la gráfica que representa el crecimiento pasa de lineal a curvilínea (Bavera et al., 2005).

Se pueden distinguir en la curva dos partes diferentes: una fase de autoaceleración al principio de la vida, en la cual el potencial de crecimiento del animal es muy elevado y ocurren ganancias importantes de peso en valor absoluto por unidad de tiempo, y una segunda parte de la curva que determina la fase de autoinhibición: a partir de cierta edad que generalmente corresponde con la pubertad, el potencial de crecimiento disminuye. Luego de pasado este momento, las ganancias de peso realizadas

por unidad de tiempo son cada vez más pequeñas, hasta que finalmente el animal alcanza la madurez teniendo en esta etapa la curva una inclinación decreciente. El punto en que cesa la aceleración del crecimiento para iniciar la desaceleración del mismo se conoce como punto de inflexión, que en los animales superiores coincide con la pubertad. Éste es el punto donde la velocidad de ganancia es mayor, inmediatamente antes de comenzar a descender, como lo indica la curva de ganancia diaria (Figura 4). Su coincidencia con una época de grandes cambios endócrinos que obedecen a la activación del eje hipotálamo-hipófisis-gonadal, confirma que la producción de ciertas hormonas ejerce una acción decisiva sobre el proceso del crecimiento como se discutió anterioremente. Este punto, como indica un aumento fisiológico definido, es importante para establecer la equivalencia de edades entre especies y entre razas de una misma especie, lo que permite hacer comparaciones de crecimiento entre ellas (Bavera et al., 2005).

Estas curvas de crecimiento permiten evaluar parámetros biológicamente importantes, como es el tamaño animal, evaluado como el peso al alcanzar la madurez sexual, o la relación entre la tasa de crecimiento respecto a la tasa de maduración sexual. Cabe destacar que estos parámetros sólo pueden ser evaluados una vez que se completó el crecimiento, y que la estimación temprana de los factores antes mencionados, puede servir para guiar programas de mejoramiento genético y selección, dado que están asociadas a otras características de importancia económica (Agudelo et al., 2007).

2) Aumento de peso por unidad de tiempo: es la expresión utilizada con más frecuencia por el ganadero, que suele referirse al promedio de aumento diario conseguido por uno o varios animales. Para obtener este dato es preciso restar del peso final el peso inicial y dividir la diferencia por el número de días transcurridos entre ambas determinaciones (Bavera et al., 2005, Figura 4)

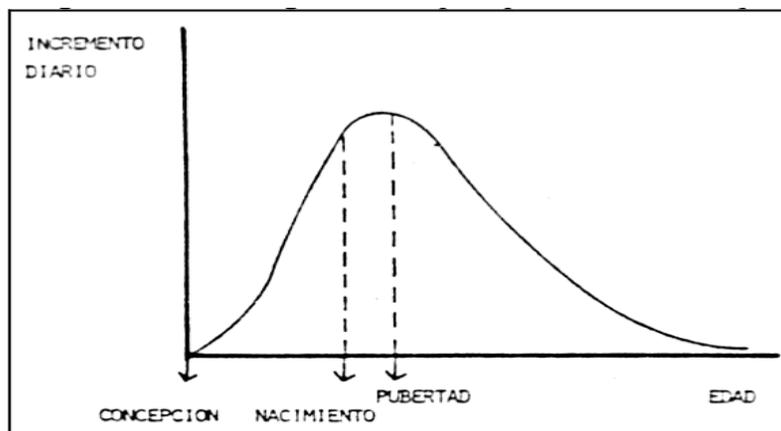


Figura 4. Curva de ganancia de peso. Fuente: Bavera et al. (2005).

En esta curva se expresan más claramente los cambios de velocidad de crecimiento explicados en la curva anterior. El crecimiento aumenta a ritmo acelerado a partir de la concepción en progresión lineal hasta alcanzar un máximo que coincide con la pubertad y luego desciende algo más gradualmente (Bavera et al., 2005).

3) Porcentaje de aumento de peso por unidad de tiempo o ganancia relativa de peso: el porcentaje de aumento de peso puede calcularse mediante la resta del peso inicial al peso final con la posterior división por el peso inicial y la multiplicación por 100.

La curva siguiente (Figura 5) representa la ganancia de peso en cada momento expresada como porcentaje del peso en el momento anterior y se ve que es siempre decreciente.

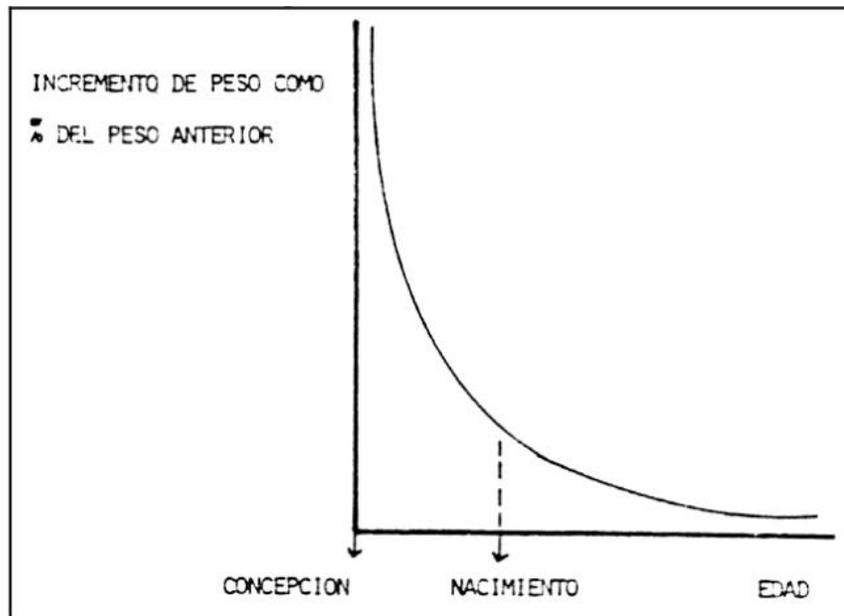


Figura 5. Curva de ganancia de peso en cada momento como porcentaje del peso en el momento anterior. Fuente: Bavera et al. (2005).

Este trabajo utilizará el primer método propuesto, es decir que se buscará representar el crecimiento mediante una curva sigmoidea que no es otra cosa que una representación matemática que busca expresar el comportamiento del crecimiento como un aumento acumulativo de peso que refleja las interacciones entre el potencial de crecer que el animal posee genéticamente y como el ambiente afecta el proceso (Agudelo et al., 2007).

Las funciones más usadas para predecir lo antedicho son las propuestas por Gompertz en 1825 (Laird, 1965), por Verhulst en 1838 también conocida como logística (Nelder, 1961), por Brody (1945), por Von Bertalanffy (1957) y por Richards (1959), además de otras funciones lineales y polinómicas.

Como fue expresado, estas funciones *“intentan predecir el peso adulto o el grado de madurez sin tener que realizar mediciones repetidas o esperar que el animal alcance su madurez para tomar decisiones relacionadas con la producción”* (Agudelo et al., 2007).

Las funciones que normalmente se usan para evaluar el crecimiento son elegidas en forma empírica y su elección se hace con base a la habilidad de la función de ajustarse a los datos, y en ocasiones los parámetros obtenidos en dichas funciones no tienen una interpretación biológica, aunque un modelo apropiado de crecimiento debe suministrar información sobre parámetros que pueden ser interpretados biológicamente (Agudelo et al., 2007).

Encontrar la función que mejor describa a los animales de una raza, un sexo, a una edad y en un lugar determinado, es fundamental para que las decisiones asociadas a la predicción sean exitosas. Por tanto, los diferentes modelos propuestos, que evalúan el crecimiento en base a edad y peso, pueden ser evaluados por su ajuste o por su facilidad de implementación, entre otros factores.

Se puede decir, a modo de resumen, que los objetivos de ajustar una curva de crecimiento pueden ser de índole descriptiva o predictiva: la primera por la capacidad de sintetizar en pocos parámetros la relación peso-edad, y la segunda por la capacidad de los parámetros de facilitar la predicción de diversos factores como pueden ser la velocidad de crecimiento, requerimientos alimenticios, peso a una determinada edad u otros (Berlanga et al., 1995).

Adicionalmente, conocer la curva de crecimiento que se ajusta mejor a un rodeo es una herramienta importante en la selección animal. Por ejemplo, el peso maduro de los animales es una característica de relevancia evaluada en los programas de mejoramiento genético dada su alta asociación con caracteres relevantes económicamente como son los requerimientos de mantenimiento y reproducción entre otros (Costa et al., 2011).

Identificar la curva de crecimiento de las hembras en sistemas pastoriles tiene una gran importancia económica porque permite no sólo identificar el peso maduro de las mismas sino también conocer la tasa a la que alcanzan el mismo (Goldberg y Ravagnolo, 2015).

2.4.1. Modelos lineales

- Lineal ($y = a + bx$)
- Cuadrático ($y = a + bx + cx^2$)
- Polinomiales ($y = a + bx + cx^2 + dx^3 + \dots + zx^n$)

En estas ecuaciones, “y” es el peso del animal, la ordenada en el origen interpretada como el peso al nacimiento será representada por el parámetro “a”, la pendiente media de la curva que estimará el crecimiento desde el nacimiento hasta la edad máxima será “b”, la edad del animal será “x” y “c”, “d” ... “z” serán los coeficientes de regresión (Delgado et al., 2000).

Estos modelos han sido ampliamente estudiados en la bibliografía debido a su facilidad de cálculo y al no exigir procedimientos complejos a nivel computacional, aunque tienen la desventaja que, a excepción de la ecuación lineal, no poseen una fácil interpretación (Delgado et al., 2000).

La curva lineal, que es la más fácil de utilizar e interpretar, asume un crecimiento constante a lo largo de toda la vida del animal, lo que en realidad se sabe que no ocurre, aunque podría servir para explicar el crecimiento en intervalos relativamente cortos de la vida del individuo. El ajuste esperado de esta curva sería inferior al de la mayoría de las otras analizadas cuando se evalúa el crecimiento en la totalidad de la vida del animal, sin embargo, lo opuesto ocurre si se estudia este fenómeno limitado al período comprendido entre el nacimiento y el destete (Berlanga et al. 1995, Delgado et al. 2000).

2.4.2. Modelos no lineales

Los modelos no lineales, también llamados biológicos, son ecuaciones desarrolladas específicamente para calcular el crecimiento del animal desde el nacimiento hasta el peso en la adultez. Se las denomina de esta manera dado que todas tienen como cualidad presentar parámetros interpretables biológicamente (Azor et al., 2005).

Si bien existen muchos modelos propuestos en la literatura, los más utilizados se presentan en la siguiente lista:

- Gompertz $y = Ae^{-Be^{(-kt)}}$

- Brody $y = A (1 - Be^{-kt})$
- Von Bertalanffy $y = A (1 - Be^{-kt})^3$
- Logístico $y = A (1 + Be^{-kt})^{-1}$
- Richards $y = A (1 - Be^{-kt})^M$

En estas ecuaciones, “y” es el peso vivo del animal a la edad “t”, el peso adulto o asintótico en kilos será “A”, la constante de integración está representada por el parámetro “B”, y “k” es la pendiente de la curva relativa a la tasa de crecimiento ($Kg \cdot Kg^{-1} \cdot t^{-1}$).

El parámetro “A”, es el peso asintótico en la madurez, y establece la posición del individuo o del grupo dentro del posible rango de pesos a la madurez. Es decir, este parámetro establece si el animal, grupo o raza, tiene un peso máximo bajo, medio o alto, independientemente de las fluctuaciones de pesos debidas a efectos genéticos y ambientales (Fitzhugh 1976, Nobre et al. 1987).

Por su parte, el parámetro “K”, también conocido como índice de madurez, tasa de madurez posnatal o estimativa de precocidad de madurez, es utilizado para determinar la eficiencia del crecimiento de un animal. Este valor es una relación entre la tasa máxima de crecimiento y el peso adulto del individuo; la interpretación responde a la siguiente lógica: cuanto mayor sea el valor, más precoz será el animal. Valores más bajos por tanto indicarán madurez más tardía por lo que el parámetro también puede ser utilizado para estimar la velocidad con que el animal se aproxima al peso adulto. Mediante el inverso de “K”, expresado como “K⁻¹”, se puede determinar el tiempo que le toma al animal alcanzar la madurez (Posada et al., 2011).

En la ecuación propuesta por Richards aparece un parámetro “M”, llamado también parámetro de inflexión, que hace referencia al punto en que el animal pasa de una fase de crecimiento acelerado a una fase de crecimiento inhibitorio, marca el punto a partir del cual el animal empezará a crecer con menor eficiencia. La función de Richards representa la única función donde este parámetro no asume un valor fijo, por lo que no presentará una forma definida como ocurre en los otros casos donde “M” está incluido (Brody, 1945).

La intercepción con el eje Y está representada mediante el parámetro “B” o parámetro de integración, de los componentes de las funciones es el único que no guarda significado biológico, y es utilizado para adecuar el valor inicial del peso vivo haciendo que la curva pase por el origen cuando “Y” y/o “t” toman valores distintos de cero (Fitzhugh 1976, Posada et al. 2011).

Tanto la curva de Brody como la de Von Bertalanffy pueden llegar a ser consideradas como casos particulares de la curva de Richards, donde el parámetro “M” adquiere valores de 1 y 3 respectivamente. Se puede decir que la ecuación de Richards representa el caso más general de las curvas biológicas, pero esto también ocasiona que sea la de mayor complejidad y costo computacional, debido a la necesidad de estimar cuatro parámetros y la alta correlación que existe entre ellos (Azor et al., 2005).

A priori, los modelos de Von Bertalanffy, de Brody y el logístico sobreestimarían los pesos de los animales en edades tempranas y además este último subestimaría los pesos a la madurez. El modelo de Richards presentaría un ajuste más preciso y el de Brody explicaría satisfactoriamente el crecimiento de los bovinos luego de los seis meses de edad ya que previo a eso tendería a subestimar el peso de los mismos (Agudelo et al., 2007).

Azor et al. (2005), al analizar el crecimiento de los terneros de raza retinta, concluyó que dentro del conjunto de curvas biológicas, los modelos de Gompertz y de Von Bertalanffy fueron los que presentaron el mejor ajuste mientras que el de Richards mostraba el peor. Más aún, al año de edad, todas las curvas subestimaban ligeramente el peso de los animales excepto la de Von Bertalanffy, que lo sobreestimaba en gran medida. La curva de Brody mostró un mal ajuste en general en comparación al resto, únicamente siendo mejor al presentado por el modelo de Richards.

Contrariamente a esto, Nobre et al. (1987), estudiando animales de la raza Nelore desde el nacimiento hasta los dos años de edad con diferentes frecuencias de pesaje, determinaron que los modelos que mejor se ajustaban a los diferentes casos fueron los de Brody y de Richards.

2.5. EL GANADO WAGYU

Waygu que traducido literalmente significa ganado japonés, consta de cuatro razas: Japanese Black, Japanese Brown o Red Wagyu, Japanese Polled y Japanese Shorthorn donde dentro de las mismas, únicamente Japanese Black y Japanese Brown son criadas fuera de Japón.

Este ganado es resultado de la cruce de animales nativos japoneses con una variedad de razas importadas tales como Brown Swiss, Devon, Shorthorn, Simmental, Ayrshire y ganado de origen Coreano. Las cruces comenzaron en el año 1868 con una iniciativa del gobierno de incluir hábitos alimenticios occidentales y la introducción de genes foráneos se detuvo en 1910.

La característica más reconocida de estos animales es su elevada capacidad de deposición de grasa intramuscular proporcionando a la carne un alto grado de marmoreo, característica muy asociada a la calidad de la carne y deseada para poder acceder a los

mercados más exigentes o con demandas específicas de este producto. Además, se caracterizan por su bajo peso al nacimiento, factor muy importante cuando se intentan prevenir partos distócicos. Otras características favorables como docilidad, muy alta fertilidad y adaptación para producir en un amplio rango de ambientes, también son reportadas por los criadores.

La grasa de los individuos Wagyu presenta además una composición considerablemente diferente a la de otras razas bovinas especialmente por el alto contenido de ácidos oleicos que contiene. Estas altas concentraciones otorgan a la grasa un bajo punto de fundición lo que implica que esta se pueda derretir a la temperatura de la boca aumentando de esta manera también la palatabilidad de la carne. Además, se ha estudiado que en humanos el consumo de ácidos oleicos reduce la probabilidad de sufrir enfermedades metabólicas (Motoyama et al., 2016).

La cabaña El Oriental partir de cuyos datos fue realizado este análisis, utiliza genética Japanese Black por ser la que presenta mayor capacidad de marmóreo lo que ayudaría a que esta característica tan deseada se transmitiera en mayor medida en el caso de cruzas con otras razas.

Como se mencionó, la base genética del Wagyu corresponde a ganado nativo japonés, el mismo está caracterizado por tener pelaje negro rizado con moteado blanco aunque también pueden aparecer manchas marrones o rubias, ser de tamaño pequeño con alturas que oscilan entre 115 a 118 centímetros para las hembras y 123 a 125 centímetros para los machos y poseer un torso robusto pero cuello y patas traseras delgadas. El peso y la eficiencia de producción era baja pero la carne poseía una excelente calidad (Namikawa, 1997).

Las cruzas realizadas inicialmente con razas foráneas no parecían tener un objetivo muy definido aunque la tendencia era a aumentar el tamaño así como la producción de leche. Las últimas metas definidas para la cría de Wagyu en cuanto a mejoramiento genético puestas en marcha en 1989 incluían aumentar el tamaño maduro así como la tasa de crecimiento para la raza Japanese black al mismo tiempo de uniformizar estas características para la misma dada la gran variabilidad presente entre líneas dentro de la raza. El tamaño objetivo fijado fue de alcanzar animales con una altura de 129 centímetros y 540 kilogramos de peso vivo.

2.6. HIPÓTESIS

Las curvas no lineales serán las que mejor describirán el crecimiento de las hembras Wagyu desde el nacimiento hasta los 8 años de edad.

La curva de crecimiento de hembras Wagyu en condiciones pastoriles de Uruguay no se diferencia de las observadas para otras razas de origen británico en similares condiciones.

Es posible caracterizar desde el punto de vista morfométrico algunas características de las hembras de la raza.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN Y MANEJO

Los datos fueron recopilados en la cabaña El Oriental, ubicada en la ruta 2 a la altura del kilómetro 272.5.

Los animales de todas las generaciones han sido alimentados básicamente con pasturas sembradas compuestas de *Festuca arundinacea*, *Lotus corniculatus*, *Trifolium repens* y *Trifolium pratense*. En situaciones particulares y por tiempo limitado los animales han pastoreado ocasionalmente campo natural. Además, en algunos años fueron realizadas suplementaciones invernales estratégicas con grano de sorgo al 2% del peso vivo con el fin de mantener una disponibilidad de alimento constante y evitar pérdidas de peso en esta estación crítica.

La influencia en el crecimiento que podrían tener estas diferencias circunstanciales en la alimentación u otras circunstancias que pudieran darse en un año y afectar a una generación en particular fueron evaluadas al realizar el análisis de varianza de los datos.

3.2. DESCRIPCIÓN DEL EXPERIMENTO

El estudio fue realizado a partir de la base de datos de la Cabaña El Oriental, que comprende el período 2006 a 2017.

Los datos que componen la base fueron recopilados en el período de nacimiento comprendido entre los años 2006 y 2017 e involucran un total de 122 animales. Las hembras, el objeto de este estudio, fueron manejadas sobre praderas durante la totalidad del período donde se tomaron los registros.

Para realizar el análisis estadístico se creó una planilla Excel donde a cada animal (identificado por su número de trazabilidad y/o el correspondiente número de registro particular de la cabaña) le fue registrado su día, mes y año de nacimiento, y la información genealógica (padre y madre, así como la receptora en caso de tratarse de un embrión implantado). En esta misma planilla se adjudicaron las diferentes pesadas correspondientes a cada hembra desde el nacimiento hasta un máximo de 2903 días de edad.

A partir de esta planilla inicial se creó una segunda planilla donde a cada individuo se le asignó un número correlativo para su identificación y al que corresponderán un número de “momentos”. Se denomina “momento” a cada pesaje

correspondiente a cada animal; así, los momentos serán una combinación de un individuo, su peso en un momento determinado y la edad cuantificada en días que poseía en esa instancia. El estudio abarcó un total de 419 momentos.

Adicionalmente al peso, a las hembras de la generación 2015 que tenían entre uno y dos años de edad en los momentos de medición detallados previamente, se les registró el espesor de grasa subcutánea (medido en milímetros), ancho de cadera, ancho pélvico, ancho de pecho y altura de anca (medidos en centímetros) con el fin de realizar una caracterización morfológica.

Para describir el comportamiento de los diferentes caracteres morfológicos evaluados, se probaron los modelos lineal y cuadrático sobre una base de datos compuesta por el número de animal, la edad cuantificada en días al momento de la medida y el valor que tomaba la variable en ese momento.

La cantidad de hembras que participaron en estas medidas fueron 14 y el total de datos recaudados fue de 210. Estos registros corresponden a la cantidad de hembras por la cantidad de variables evaluadas por el número de instancias de medición, que fueron tres.

El peso fue registrado mediante el uso de una balanza con cepo, tratando de mantener una postura estática del animal.

Para medir el ancho de cadera, pelvis y pecho se utilizó un compás de Brocas también llamado calibrador. Al medir el ancho del pecho se está registrando la distancia entre los puntos más craneales y laterales de la articulación escapulo humeral (Cevallos, 2012). Así también para medir el ancho de cadera y de pelvis se utilizó el mismo instrumento pero colocado sobre las puntas de las ancas y los isquiones respectivamente.

Para determinar la altura del anca se usó un bastón métrico siendo imprescindible que el mismo estuviera bien apoyado en el suelo y en línea totalmente vertical. Por su parte, el espesor de grasa subcutánea se midió utilizando un ecógrafo, en el espacio intercostal entre la 12^a. y 13^a. costilla.

Con el fin de obtener la mayor exactitud en las medidas mencionadas es necesario que el animal en medición se encontrara bien parado, quieto y en una superficie horizontal.

El Cuadro 3 presenta separados por año de nacimiento, el número de animales y la cantidad de pesadas total de esa generación.

Cuadro 3. Número de animales registrados en la cabaña El Oriental y registros totales discriminados por año.

AÑO	Número de animales	Número de pesajes
2006	10	48
2008	9	17
2009	3	13
2010	6	11
2011	17	37
2012	5	9
2013	1	1
2014	23	86
2015	19	139
2016	16	45
2017	13	13
TOTAL	122	419

No existe una distancia constante entre mediciones de una misma generación, estando las más próximas separadas por 28 días y correspondiendo las mismas a la generación 2015, medida el 1 de diciembre de 2016 y a continuación el 29 de diciembre de 2016. En contracara, las medidas más distantes para una misma generación son aquellas registradas al nacimiento, ocurridos entre los meses de agosto y noviembre, y a continuación el 25 de febrero de 2014 cuando los animales tenían en promedio 2000 días; las mismas corresponden a los nacimientos del año 2008. A su vez, la generación 2012 es de la que se tienen registros más tardíos, dado que no se poseen datos de peso al nacimiento y su primer pesaje se realizó cuando tenían en promedio 328 días.

De la misma manera, no todas las generaciones poseen el mismo nivel de registros. Las hembras nacidas en el año 2015 cuentan con el mayor número de eventos registrados sumando estos 139, siendo en promedio 7 por animal en un total de 9 instancias de pesaje. Por otra parte, las hembras nacidas en 2013 y 2017 contaban con un único pesaje registrado al nacimiento al momento en que se realizó este estudio.

3.3. PROCESAMIENTO DE DATOS Y ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

Se realizó el análisis de varianza para la variable peso vivo utilizando un modelo mixto incluyendo el año de nacimiento como efecto fijo y la edad como covariable, en tanto que se incluyó como aleatorio al efecto individual de cada animal.

Con los pesos ajustados se ajustaron las curvas de crecimiento a los siguientes modelos lineales y no lineales:

3.3.1. Modelos lineales

- Lineal ($y = a + bx$)
- Cuadrática ($y = a + bx + cx^2$)
- Polinomiales ($y = a + bx + cx^2 + dx^3 + \dots + zx^n$)

Cuyos componentes son:

y = Peso vivo del animal.

a = Peso a la edad 0.

b, c, \dots, z = Coeficientes de regresión.

x = Edad del animal.

3.3.2. Modelos no lineales

- Gompertz $y = Ae^{-Be^{(-kt)}}$
- Brody $y = A(1 - Be^{-kt})$
- Logístico $y = A(1 + Be^{-kt})^{-1}$
- Richards $y = A(1 - Be^{kt})^M$

Cuyos componentes son:

y = Peso vivo del animal a la edad “ t ”.

t = Edad del animal.

A = Peso adulto o asintótico en Kg.

B = Constante de integración.

k = Pendiente de la curva relativa a la tasa de crecimiento ($\text{Kg} \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{t}^{-1}$).

M = parámetro de inflexión

Para valorar el grado de ajuste entre los valores predichos y los reales se utilizó el coeficiente r^2 además de los criterios AKAIKE y BIC.

El coeficiente de determinación r^2 ajustado (r^2 aj.) fue utilizado como criterio de ajuste de los modelos para el número de parámetros considerados en la ecuación para poder comparar el ajuste de curvas con diferente cantidad de parámetros. El grado de ajuste del modelo, se refiere a la cuantificación del porcentaje del peso del animal que está explicado por la edad en cada uno de los diferentes modelos que se probaron. Es decir, que tan exacto es el modelo en predecir cuánto pesará un animal a una edad determinada.

Adicionalmente, se utilizaron los criterios de AKAIKE (AIC) (Akakike, 1987) y BIC (Schwarz, 1978) como accesorios en el ajuste de los modelos. Ambos criterios indican mejor ajuste cuanto menores sean los valores.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El Cuadro 4 presenta el análisis de varianza correspondiente al modelo utilizado para evaluar el crecimiento de las hembras Wagyu, desde el nacimiento hasta los 8 años de edad.

Cuadro 4. ANAVA de crecimiento de hembras Wagyu desde el nacimiento hasta los casi 8 años de edad.

Efecto	Grados de libertad	F valor	P valor
Año de nacimiento	10	17,04	0,0001
Edad	1	1386,67	0,0001
AIC		4507	
BIC		4510	

La edad tiene un efecto muy significativo sobre el peso de los animales ($P < 0.0001$), lo que indica una evolución de este factor a medida que el animal crece. Al mismo tiempo, se encontró que existió efecto del año de nacimiento del animal sobre su peso ($P < 0.0001$), lo que implica que el mismo animal mostró una evolución de peso distinta dependiendo del año en que nació.

Para subsanar estas diferencias, al momento de ajustar los modelos, se realizó una corrección por el año de nacimiento, con el fin de eliminar este “efecto año”, reduciendo así el error.

El Cuadro 5 se presenta los modelos evaluados con los parámetros obtenidos para los mismos y la evaluación del ajuste según los criterios de r^2 , AKAIKE y BIC.

Cuadro 5. Modelos lineales y no lineales evaluados, sus parámetros y evaluación de ajuste

Modelo	Parámetros de la curva (media \pm error estandar)	r^2	AKAIKE	BIC
Lineal	a= 98,99 \pm 4,18 b= 0,20 \pm 0,01	0,76	4703	4716
Cuadrático	a= 46,83 \pm 3,05 b= 0,44 \pm 0,01 c= -1,0E-04 \pm 3,5E-06	0,92	4253	4269
Polinomial de tercer grado	a= 29,61 \pm 2,86 b= 0,59 \pm 0,01 c= -2,9E-04 \pm 1,5E-05 d= 5,1E-08 \pm 3,8E-09	0,94	4105	4126
Polinomial de cuarto grado	a= 23,99 \pm 2,99 b= 0,69 \pm 0,02 c= -5,4E-04 \pm 5,1E-05 d= 2,2E-07 \pm 3,3E-08 e= -3,2E-11 \pm 6,3E-12	0,95	4082	4106
Gompertz	A= 454,86 \pm 6,53 B= 2,26 \pm 0,06 k= 2,8E-03 \pm 9,1E-05	0,93	4224	4240
Brody	A= 505,67 \pm 8,24 B= 0,94 \pm 0,01 k= 1,3E-03 \pm 4,5E-05	0,94	4102	4118
Logístico	A=431,49 \pm 6,45 B=6,35 \pm 0,34 k= 4,5E-03 \pm 1,6E-04	0,91	4329	4345
Richards	A= 462,14 \pm 7,82 B= -0,01 \pm 0,34 k= 2,6E-03 \pm 2,6E-04 M= 416,27 \pm 27101,06	0,93	4229	4249

a= peso a la edad 0; b,c,d,e= coeficientes de regresión; A=peso adulto; B= constante de integración; k= pendiente de la curva relativa a la tasa de crecimiento; M= parámetro de inflexión

Dentro de los modelos lineales, el polinomial de cuarto grado es el que presentó mayor ajuste, mientras que el lineal presentó el menor.

Respecto a los modelos no lineales, el que mejor describe el crecimiento es el de Brody, en tanto el logístico fue el que presentó menor ajuste.

4.1. MODELOS LINEALES

Las Figuras 6, 7, 8 y 9 muestran las diferentes gráficas ajustadas de los modelos lineales analizados en el estudio.

Es importante destacar que ninguno de los modelos de este grupo presenta interpretación biológica para este conjunto de datos. Mientras que el lineal asume un crecimiento constante en la totalidad de la vida del animal, el cuadrático y el polinomial de cuarto grado estiman (en diferentes momentos) caídas en el peso. Por su parte, el polinomial de tercer grado no considera una detención del crecimiento una vez alcanzada la madurez, sino que predice altas tasas de crecimiento equiparables a las experimentadas al inicio de la vida del individuo.

A pesar de que los animales puedan presentar crecimientos lineales en algún período de su vida, esto no es un fenómeno constante ni sostenible durante la totalidad de la misma, especialmente una vez que los mismos alcanzan la madurez.

Por otra parte, no debería existir una tendencia de pérdida de peso en ninguna instancia de crecimiento, o al menos, no sería lo deseado. Estos modelos podrían ser utilizados para describir el crecimiento de generaciones o grupos particulares que por situaciones puntuales sufrieron pérdidas de peso producto de diversas circunstancias; sin embargo, en ninguna medida eso sería representativo del comportamiento general de la raza en cuanto a su crecimiento.

4.1.1. Lineal

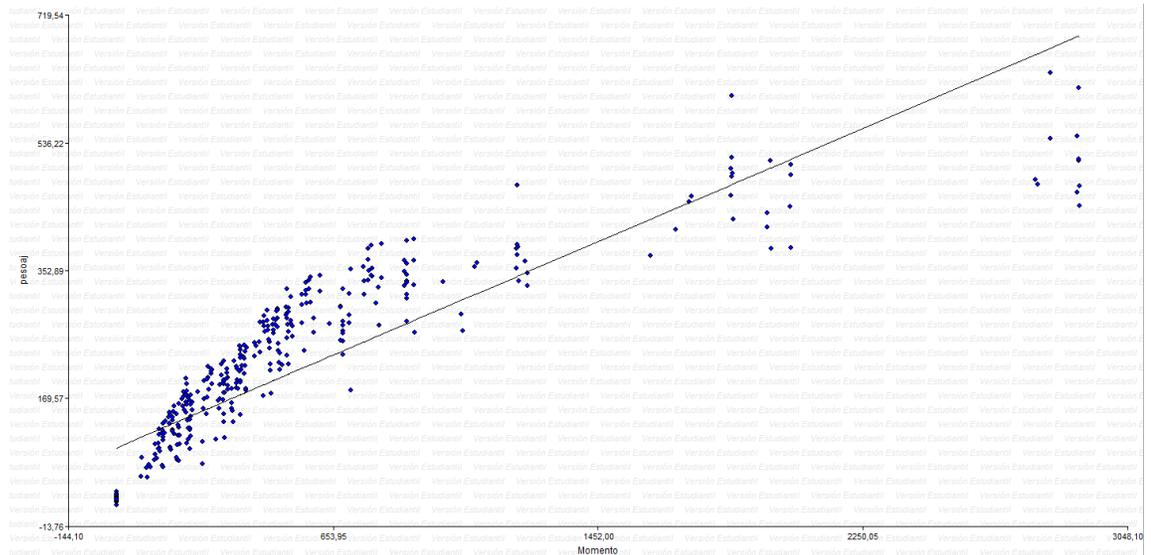


Figura 6. Evolución de peso vivo de hembras Wagyu hasta los 8 años de edad según modelo lineal.

Confirmando lo estimado a priori, este modelo es el que presentó el peor ajuste general al intentar describir el crecimiento de las hembras desde el nacimiento hasta la adultez. El mismo asume una tasa de ganancia constante a lo largo de toda la vida y por tanto no se adaptaría a describir con exactitud el crecimiento de los bovinos.

Sin embargo, como se mencionó anteriormente, el mismo podría ser utilizado para describir el crecimiento en períodos relativamente cortos de la vida del animal. Como evidencia de esta afirmación se pueden citar las conclusiones de Dañobeytia et al. (2015), que estudiando curvas de crecimiento en terneros Hereford, Angus y sus cruza, determinaron que el modelo que más se adaptaba era precisamente éste al describir el peso de los animales entre el nacimiento y el destete.

En particular, esta ecuación sobreestima en gran medida los pesos al nacimiento y a partir de los seis años, mientras que subestima el valor de esta variable entre los 2 y 3 años.

4.1.2. Cuadrático

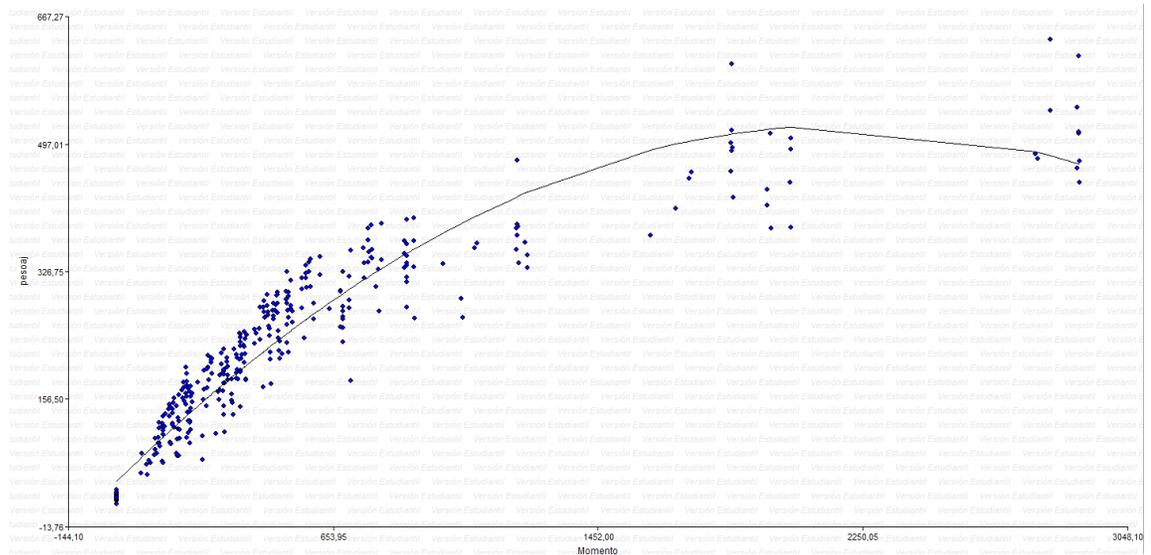


Figura 7. Evolución de peso vivo de hembras Wagyu hasta los 8 años de edad según modelo cuadrático.

En líneas generales este modelo presenta un buen ajuste (comparando mediante los criterios r^2 , AIC y BIC) a los datos, a pesar que predice una caída de peso a partir de los cinco años y medio aproximadamente, a la vez que sobreestima en parte el peso a esa edad y al nacimiento.

El alto ajuste que muestra esta ecuación puede deberse a que son pocos los datos que quedan fuera de la curva en los últimos años de vida de los bovinos comparado con la gran cantidad y alto grado de ajuste al inicio de la vida de los mismos.

4.1.3. Polinomial de tercer grado

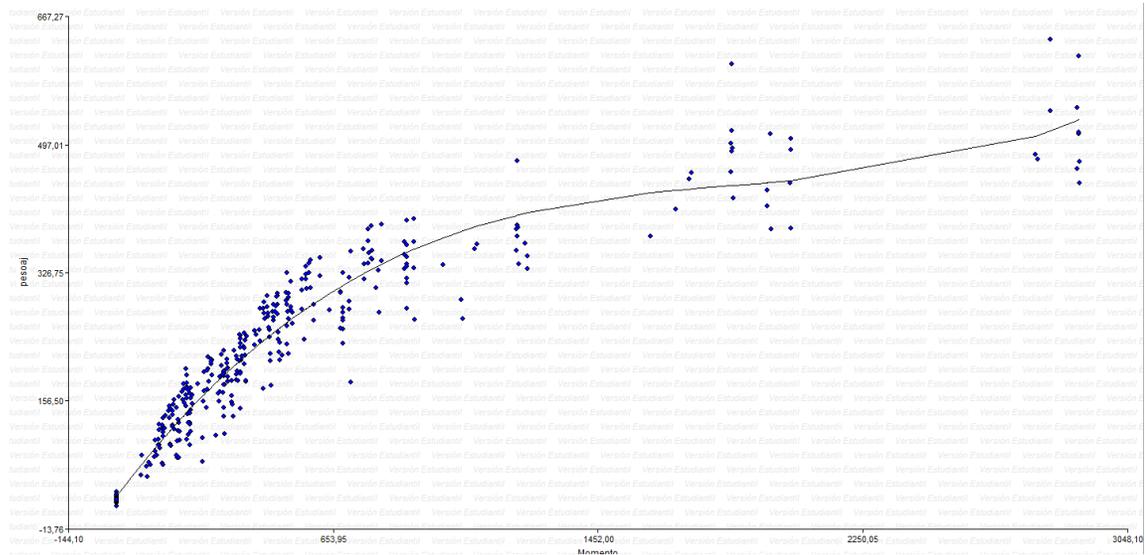


Figura 8. Evolución de peso vivo de hembras Wagyu hasta los 8 años de edad según modelo polinomial de tercer grado.

Este modelo presenta aún mayor ajuste (r^2) para la información de la base de datos que la ecuación cuadrática. Al igual a lo que ocurre con el modelo cuadrático, el alto ajuste que prevee esta ecuación puede deberse a que los datos que no se ajustan a la predicción corresponden al final de la vida de los animales donde se tienen poca cantidad de registros.

El mismo asume tasas de ganancia decrecientes hasta aproximadamente los cinco años y medio de edad y a partir de ese momento las mismas pasan a ser crecientes. Es por esto que la ecuación no explicaría de manera realista el crecimiento de los animales; si bien es esperable que los animales crezcan a tasas crecientes hasta la pubertad y luego continúen con tasas decrecientes hasta alcanzar la madurez, luego de alcanzado el peso maduro se espera un estancamiento o desaceleración del crecimiento pero no es esperable que el mismo se acelere como pronostica este modelo.

Pese a que su interpretación biológica es cuestionable, el modelo parece ser muy efectivo en la predicción de peso de los animales hasta que los mismos llegan a su peso maduro.

4.1.4. Polinomial de cuarto grado

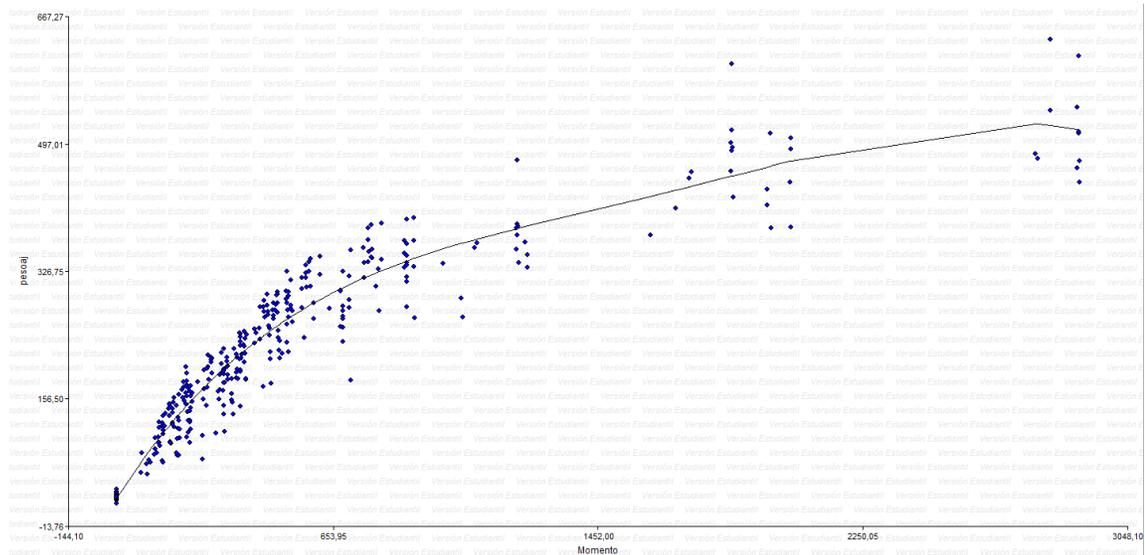


Figura 9. Evolución de peso vivo de hembras Wagyu hasta los 8 años de edad según modelo polinomial de cuarto grado.

Es el modelo que presenta el mejor ajuste dentro de los lineales. El mismo asume ganancias crecientes hasta el año y medio de edad y luego estima que el animal crece con una tasa decreciente hasta los siete años y medio, momento a partir del cual el peso empieza a decaer.

Como fue discutido anteriormente, no es correcto que un modelo predictivo estime pérdidas de peso sistemáticamente a partir de cierta edad, como ocurre en este caso. Además de esto, no es esperable que los animales presenten tasas de crecimiento tan elevadas hasta una edad tan avanzada.

4.2. MODELOS NO LINEALES

Las Figuras 10 a 17 presentan las diferentes gráficas de las curvas de crecimiento de los modelos no lineales analizados, así como los coeficientes de determinación estimados (r^2).

Este conjunto de modelos tienen interpretación biológica y poseen una mejor capacidad de describir el crecimiento de las hembras desde el nacimiento hasta la adultez.

En general, estos modelos presentan al inicio una fase de tasas de crecimiento crecientes, un punto de inflexión, otra fase donde el peso aumenta a tasas decrecientes y una etapa final de estabilización.

4.2.1. Gompertz

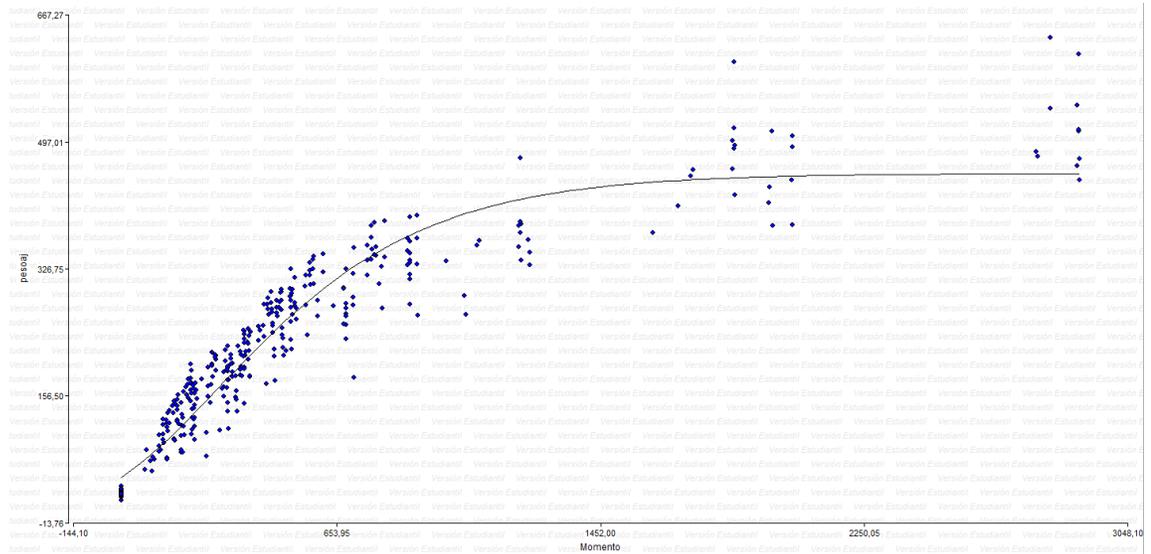


Figura 10. Evolución de peso vivo de hembras Wagyu hasta los 8 años de edad según modelo Gompertz.

Este modelo presenta un buen ajuste (r^2) general a la base de datos, como desajustes se puede notar una ligera sobreestimación de los pesos al nacimiento y una subestimación del peso adulto.

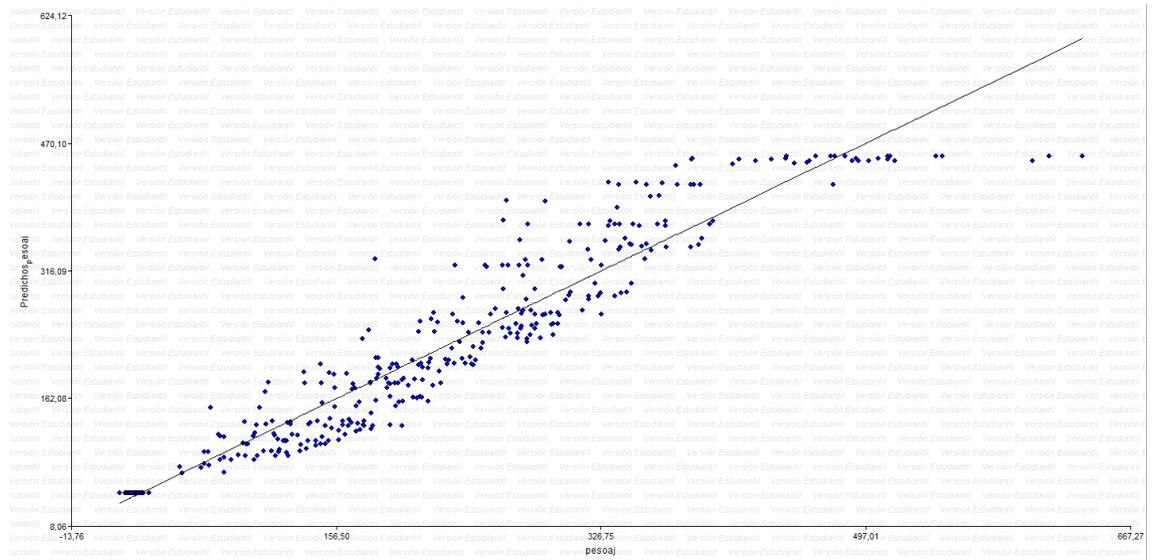


Figura 11. Correlación entre los valores observados de peso y los predichos por el modelo Gompertz.

Se puede notar que los desajustes más notorios ocurren a partir de los 350 kg de peso observado. El coeficiente r^2 (0,93) presentó elevado ajuste porque la mayoría de los valores que presentan una diferencia notoria con los predichos son pocos, los mismos corresponden a los animales de mayor edad que presentaron menos mediciones.

4.2.2. Brody

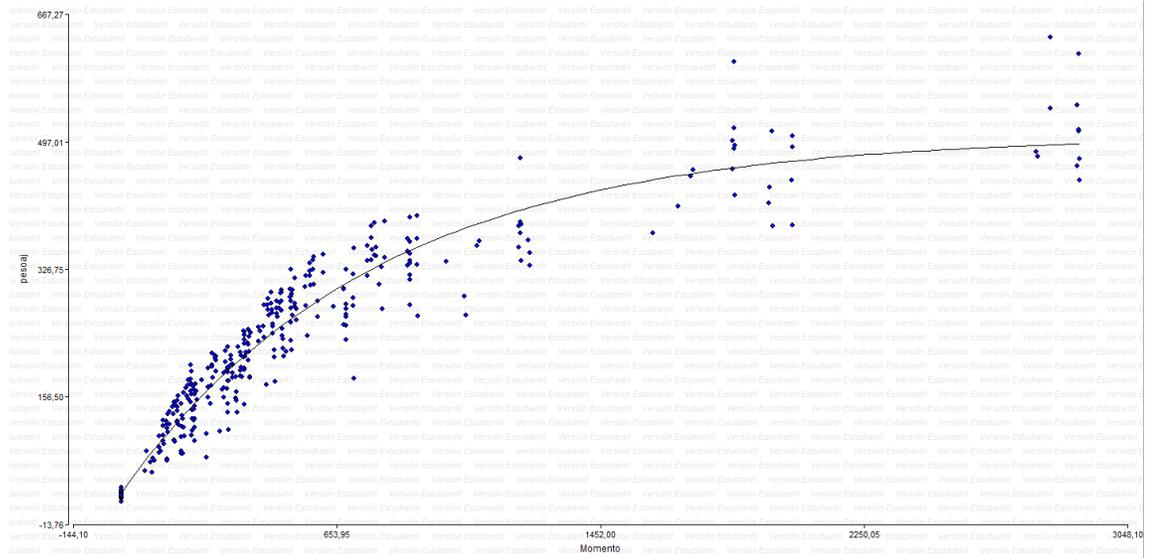


Figura 12. Evolución de peso vivo de hembras Wagyu hasta los 8 años de edad según modelo Brody.

Es la curva no lineal que mejor describe la evolución del peso de las hembras, corroborando así lo observado por Bistolfi et al. (2014), que estudiando las curvas de crecimiento de terneros de distintos genotipos desde el nacimiento hasta los dos años de edad, llegaron a esa conclusión.

Domínguez et al. (2012), estudiando el crecimiento de bovinos Tropicarne, coincidieron que esta era la curva que mejor estimaba la evolución del peso de los animales, probablemente porque este modelo presenta una tasa de madurez lenta (k), característica de los bovinos del trópico en situación de pastoreo.

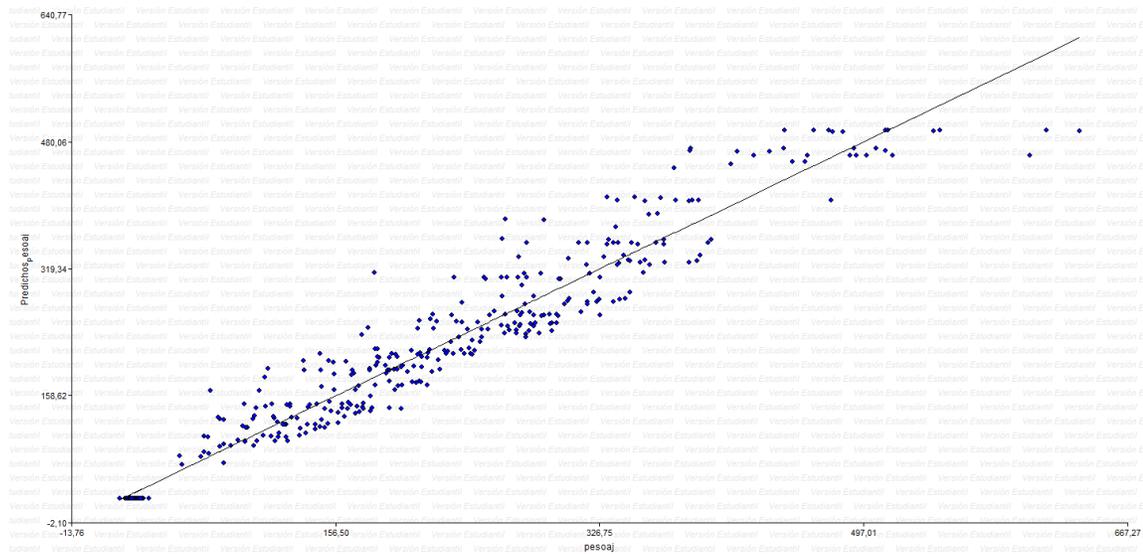


Figura 13. Correlación entre los valores observados de peso y los predichos por el modelo Brody.

Esta función ha sido de las más usadas para describir y predecir el comportamiento del crecimiento vacuno debido a su facilidad de computación e interpretación y su usual bondad de ajuste como se reporta en trabajos con animales de raza Angus y/o Hereford, publicados por Brown et al. (1972), Beltran et al. (1992), Kaps et al. (1999).

4.2.3. Logístico

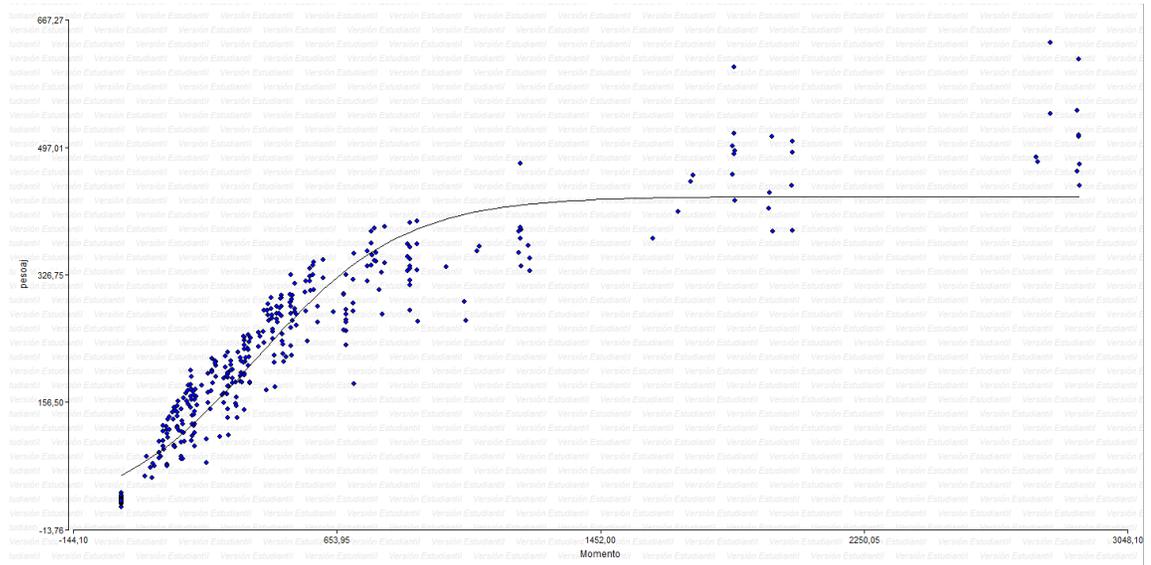


Figura 14. Evolución de peso vivo de hembras Wagyu hasta los 8 años de edad según modelo logístico.

Dentro de los modelos no lineales, la logística es la ecuación menos ajustada a describir el crecimiento de las hembras. La misma tiende a sobreestimar los pesos al nacimiento a la vez que subestima el peso a los ocho años.

En término de los parámetros, esta ecuación estaría subestimando el parámetro A o sea el peso maduro y la tasa de crecimiento (k).

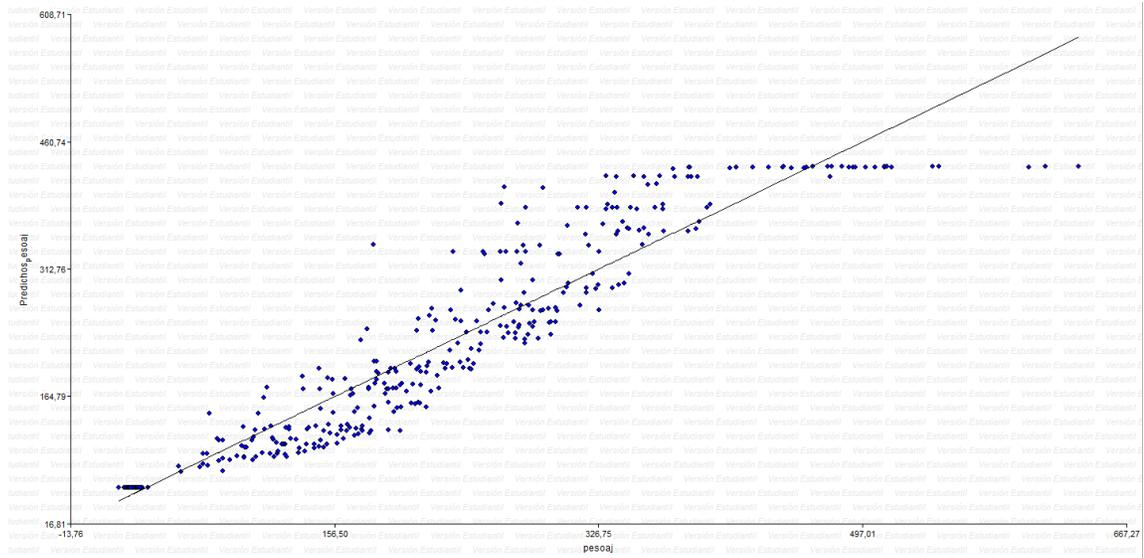


Figura 15. Correlación entre los valores observados de peso y los predichos por el modelo logístico.

Existe una correspondencia menor entre los pesos predichos y observados, respecto a lo que ocurre en las otras curvas biológicas. Puntualmente, se muestra la subestimación general del peso predicho que ocurre luego del nacimiento.

4.2.4. Richards

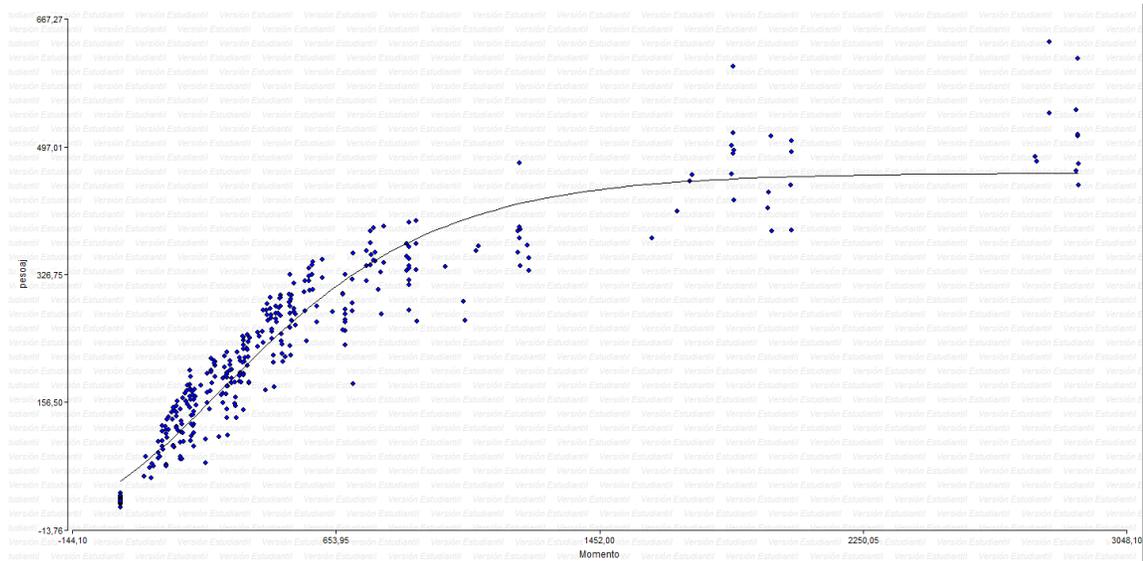


Figura 16. Evolución de peso vivo de hembras Wagyu hasta los 8 años de edad según modelo Richards.

El modelo de Richards presentó alto grado de ajuste ($r^2=0,93$) a la base de datos, y aparentemente sería efectivo en describir y predecir el peso de las hembras. Sin embargo, el alto error que presenta el parámetro M, o sea el parámetro de inflexión que marca el punto a partir del cual el animal comienza a crecer a tasas decrecientes, hacen que el modelo no sea significativo.

Si el modelo fuera significativo, el mismo tendería a sobreestimar los pesos al nacimiento y a subestimar en alguna media esa variable a medida que el animal crece.

A nivel nacional, Goldberg y Ravagnolo (2015), estudiando hembras Angus en sistemas pastoriles extensivos del Uruguay, encontraron que esta curva era significativa a la vez que era la que mejor ajustó los datos. En ese mismo análisis determinaron que los animales alcanzaban el peso adulto posterior a los cinco años de edad, cifra que puede observarse coincidiría con lo determinado por esta ecuación para este conjunto de datos.

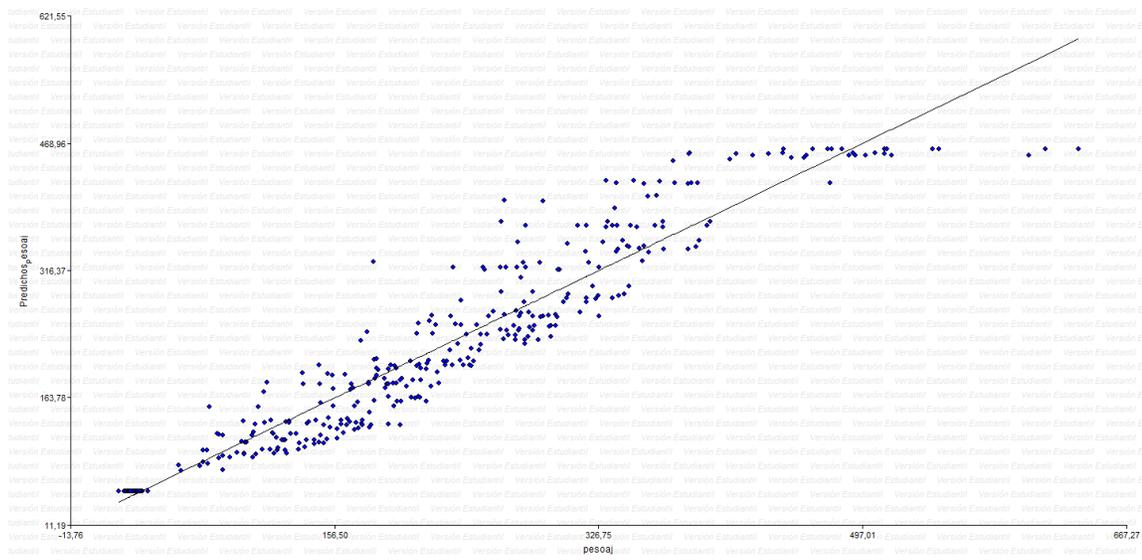


Figura 17. Correlación entre los valores observados de peso y los predichos por el modelo Richards.

En cuanto al ajuste, se aprecia la misma tendencia observada en el modelo logístico en cuanto a subestimación del peso predicho. Sin embargo, este desvío es menos notorio que el observado en el modelo antes mencionado.

Otros estudios como los realizados por Kersey y Brinks (1985), Johnson et al. (1990) o Beltran et al. (1992), encontraron que esta curva presentaba mejor ajuste que la propuesta por Brody, sumado a que presentaba la ventaja de suministrar el valor del punto de inflexión que podía ser útil cuando se evaluaban efectos ambientales sobre el crecimiento o para determinar el punto a partir el crecimiento pasa a ser menos eficiente.

4.3. COMPARACIÓN ENTRE MODELOS

El Cuadro 6 presenta una comparación del peso vivo estimado por los tres modelos que presentaron mejor ajuste a la base de datos, así como las tasas de ganancia estimadas para las diferentes edades, de acuerdo al crecimiento esperado.

Cuadro 6. Comparación de peso vivo estimado a diferentes edades y tasas de ganancia esperadas entre los modelos que presentaron mejor ajuste.

		Polinomial de cuarto grado	Polinomial de tercer grado	Brody
Peso vivo estimado (kg)	Nacimiento	23,99	29,61	30,34
	1 año	214	209	210
	2 años	316	326	322
	4 años	420	432	434
	6 años	520	467	478
	8 años	586	550	495
Tasa ganancia estimada (g/día)	0-1 año	521	491	492
	1-2 años	281	320	306
	2-4 años	141	145	154
	4-6 años	137	48	60
	6-8 años	90	114	23

Comparando los modelos polinomiales, se ve que, aunque el de tercer grado estima mayores pesos al nacimiento, el peso a los 8 años es menor al supuesto por el modelo polinomial de cuarto grado. Sin embargo, entre los dos y cuatro años, la ecuación cúbica asume mayores pesos.

Respecto a los pesos de nacimiento, tanto la ecuación polinomial de tercer grado como la Brody, estimarían pesos al nacimiento en el entorno de los 30 kilogramos mientras que la polinomial de cuarto grado estima que las hembras nacen con un peso de 24 kilogramos. El peso promedio observado al nacimiento para las hembras Wagyu fue de casi 26 kg ubicándose en el medio de lo estimado por los modelos mencionados.

Remitiéndose a las tasas de ganancia diarias, se ve que el modelo polinomial de cuarto grado estima caídas consistentes en la misma, a medida que el animal crece. Por su parte, el polinomial de tercer grado, muestra menores tasas de ganancia entre el nacimiento y el año de edad que entre el año y los dos años; posterior a esto ocurriría una caída importante en el crecimiento y se llegaría a una estabilización entre los 4 y 6 años, seguida por una nueva etapa donde el crecimiento se reanuda. Este comportamiento errático en las tasas de ganancia estimadas confirma lo discutido previamente de la falta de interpretación biológica del modelo.

De los tres modelos, el polinomial de cuarto grado es el que consistentemente estima mayores tasas de ganancia en todas las etapas de crecimiento, exceptuando el período comprendido entre el año y los dos años de edad.

Comparando los modelos de Brody y el polinomial de tercer grado, se puede apreciar que estiman similares tasas de ganancia hasta los cuatro años inclusive. A partir de este momento, Brody estima un gradual descenso en las ganancias, mientras que el polinomial en cuestión muestra el comportamiento descrito párrafos atrás.

Ambos modelos polinomiales estiman pesos mayores a los ocho años que el modelo de Brody. Esta última ecuación asume un peso maduro de 506 kilogramos que no sería alcanzado por los animales en el período estudiado.

Respecto a esto, Morrow et al. (1978), determinaron que la estimación del peso maduro promedio a través de una curva de crecimiento, era confiable solamente cuando los datos registrados para peso abarcan registros tomados cuando los animales tenían una edad mayor a cuatro años y medio. Sin embargo, el mejor estimador del parámetro A o peso asintótico se encontraba cuando el análisis incluía datos de animales con una edad mayor a seis años y medio, todas condiciones que se cumplieron en este estudio.

Las Figuras 18 y 19 grafican la comparación de la evolución de peso vivo estimada por los modelos que presentaron mejor ajuste, así como una comparación en la evolución de las tasas de crecimiento de los mismos.

Figura 18. Evolución del peso vivo entre los modelos que presentaron mejor ajuste.

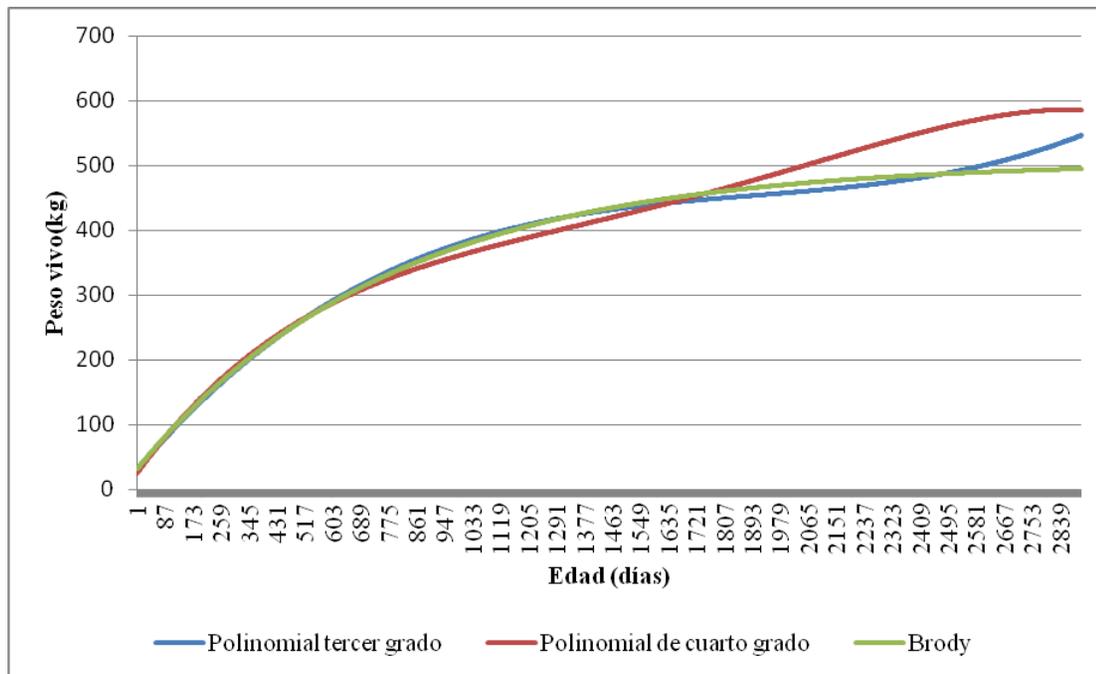
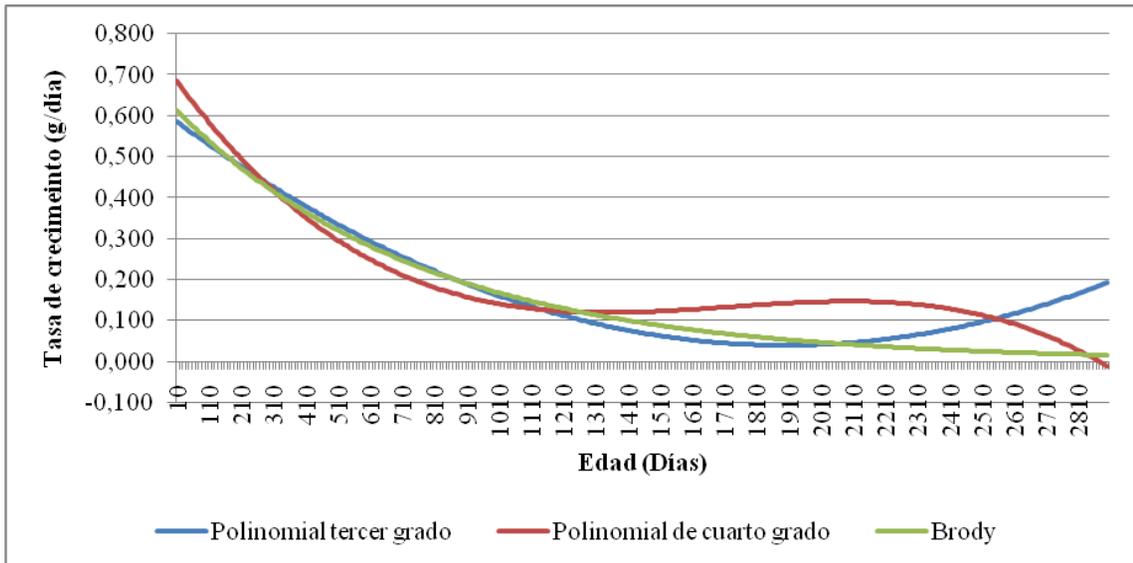


Figura 19. Evolución de las tasas de crecimiento estimadas entre los modelos que presentaron mejor ajuste.



A continuación se intentará hacer una comparación del comportamiento en cuanto a crecimiento entre las hembras Wagyu, animales de razas británicas puros y cruce pastoreando campo natural y praderas.

Bistolfi et al. (2014), estudiando curvas de crecimiento desde el nacimiento hasta los dos años de edad de terneros de diferentes genotipos, encontraron que el modelo que mejor se adaptaba a los datos era el de Brody. En este se utilizaron las diferentes ecuaciones adaptadas al crecimiento de las razas británicas estudiadas y sus cruces con el fin de establecer una comparación con lo obtenido para los animales Wagyu en este estudio.

Dicho estudio fue realizado a partir de los registros de la Estación Experimental Bernardo Rosengurt (EEBR) que abarcan el período de tiempo 2002-2012 donde todos los animales pastorearon campo natural. Los autores encontraron que la curva que presentaba mayor ajuste general al rodeo era Brody ($r^2=0,96$), a pesar que dicha ecuación tendía a sobreestimar los pesos al nacimiento. Entre todos los genotipos que abarca el análisis, para esta comparación únicamente se seleccionaron los ajustes pertenecientes a Angus, Hereford, F1, Retrocruza Angus y Retrocruza Hereford. Todos los genotipos se ajustaron a la curva de Brody con un $r^2=0,96$ excepto para Hereford donde el ajuste observado fue menor ($r^2=0,74$).

Para evaluar el crecimiento de animales de raza británica pastoreando praderas se utilizaron los valores de ganancia manejados en el curso de Bovinos de Carne de la Facultad de Agronomía.

El Cuadro 7 presentará el esquema de manejo con las ganancias estimadas para cada estación.

Cuadro 7. Esquema de manejo de engorde de novillos de razas británicas con ganancias esperadas.

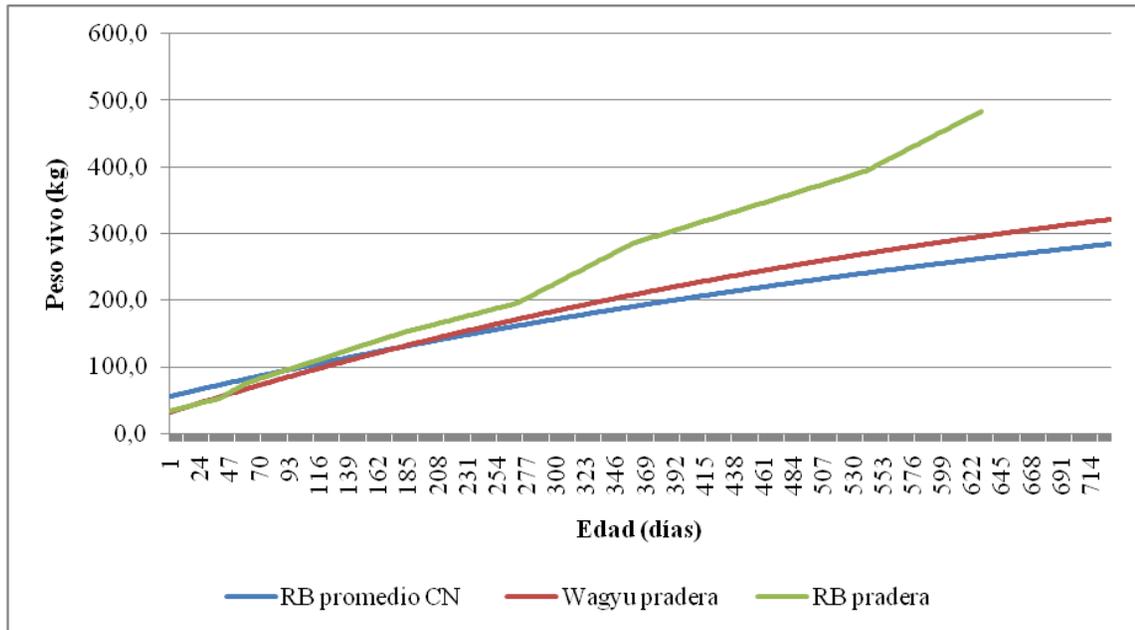
	Otoño	Invierno	Primavera	Verano
Año 1	Destete con 6 meses y 150 kg. a fines de otoño	Peso inicio:150 kg Peso fin: 195 kg AF: 5% PP Tasa ganancia (g/día): 500	Peso inicio:195 kg Peso fin: 285 kg AF: 6% PP Tasa ganancia (g/día): 1000	Peso inicio:285 kg Peso fin: 339 kg AF: 9% PP Tasa ganancia (g/día): 600
Año 2	Peso inicio:339 kg Peso fin: 393 kg AF: 5% Av/Rg Tasa ganancia (g/día): 600	Peso inicio:393 kg Peso fin: 483 kg AF: 5% PP Tasa ganancia (g/día): 1000		

AF: asignación de forraje; PP: pradera; Av/Rg: Avena o Raigrás

En este esquema de engorde, los animales se venden a fines de invierno con 483 kg de peso vivo aproximadamente.

La Figura 20 presenta las curvas de crecimiento hasta los dos años de edad de ganado británico consumiendo campo natural o praderas en contraste con lo observado para las hembras Wagyu pastoreando praderas.

Figura 20. Curvas de crecimiento hasta dos años de edad de novillos británicos y Wagyu bajo diferentes escenarios de alimentación.



Se puede notar que los animales de razas británicas pastoreando praderas de forma controlada son los que presentan las mayores tasas de crecimiento mientras que los pertenecientes a este conjunto de razas pero pastoreando campo natural de manera extensiva y las hembras Wagyu pastoreando praderas muestran un comportamiento muy similar.

Los individuos Wagyu mostraron un muy buen comportamiento en pastoreo, ubicándose al año de edad en el entorno de 200 kilogramos de peso vivo y a los dos años en 350 kilogramos de peso vivo aproximadamente.

El peso esperado hasta los dos años de edad en animales de razas británicas manejadas sobre campo natural para Uruguay al año de edad es similar al observado en Wagyu.

Uruguay aún no cuenta con información respecto al comportamiento del ganado Wagyu manejado en forma intensiva sobre praderas por lo que se plantea la duda si sería similar al observado experimentalmente para razas británicas o no.

Sería necesario estudiar desde el punto de vista biológico y económico otras alternativas de alimentación que podrían combinar etapas de pastoreo con suplementación y/o encierres en corrales.

4.4. CARACTERES MORFOLÓGICOS

El Cuadro 8 muestra los parámetros estimados por ambos modelos utilizados, así como el ajuste de los mismos para las diferentes variables morfológicas evaluadas.

Cuadro 8. Estimación de parámetros y ajuste de los modelos probados para todas las variables evaluadas.

Variable	Modelo	Parámetros	r ²	AIC	BIC
Grasa subcutánea	Lineal	a=0,16 ± 1,81 b= 0,03 ± 2,9 E -03	0,64	193	198
	Cuadrático	a=29,42 ± 12,49 b= -0,07 ± 0,04 c= 7,8 E -05 ± 3,3 E -05	0,68	189	196
Altura de anca	Lineal	a= 117,78 ± 3,37 b= 1,7 E -03 ± 0,01	0	245	250
	Cuadrático	a= 71,76 ± 23,66 b= 0,16 ± 0,08 c= -1,2 E -04 ± 6,3 E -05	0,05	243	250
Ancho de cadera	Lineal	a= 27,74 ± 0,96 b= 0,02 ± 1,6 E -03	0,74	140	145
	Cuadrático	a= 30,40 ± 7,09 b= 0,01 ± 0,02 c= 7,1 E -06 ± 1,9 E -05	0,73	142	149
Ancho de pecho	Lineal	a= 24,56 ± 1,45 b= 0,02 ± 2,4 E -03	0,57	174	180
	Cuadrático	a= 23,58 ± 10,69 b= 0,02 ± 0,04 c= -2,6 E -06 ± 2,8 E -05	0,56	176	183
Ancho de pelvis	Lineal	a= 11,07 ± 1,14 b= 0,02 ± 1,8 E -03	0,71	154	159
	Cuadrático	a= 0,50 ± 8,21 b= 0,05 ± 0,03 c= -2,8 E -05 ± 2,2 E -05	0,72	154	161

a=peso a la edad 0; b,c= coeficientes de regresión

Dentro de las variables evaluadas, se vieron variadas respuestas y ajustes. El ancho de cadera y el ancho de pelvis fueron las variables cuyos datos se ajustaron mejor a los modelos probados con coeficientes de ajuste r^2 que superaban el 70%. En la contracara, los datos recopilados para altura del anca no presentaron ningún tipo de ajuste ni para el modelo lineal ni al cuadrático.

El Cuadro 9 presenta los valores máximos, mínimos, promedios y desvíos de cada una de las variables analizadas para cada una de las instancias de medición.

Cuadro 9. Valores máximos, mínimos, promedios y desvíos de los valores obtenidos en las tres instancias de registro.

Variable	Fecha	Máximo	Mínimo	Promedio	Desvío
Grasa subcutánea (mm)	29/12/2016	16	10	12,68	1,79
	07/04/2017	16	10	13,71	1,64
	11/10/2017	26	16	20	2,60
Altura de anca (cm)	29/12/2016	125	110	117,36	4,01
	07/04/2017	128	114	120,81	3,45
	11/10/2017	127	112	118,26	4,62
Ancho de cadera (cm)	29/12/2016	38	33	36,07	1,47
	07/04/2017	39	34,5	37,21	1,50
	11/10/2017	42,50	38	40,61	1,30
Ancho de pecho (cm)	29/12/2016	37	29	32,86	2,19
	07/04/2017	38,5	33	34,82	1,50
	11/10/2017	41,50	33,50	37,82	2,11
Ancho de pelvis (cm)	29/12/2016	22	17	19,68	1,75
	07/04/2017	25,50	21	22,32	1,41
	11/10/2017	27	24	25,29	1,03

4.4.1. Espesor de grasa subcutánea

El modelo cuadrático fue el que se ajustó mejor al conjunto de datos, sin embargo, ninguno de los dos modelos probados mostró gran capacidad de describir con exactitud el comportamiento de esta variable.

Las Figuras 21 y 22 presentan los ajustes de ambos modelos a los datos recopilados para la variable grasa subcutánea.

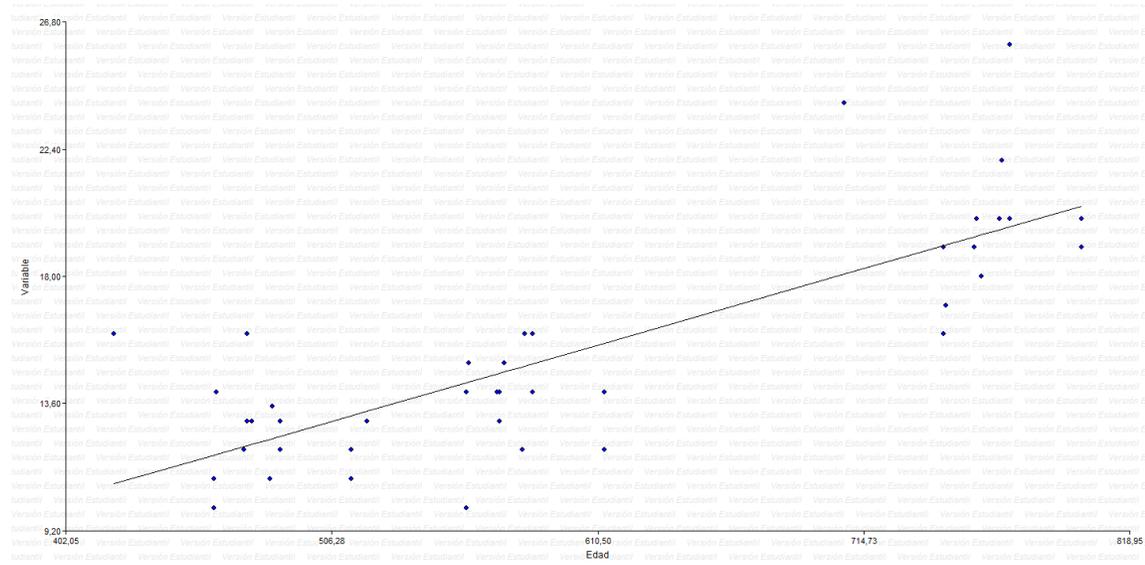


Figura 21. Evolución del espesor de grasa subcutánea de hembras Wagyu entre el año y los dos años de edad, según modelo lineal.

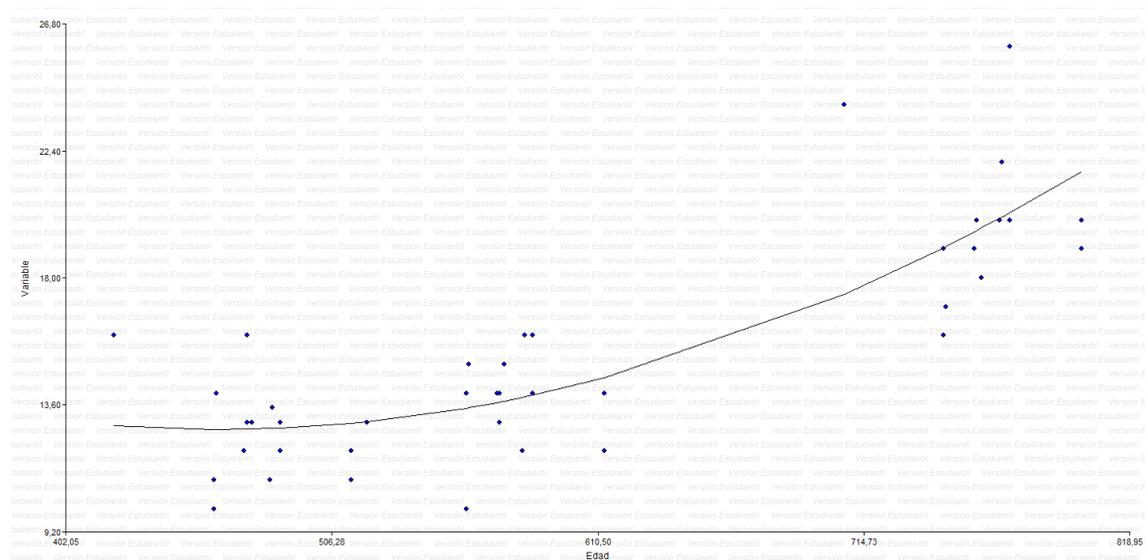


Figura 22. Evolución del espesor de grasa subcutánea de hembras Wagyu entre el año y los dos años de edad, según modelo cuadrático.

Como se observa, probablemente la incapacidad de los modelos de brindar un buen ajuste se deba a la gran dispersión que presentan los datos. Si bien el modelo

cuadrático explica mejor la tendencia de los mismos, la gran variabilidad que presenta esta variable hace difícil que la predicción sea certera.

A partir del comportamiento del modelo cuadrático se podría estimar que el espesor de grasa subcutánea comienza a presentar un crecimiento más acelerado a partir del año y medio de edad.

4.4.2. Altura de anca

Para esta variable, ni el modelo lineal ni el cuadrático presentaron ningún tipo de ajuste a la base de datos utilizada.

Las Figuras 23 y 24 presentan las gráficas de los modelos lineal y cuadrático probados para los datos de altura de anca.

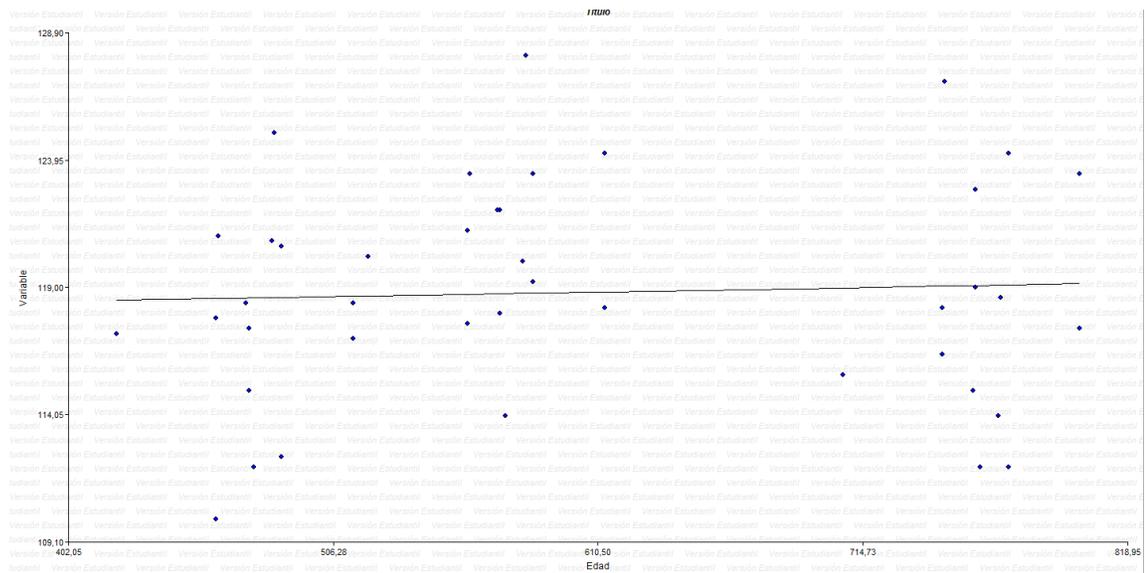


Figura 23. Evolución de la altura de anca de hembras Wagyu entre el año y los dos años de edad, según modelo lineal.

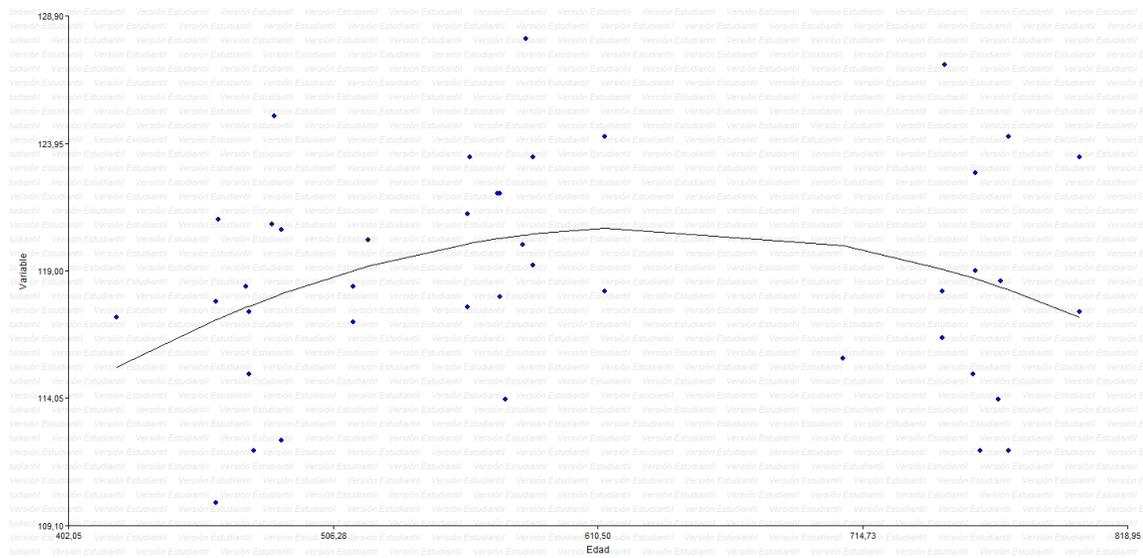


Figura 24. Evolución de la altura de anca de hembras Wagyu entre el año y los dos años de edad, según modelo cuadrático.

Dado que los datos se encuentran bastante dispersos, es lógico que ninguno de los dos modelos que se intentaron adaptar, presentaran algún tipo de ajuste. Esto puede indicar que entre el año y los dos años las hembras ya alcanzaron la altura de anca adulto por lo que la misma se encuentra estabilizada y la variabilidad entre los puntos se debe a la propia que existe entre animales.

4.4.3. Ancho de cadera

Esta fue la variable a la que los modelos mejor se adaptaron, presentando además, mínima diferencia en el ajuste entre ellos.

Las Figuras 22 y 23 muestran el ajuste que tuvieron el modelo lineal y el modelo cuadrático a los registros de ancho de cadera.

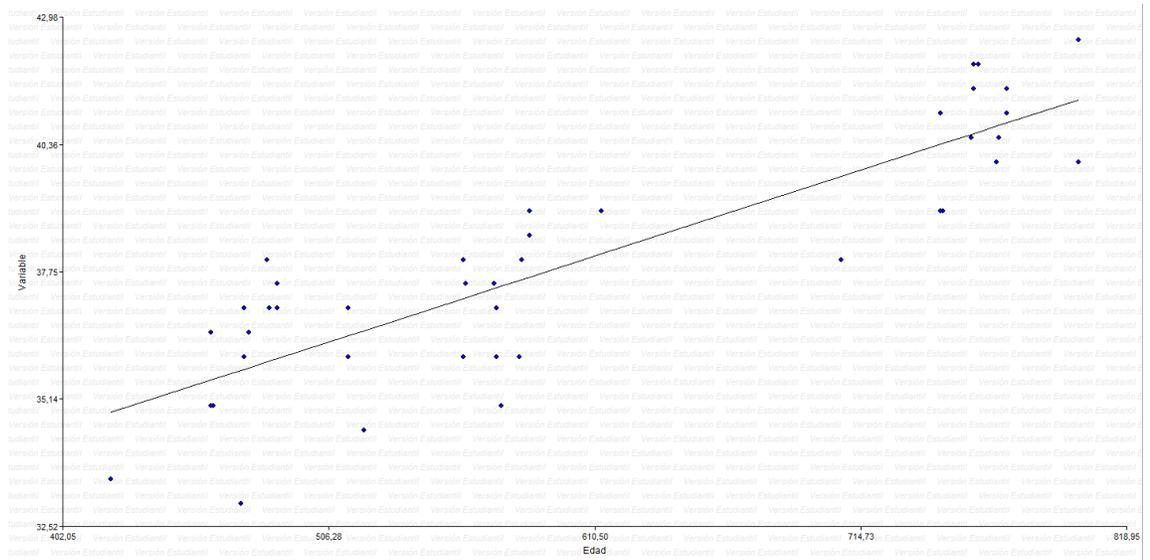


Figura 25. Evolución del ancho de cadera de hembras Wagyu entre el año y los dos años de edad según modelo lineal.

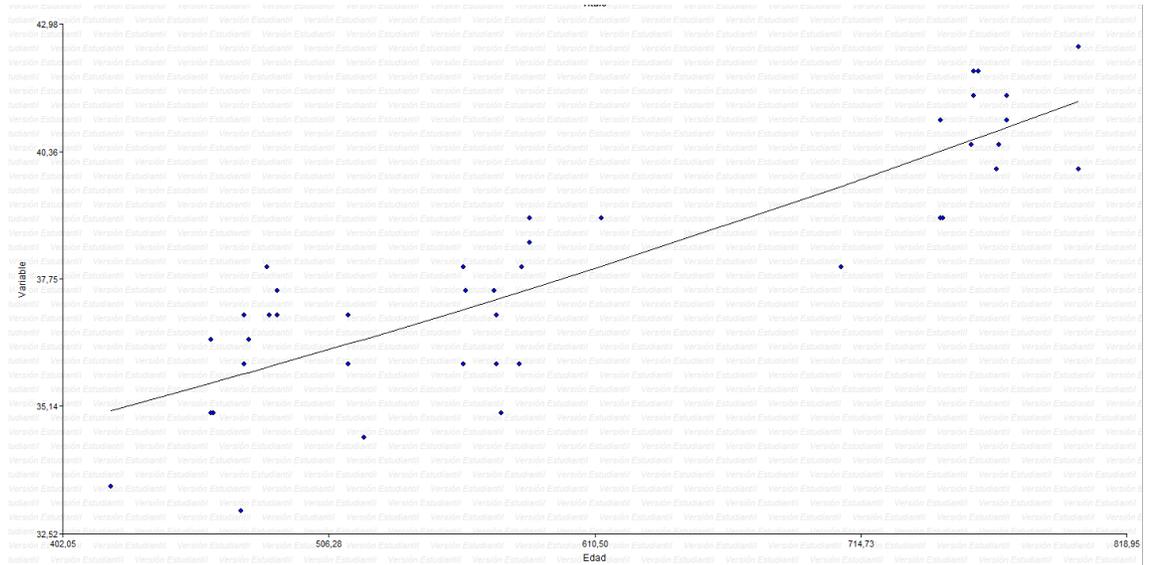


Figura 26. Evolución del ancho de cadera de hembras Wagyu entre el año y los dos años de edad, según modelo cuadrático.

Como se observa, el ancho de cadera es una característica que continúa en desarrollo entre el año y los dos años de edad de las hembras.

A pesar que el modelo que más se ajustó fue el lineal, la diferencia entre ambos fue mínima, seguramente debido a que en este caso, la curvatura del modelo cuadrático es mínima, casi tomando la forma o comportándose como un lineal.

4.4.4. Ancho de pecho

Para este conjunto de datos, la capacidad predictiva y descriptiva de los modelos fue regular y no existieron prácticamente diferencias entre ellos en ajuste que proporcionaban.

Las Figuras 27 y 28 presentan el ajuste de los modelos lineal y cuadrático a los datos registrados para ancho de pecho.

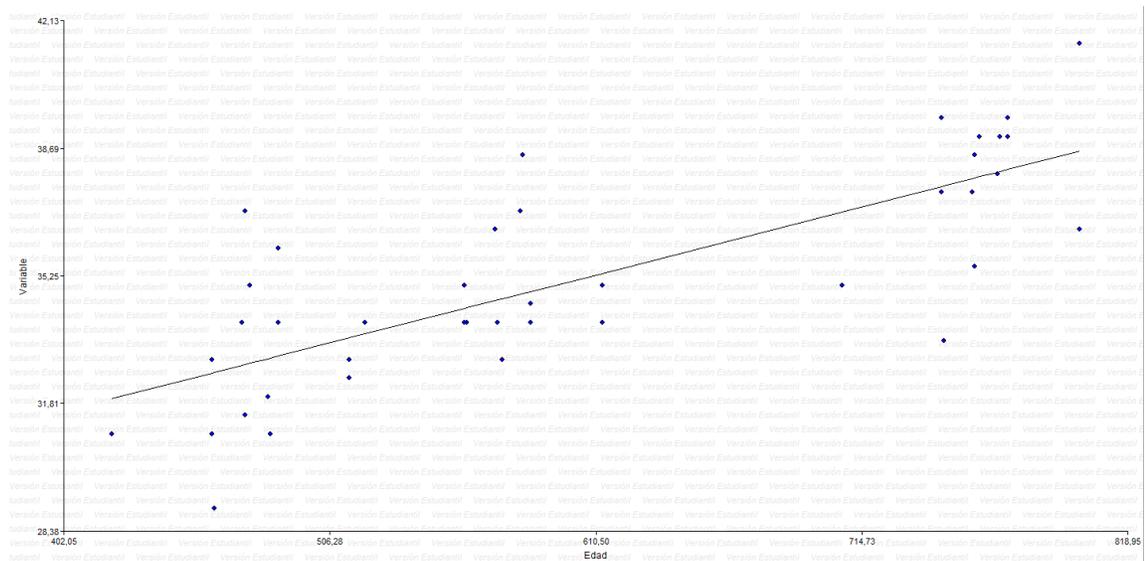


Figura 27. Evolución del ancho de pecho de hembras Wagyu entre el año y los dos años de edad, según modelo lineal.

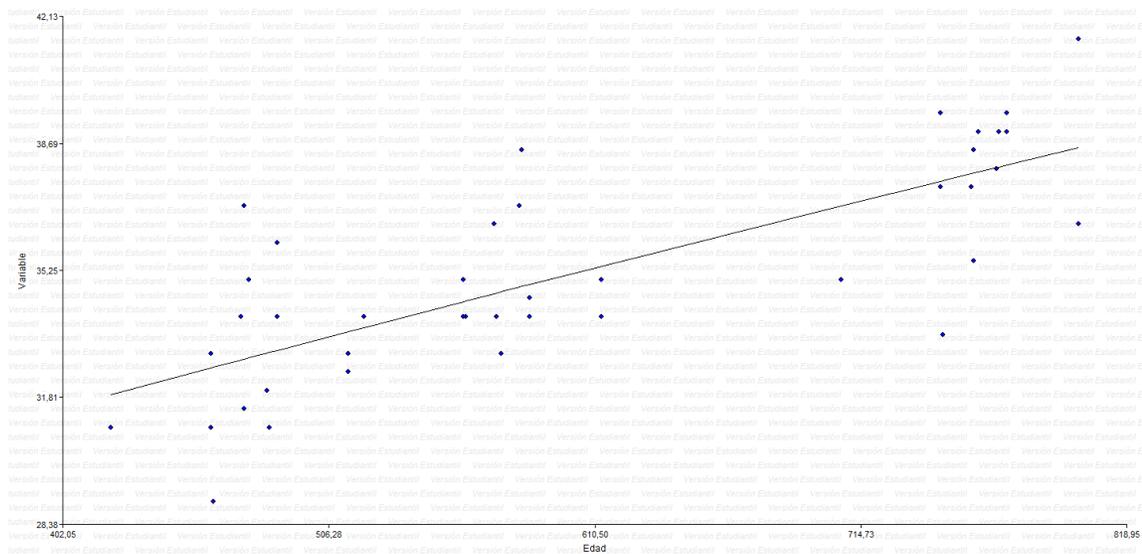


Figura 28. Evolución del ancho de pecho de hembras Wagyu entre el año y los dos años de edad, según modelo cuadrático.

A simple vista, parecería que el modelo cuadrático no tuviera curvatura alguna. Esto se debe a que ocurre lo mismo que para la variable ancho de cadera, donde este modelo se comporta como un modelo lineal, evidencia de ello es el valor que adopta el término cuadrático de la ecuación que es prácticamente cero.

Producto de este comportamiento del modelo cuadrático, es que entre las ecuaciones evaluadas no hay prácticamente diferencia en el ajuste a los datos que mostraron.

Respecto a la variable en estudio, se podría concluir que el ancho de pecho al igual que el ancho de cadera, todavía se encuentran en crecimiento durante el año y los dos años de edad en las hembras.

4.4.5. Ancho de pelvis

Tanto el modelo lineal como el cuadrático presentaron buena capacidad de describir y predecir el comportamiento de esta variable, al tiempo que no presentan mayores diferencias en ajuste entre ellos como se vio en otros casos.

Las Figuras 29 y 30 presentan las gráficas de los modelos lineal y cuadrático estimados para los datos recopilados de ancho de pelvis.

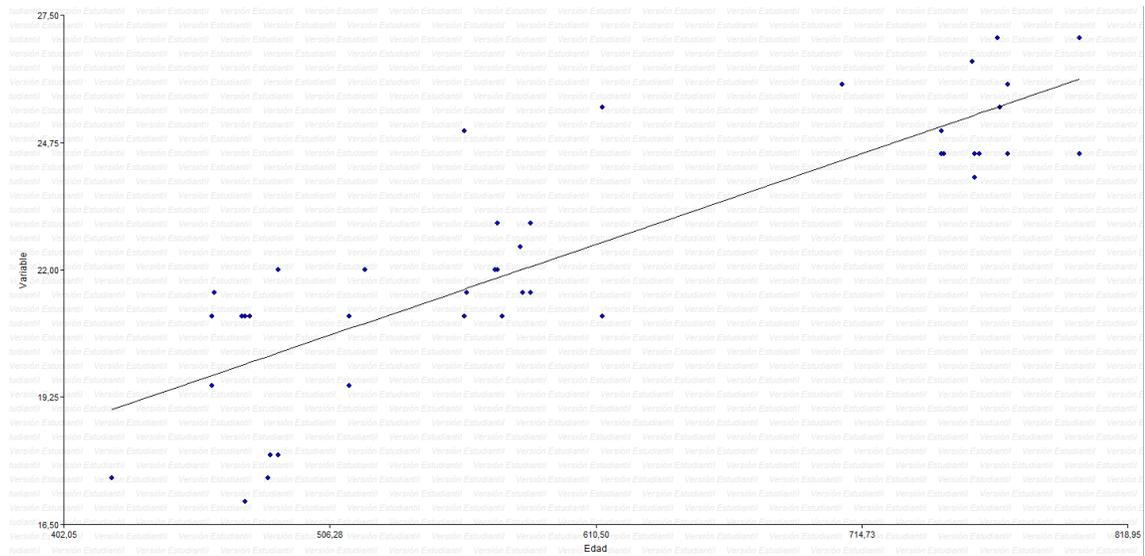


Figura 29. Evolución del ancho de pelvis de hembras Wagyu entre el año y los dos años de edad, según modelo lineal.

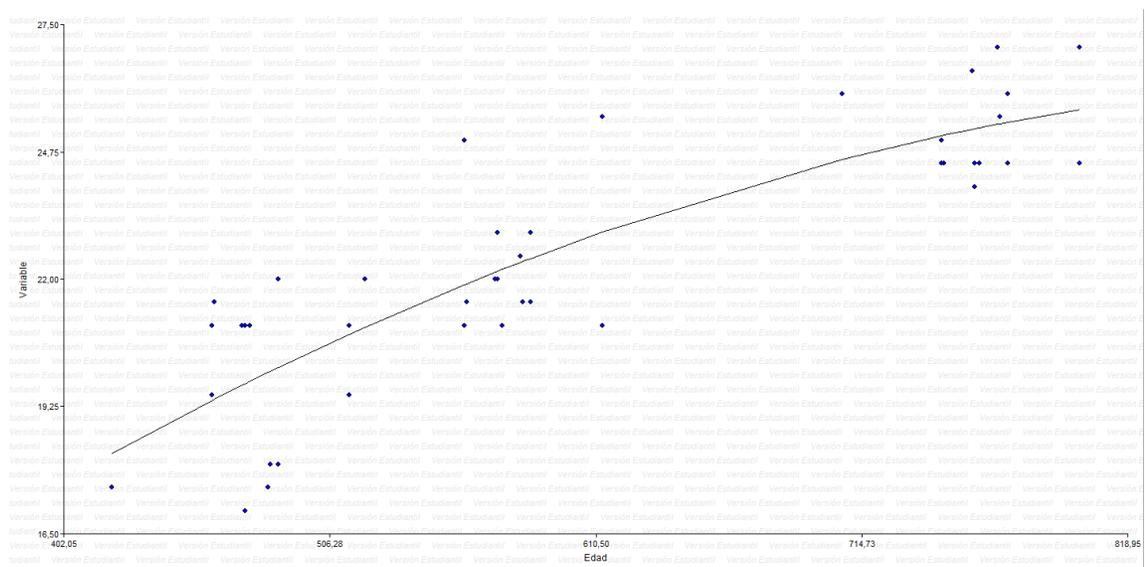


Figura 30. Evolución del ancho de pelvis de hembras Wagyu entre el año y los dos años de edad, según modelo cuadrático.

En este caso, el modelo cuadrático presentó un ligero mejor ajuste que el modelo lineal, lo que podría indicar que cerca de los dos años de edad el ancho de la pelvis comienza a estabilizarse y detener su crecimiento.

4.5. IMPLICANCIAS

De acuerdo al análisis de varianza realizado, tanto el año de nacimiento como la edad en días de las hembras probaron tener efecto sobre su peso ($P > 0,0001$).

Dentro de todos los modelos probados de curvas de crecimiento, en promedio los modelos no lineales tuvieron mejor comportamiento que los lineales al tiempo que a estos últimos no se les encontraría una interpretación biológica acorde.

Al modelar las curvas de crecimiento de las hembras Wagyu desde el nacimiento hasta los ocho años de edad, se encontró que la curva que presentó mayor adaptación fue la polinomial de cuarto grado ($r^2=0,95$), seguida por el modelo polinomial de tercer grado y el modelo Brody ($r^2=0,94$). Es importante destacar que la única curva con interpretación biológica y que a nivel práctico podría utilizarse para describir y predecir el peso, sería la correspondiente a la ecuación de Brody.

En términos generales, exceptuando el modelo lineal, todas las curvas presentaron altos grados de ajuste a la base de datos estudiada.

En este estudio, a pesar que el modelo Richards presentó un buen ajuste a los datos ($r^2 = 0,93$), también fue observado un alto grado de error en la estimación de uno de sus parámetros.

Respecto a la evaluación de los caracteres morfológicos entre el año y los dos años de edad de las hembras Wagyu, los resultados de ajuste fueron variados. En líneas generales dentro de cada variable no hubo diferencias de ajuste entre los dos modelos probados, siendo estos el modelo lineal y el modelo cuadrático.

Dos variables fueron mejor descritas por el modelo cuadrático (grasa subcutánea y ancho de pelvis), dos variables por el lineal (ancho de pecho y ancho de cadera) y una variable no presentó ningún tipo de ajuste a alguno de los dos modelos (altura de anca).

Dentro de las variables que mejor se ajustan al modelo cuadrático, las dos lo hacen con diferente concavidad: mientras que en grasa subcutánea se ve una aceleración a medida que se acerca a los dos años, en ancho de pelvis ocurre lo opuesto y a medida que se acerca a los dos años la variable comienza a estabilizarse.

Para lograr conclusiones más certeras sobre el comportamiento de los caracteres morfológicos, es necesario considerar un mayor tamaño de población de estudio junto con un mayor número de medidas, quizás más próximas en el tiempo entre ellas (por ejemplo desde el nacimiento hasta los dos años midiendo cada 60 días).

Dado que los valores manejados son pocos, posibles errores de medición tendrían mayor influencia en el resultado.

Este estudio permite una primera aproximación del desempeño del ganado Wagyu en sistemas pastoriles de Uruguay. Es importante estudiar el comportamiento de nuevas razas al tiempo que se introducen al país, a un nuevo ambiente y posiblemente a un nuevo sistema productivo. En el caso particular de este ganado, el método de producción habitual es de confinamiento durante toda su vida, mientras que en Uruguay el crecimiento de los animales se evaluó en pastoreo.

5. CONCLUSIONES

Fue posible describir el crecimiento desde el nacimiento hasta los ocho años de edad y la evolución de diferentes caracteres morfológicos entre el año y los dos años de edad de hembras Wagyu en un sistema pastoril del litoral oeste de Uruguay.

Las curvas no lineales fueron las que presentaron promedialmente mejor ajuste a la base de datos.

Exceptuando el modelo lineal, todos los modelos presentaron ajustes muy elevados a la base de datos ($r^2 > 0,9$).

Los tres modelos que mostraron mejor ajuste fueron el polinomial de cuarto grado ($r^2 = 0,95$), polinomial de tercer grado ($r^2 = 0,94$) y Brody ($r^2 = 0,94$).

La curva de crecimiento de las hembras Wagyu es comparable a la observada para animales de razas británicas, pero con diferencias en los pesos esperados, sobre todo a partir de los dos años de edad.

Es posible caracterizar desde el punto de vista morfométrico a las hembras de la raza Wagyu, aunque sería necesario realizar más registros para aumentar la exactitud de las predicciones.

6. RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue modelar las curvas de crecimiento de hembras Wagyu desde el nacimiento hasta los ocho años de edad según diferentes modelos tanto lineales como no lineales. Al mismo tiempo, se intentó describir el comportamiento de las variables espesor de grasa subcutánea, altura de anca, ancho de pecho, ancho de cadera y ancho de pelvis entre el año y los dos años de edad. La base de datos de peso utilizada está compuesta de 419 registros recopilados en el período comprendido entre los años 2006 y 2017. Dentro de los modelos probados, los lineales fueron: lineal, cuadrático, polinomial de tercer grado y polinomial de cuarto grado. Dentro de los no lineales los seleccionados fueron: Gompertz, Logístico, Brody y Richards. En promedio, los modelos que mejor se adaptaron y presentaron interpretación biológica fueron los modelos no lineales. Dentro de ellos, el modelo Brody fue el que presentó el mayor ajuste ($r^2 = 0,94$). Respecto a los caracteres morfológicos, se probó el modelo lineal y el cuadrático obteniendo resultados de ajustes variados. Dos variables fueron mejor descritas por el modelo cuadrático (grasa subcutánea y ancho de pelvis), dos variables por el lineal (ancho de pecho y ancho de cadera) y una variable no presentó ningún tipo de ajuste a alguno de los dos modelos (altura de anca).

Palabras clave: Curvas de crecimiento; Hembras; Wagyu; Bovinos de carne; Peso vivo.

7. SUMMARY

The purpose of this job was to model the growth curves of Wagyu cows from birth to a maximum of eight years of age using linear and non linear models. At the same time, it was attempted to describe the behavior of different variables such as subcutaneous fat thickness, height, chest width, hip width and pelvis width between a year and two years of age, The data base used was composed of 419 registrations compiled in the period comprehended between the years 2006 and 2017. Within the models used, the linear ones were: linear, quadratic, third-degree polynomial and fourth-degree polynomial. The non lineal models selected were: Gompertz, logistic, Brody and Richards. On average, the models that showed better adjustment and had biological interpretation were the non linear ones. Among them, Brody model was the one that had the best overall adjustment ($r^2 = 0,94$). Regarding the morphological characters, the models tried were the linear and the quadratic one obtaining variable results. Two variables were better described by the quadratic model (subcutaneous fat thickness and pelvis width), two variables by the linear model (chest width and hip width) and one variable did not present any kind of adjustment to either model (height).

Key words: Growth curves; Cows; Wagyu; Beef cattle; Live weight.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. Abreu, U. G.; Cobuci, J. A.; Silva, M. V. G. B.; Sereno, J. R. B. 2004. Uso de modelos no lineales para el ajuste de la curva de crecimiento de bovinos pantaneiros. Archivos de Zootecnia 53(204):367-370.
2. Agudelo D. A.; Cerón, M. F.; Restrepo, L. F. 2007. Modelación de las funciones de crecimiento aplicadas a la producción animal. Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias. 20: 157-173.
3. Akaike, H. 1987. Factor analysis and AIC. Psychometrika. 52(3):317-332.
4. Álvarez, A.; Pérez, H.; De la Cruz, T.; Quincosa, J.; Sánchez, A. 2009. Fisiología animal aplicada. Antioquia, Universidad de Antioquia. 382 p
5. Arango, J.; Van Vleck, L. D. 2002. Size of beef cows: early ideas, new developments. Genetics and Molecular Research. 1(1):51-63.
6. Asociación Argentina de Criadores de Wagyu. 2008. La raza Wagyu. (en línea). Buenos Aires. 2 p. Consultado 17 mar. 2018. Disponible en http://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/razas_bovinas/75-wagyu.pdf
7. Australian Wagyu Associaton, AU. s.f. Japanese History. (en línea). Armidale. s.p. Consultado ago. 2018. Disponible en <https://www.wagyu.org.au>
8. Azor, P. J.; Jiménez, J. M.; Valera, M.; Salado, F. 2005. Determinación de la curva de crecimiento de los terneros de raza retinta. (en línea). Feagas. 27: 66-72. Consultado 6 jun. 2018. Disponible en <https://helvia.uco.es/xmlui/bitstream/handle/10396/6247/feagas27-2005.1-2.pdf?sequence=1>
9. Bavera, G.; Bocco, O.; Beguet, H.; Petryna, A. 2005. Crecimiento desarrollo y precocidad. (en línea). In: Cursos de Producción Bovina de Carne (2005, Río Cuarto). Publicaciones. Río Cuarto, UNRC. FAV. p.irr. Consultado 20 mar. 2018. Disponible en http://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/exterior/05-crecimiento_desarrollo_y_precocidad.pdf.

10. Beltrán, J. J.; Butts, W. T.; Olson, T. A.; Koger, M. 1992. Growth patterns of two lines of Angus cattle selected using predicted growth parameters. *Journal of Animal Science*. 70(3):734-741.
11. Berg, R. T.; Butterfield, R. M. 1976. *New concepts of cattle growth*. Sydney, University of Sydney. 255 p.
12. Berlanga, M. E.; Molina, A.; Luque, A. J. 1995. Estimación de la curva de crecimiento en vacuno retinto desde el nacimiento hasta el destete. (en línea). *Archivos Zootecnia*. 44 (166-167): 179-192. Consultado 6 jun. 2018. Disponible en http://www.uco.es/organiza/servicios/publica/az/php/img/web/24_13_04_166-167_09_2.pdf
13. Bistolfi, M.; Direnna, N.; Fernández, S.; Moltini, P. J. 2014. *Curvas de crecimiento en terneros de diferente genotipo desde el nacimiento hasta los dos años de edad*. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 49 p.
14. Bogart, R. 1962. *Crianza y mejora del ganado*. México, Herrero. 458 p.
15. Brody, S. 1945. *Bioenergetics and growth*. New York, Reinhold. 1023 p.
16. Brown, J. E.; Brown, C. J.; Butts, W. T. 1972. A Discussion of the genetic aspects of weight, mature weight and rate of maturing in Hereford and Angus cattle. *Journal of Animal Science*. 34(4): 525-537.
17. Burris, M. J.; Blunn, C. T. 1952. Some factors affecting gestation length and birth weight of beef cattle. *Journal of Animal Science*. 11(1):34-41.
18. Bustamante, J. L.; López Saubidet, C. 1972. Factores ambientales que afectan el peso al nacimiento de los terneros. *INTA. Producción Animal*. 3:209-217.
19. Cangiano, C. A. 1997. *Producción animal en pastoreo*. Balcarce, Argentina, INTA. 145 p.
20. Cevallos, O. F. 2012. *Caracterización morfoestructural y faneróptico del bovino criollo en la provincia de Manabi, Ecuador*. Tesis MSc. Quevedo, Ecuador. Universidad de Córdoba. Facultad de Veterinaria. 67 p.

21. Church, D. C.; Pond, W. G.; Pond, K. R. 2002. Fundamentos de nutrición y alimentación de animales. 2ª. ed. Balderas, México, Uteha. 636 p.
22. Costa, R. B.; Misztal, I.; Elzo, M. A.; Bertrand, J. K.; Silva, L. O.; Lukaszewicz, M. 2011. Estimation of genetic parameters for mature weight in Angus cattle. *Journal of Animal Science*. 89(9): 2680-2686.
23. Dañobeytia, I.; Niell, F.; Rossi, G. 2015. Curvas de crecimiento en terneros Hereford, A. Angus y cruzas, desde el nacimiento hasta los seis meses de edad. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 52 p.
24. Delgado, C.; Valera, M.; Molina, A.; Jiménez, J. M. 2000. Circunferencia escrotal como predictor de la capacidad reproductiva en razas de vacuno de carne autóctono: curvas de crecimiento en el vacuno Retinto. (en línea). *Archivos Zootecnia*. 49 (185-186): 229-240. Consultado 5 jun. 2018. Disponible en http://www.uco.es/organiza/servicios/publica/az/php/img/web/02_02_50_33d_elgadoc1.pdf
25. Di Marco, O. N. 2004. Fisiología de crecimiento de vacunos. (en línea). In: Curso de Posgrado Actualización en Invernada (2004, La Pampa). Textos. Buenos Aires, Sitio Argentino de Producción Animal. p. irr. Consultado 6 mar. 2018. Disponible en http://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/externo/16-fisiologia_del_crecimiento.pdf
26. _____. 2007. Conceptos de crecimiento aplicados a la producción de carne. (en línea). Buenos Aires, Unidad Integrada Balcarce. p. irr. http://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/externo/19-conceptos_de_crecimiento.pdf
27. Domínguez, J.; Rodríguez, F. A.; Núñez, R.; Ramírez, R.; Ortega, J. A.; Ruíz, A. 2012. Ajuste de modelos no lineales y estimación de parámetros de crecimiento en bovinos Tropicarne. *Revista Agrociencia (Chapingo)*. 47 (1): 25-34.
28. Fitzhugh, H. A. 1976. Analysis of growth curves and strategies for altering their shape. *Animal Science*. 42: 1036-1051.

29. Fowler, V. R. 1968. Body development and some problems of its evaluation in Growth and Development of Mammals. London, Butterworths. s.p.
30. Goldberg, V.; Ravagnolo, O. 2015. Description of the growth curve for Angus pasture-fed cows under extensive systems. Journal of Animal Science. 93:4285-4290.
31. Hammond, J. 1960. Farm animals.3rd. ed. London, Edward Arnold. v. 8, 322 p.
32. Johnson, Z. B.; Brown, C. J.; Brown, A. H. 1990. Evaluation of growth patterns of beef cows. Bulletin of Arkansas Agricultural Experiment Station. 923: 41-68.
33. Kaps, M.; Herring, W. O.; Lamberson, W.R. 1999. Genetic and environmental parameters for mature weight in Angus cattle. Journal of Animal Science. 77(3):569-574.
34. Kersey, R. S.; Brinks, J. S. 1985. Genetic and environmental aspects of the growth curve parameters in beef cows. Journal of Animal Science. 61(6):1431-1440.
35. Lunt, D. K.; Riley, R. R.; Smith, S. B. 1992. Growth and carcass characteristics of Angus and American Wagyu steers. Meat Science. 34:327-334.
36. MGAP. DIEA (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Dirección de Investigaciones Estadísticas Agropecuarias, UY). 2017. Anuario estadístico agropecuario 2017. Montevideo. s.p.
37. Montesinos, A. 2011. Estudio del AIC y BIC en la selección de modelos de vida con datos censurados. Guanajuato, México, Centro de Investigación en Matemáticas. 61 p.
38. Morrow, R. E.; Mc Laren, J. B.; Butts, W. T. 1978. Effect of age on estimates of bovine growth curve parameters. Journal of Animal Science. 47(2):352-357.
39. 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.

40. Namikawa, K. 1997. Breeding history of Japanese beef cattle and preservation of genetic resources as economic farm animals. In: Wagyu Symposium (3rd., 1997, Pullman). Proceedings. Pullman, USA, Washington State University. p. irr.
41. Nobre, P. R.; Rosa, A. N.; Da Silva, N. O.; Evangelista, S. R. M. 1987. Curvas de crescimento de gado Nelore ajustadas para diferentes frequencias de pesagens. Pesquisa Agropecuária Brasileira (Brasilia). 22 (9-10):1027-1037.
42. Patricio, Z.; Pumará, D. 2005. Crecimiento y desarrollo. Revista Hereford (Buenos Aires). 71(641):30-36.
43. Posada, S.; Rosero, R.; Rodríguez, N.; Costa, A. 2011. Estimación de parámetros de curvas de crecimiento de ganado Nelore criado en confinamiento. Revista MVZ (Córdoba). 16 (3): 2701-2710.
44. Rogberg, M. 2006. Heterosis y desempeño en características de crecimiento en las razas Angus, Hereford y su cruce F1. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 39 p.
45. Rovira, J. 2008. Manejo nutritivo del rodeo de cría en pastoreo. reimp. Montevideo, Hemisferio Sur. 321 p.
46. SENEPOL Uruguay, UY. s. f. Historia. (en línea). Montevideo, Sociedad Uruguaya de Criadores de Senepol. Consultado mar. 2018. Disponible en <http://senepol.uy/one-page/>
47. Torres, V.; Barbosa, I.; Meyer, R.; Noda, A.; Sarduy, L. 2012. Criterios de bondad de ajuste en la selección de modelos no lineales en la descripción de comportamientos biológicos. Revista Cubana de Ciencia Agrícola. 46(4):345-349.