



**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**  
**ESCUELA DE PREGRADO**

**MEMORIA DE TÍTULO**

**COMPARACIÓN DE DOS MODELOS DE SIMULACIÓN QUE PREDICEN  
LA GANANCIA DE PESO EN CORDEROS MERINO PRECOZ,  
ALIMENTADOS BAJO CONDICIONES DE ESTABULACIÓN**

**MAX RONALD TRUJILLO HUARACA**

**SANTIAGO, CHILE**

**2020**

**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS  
ESCUELA DE PREGRADO

MEMORIA DE TÍTULO

COMPARACIÓN DE DOS MODELOS DE SIMULACIÓN QUE PREDICEN LA  
GANANCIA DE PESO EN CORDEROS MERINO PRECOZ,  
ALIMENTADOS BAJO CONDICIONES DE ESTABULACIÓN

COMPARISON OF TWO SIMULATION MODELS THAT PREDICT WEIGHT  
GAIN IN MERINO PRECOCIOUS LAMBS, FED UNDER STABULATION  
SETTINGS

MAX RONALD TRUJILLO HUARACA

SANTIAGO, CHILE

2020

**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**  
**ESCUELA DE PREGRADO**

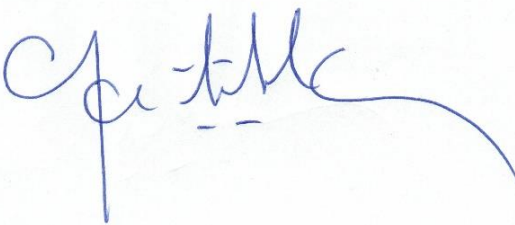
**COMPARACIÓN DE DOS MODELOS DE SIMULACIÓN QUE PREDICEN LA  
GANANCIA DE PESO EN CORDEROS MERINO PRECOZ, ALIMENTADOS  
BAJO CONDICIONES DE ESTABULACIÓN**

Memoria para optar al título profesional de:  
Ingeniero Agrónomo.

MAX RONALD TRUJILLO HUARACA

**Profesor Guía:**

Sr. Giorgio Castellaro G.  
Ingeniero Agrónomo, Mg. Sc.

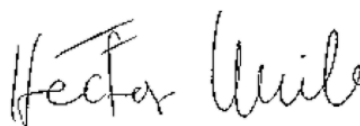


**Calificaciones**

7,0

**Profesores Evaluadores:**

Sr. Héctor Uribe M.  
Médico Veterinario, M.S Ph. D.



6,6

Sr. Juan Manuel Uribe M.  
Ingeniero Agrónomo

7,0

**SANTIAGO, CHILE**

**2020**

## ***AGRADECIMIENTOS***

Quiero agradecer a mi amada madre y a mi padre, por darme su total apoyo y entregarme siempre su amor, incluso cuando los tiempos se han puesto difíciles. Les agradezco también, por haberme inculcado valores de vida desde muy niño, y por seguir siendo los ejemplos de persona que quisiera llegar a ser, ya que aún me queda mucho por aprender.

Agradezco de forma particular a mi profesor guía Giorgio Castellaro, por su paciencia, enseñanzas y su plena disposición al momento de coordinar reuniones o discutir ideas.

También quiero mencionar a mis amigos y amigas de la Universidad, quienes se han encargado de que las risas nunca falten sea el momento que sea, así como también, la confianza y el ánimo que me han entregado cada uno de ellos. Además, quiero mencionar a mi querida Catalina, quien ha sido un pilar muy importante para mí en mi último año de carrera, entregándome su cálida compañía y comprensión, día a día.

Y, por último, siento que es muy importante dar a conocer el origen de todo este esfuerzo, aquel que potenció mi motivación por ingresar a la Universidad de Chile, aquel que con su cariño me ayudó a no perder de vista mis objetivos. Agradezco muy atentamente al menor de mis hermanos, Benjamín Trujillo Huaraca, quien, gracias a la simpleza de su personalidad, me ha entregado la alegría y fuerza necesaria para seguir adelante, valorando lo positivo que cada situación pueda traer.

## ÍNDICE

RESUMEN	02
PALABRAS CLAVE	02
ABSTRACT	03
KEYWORDS	03
INTRODUCCIÓN	04
HIPÓTESIS	06
OBJETIVO	06
MATERIALES Y MÉTODOS	07
Descripción de los Modelos de Simulación	07
Validación de los Modelos de Simulación	12
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	14
CONCLUSIONES	26
BIBLIOGRAFÍA	27
ANEXOS	31
Anexo 1: Ecuación que estima el peso vivo según la edad	31
Anexo 2: Datos de los pesos vivos utilizados, según ensayo	33
Anexo 3: Datos estadísticos complementarios	37

## RESUMEN

En los últimos años, se han desarrollado diferentes sistemas o estándares para cuantificar los requerimientos nutricionales de los rumiantes. Entre los más conocidos, encontramos el AFRC (Agricultural and Food Research Council) de origen británico (AFRC, 1993) y el SCA (Standing Committee on Agriculture), de procedencia australiana (SCA, 2007).

En este trabajo se planteó como objetivo constatar que el modelo SCA, al considerar una mayor cantidad de variables, tendría mayor precisión y exactitud en comparación con el modelo AFRC, respecto a la predicción de ganancia de peso en corderos Merino Precoz bajo un sistema de estabulación. Para ello, se utilizaron ocho estudios de los cuales, tres corresponden a ensayos realizados fuera del territorio nacional, con el fin de evaluar el comportamiento de ambos modelos al momento de simular los valores de peso vivo contenidos en los estudios.

A través de los resultados obtenidos por el coeficiente de concordancia de Lin y la raíz del cuadrado medio del error, se determinó que el modelo desarrollado en los estándares de AFRC tiene mayor exactitud en la predicción de ganancia de peso de los corderos. La precisión también presenta mayor inclinación al modelo AFRC, pero presenta menor diferencia con lo obtenido en el modelo SCA.

En conclusión, se rechaza la hipótesis pese a que AFRC posee una menor cantidad de parámetros en las ecuaciones que la componen. Es importante destacar la importancia que tiene una adecuada caracterización de la curva de crecimiento de los corderos bajo estudio, para lograr mayores ajustes en la precisión y principalmente exactitud de las simulaciones realizadas por modelo basado en los estándares de SCA.

Palabras clave: AFRC, SCA, precisión, exactitud, Merino Precoz, estabulación, modelo.

## ABSTRACT

In recent years, different systems or standards have been developed to quantify the nutritional requirements of ruminants. Among the best known we find the AFRC (Agricultural and Food Research Council) of British origin (AFRC, 1993) and the SCA (Standing Committee on Agriculture), of Australian origin (SCA, 2007).

In this work, the objective was to verify that the SCA model, which consider a greater number of variables, would have greater precision and accuracy as compared to the AFRC model, regarding the prediction of weight gain in Merino Precocious lambs under a housing system. For this, eight studies were used, three of them were done outside the national territory, to evaluate the behavior of both models when simulating the live weight values contained in the studies.

Through the results obtained by Lin's concordance coefficient and the root of the mean square of the error, it was concluded that the model developed using the AFRC standards has greater accuracy in the prediction of weight gain of the lambs. The precision also presents a greater inclination to the AFRC model but presents a smaller difference as compared to that obtained by the SCA model.

In conclusion, the hypothesis is rejected even though AFRC has a smaller number of parameters in the equations that compose it. It is important to highlight the importance of an adequate characterization of the lamb's growth curve, to achieve greater adjustments in the accuracy and mainly, the accuracy of the simulations performed by a model based on the SCA standards.

Keywords: AFRC, SCA, accuracy, precision, Merino Precoz, stabling, model.

## INTRODUCCIÓN

La producción de ovinos se ha caracterizado por tener ventajas comparativas frente a los otros rubros, así es como encontramos su fácil explotación extensiva, adaptación a diferentes ambientes y un buen uso de los recursos forrajeros de manera instintiva por el ganado. En el escenario chileno, la producción de carne ovina tiene mucha influencia del contexto internacional, en especial por la Unión Europea, mercado que recibe alrededor del 80% de las exportaciones de Chile. (ODEPA, 2013).

Considerados como una raza de doble propósito, los ovinos de la raza Merino precoz poseen buenos indicadores reproductivos y una elevada velocidad de crecimiento. Se caracterizan por no presentar cuernos, tener sus caras blancas, mucosa rosada y sus pezuñas son blancas; por lo que son muy propensos a contraer enfermedades pódalas (Squella, 2007). El ovino Merino Precoz que actualmente existe en Chile, se derivó del cruce de los Merino Precoces alemanes y franceses, dando origen a un Merino de características muy estables (INIA, 2004).

El problema de la crianza extensiva de ovinos reside en el mal resultado económico frecuente que ha tenido en los últimos años (ODEPA, 2013). Ante esta situación, el sistema estabulado constituye una alternativa viable y aplicable que puede ser adoptada con el fin de obtener una mayor rentabilidad en el sistema ganadero, pese a que la engorda intensiva de ovinos no es lo común.

Según Giraud, *et al.* (2014): “Los primeros ensayos de un sistema bajo estabulación se realizaron en corderos denominados “cola”, que son los que nacen más tarde en la temporada, provienen de nacimientos dobles o tuvieron un menor crecimiento y que cuando llega el otoño, permanecen en el campo con riesgo de pérdida durante el invierno”. Entre los principales motivos por los que se recurre a un sistema estabulado tenemos el alimentar a los corderos que se encuentran con menor disponibilidad de alimento debido a periodos de sequía en el ambiente (Ceballos, 2011), así como también encontramos la necesidad de llegar a un mayor peso vivo a faena por parte de los animales para los mercados más exigentes (como Estados Unidos) (ODEPA, 2012).

El sistema estabulado posee características que tienen por objetivo acelerar el aumento de peso de los animales. Con ello, la trazabilidad, procesos de calidad y condiciones de sanidad estarían debidamente supervisadas, cumpliendo con las exigencias del mercado. (Cortez, 2010). Sin embargo, la inversión inicial es muy alta y muchos productores no tienen los recursos para implementarla, o bien, prefieren no asumir el riesgo (González, 2008).



Lo fundamental en un plan de engorda de rumiantes, es entregar alimentos de alto contenido energético; entre estos ingredientes encontramos generalmente los granos como el de maíz, avena y en menor medida el de cebada. Sin embargo, es necesario no generalizar la composición de la ración solo con concentrados, sino que también incluir ingredientes proteicos y fibra. Al inicio, los corderos son alimentados con raciones de alto contenido proteico, pero a medida que crecen, el porcentaje de ingrediente proteico disminuye aumentando el aporte del ingrediente energético, el cual, una vez que se suplen los requerimientos de mantención, se encarga de los procesos productivos como lo es el aumento de peso vivo (Giraudó, *et al.* 2014).

En los últimos años, se han desarrollado diferentes sistemas o estándares para cuantificar los requerimientos nutricionales de los rumiantes. Entre los más conocidos, encontramos el AFRC (Agricultural and Food Research Council) de origen británico (AFRC, 1993) y el SCA (Standing Committee on Agriculture), de procedencia australiana (SCA, 2007). El uso de estos sistemas se centra en producción bovina y ovina, ya sea en condiciones de pastoreo o de estabulación; de manera que se busca predecir el consumo, el balance energético y proteico, así como la ganancia de peso de los rumiantes bajo análisis.

Por la situación mencionada, para lograr una alta rentabilidad en un sistema estabulado es imprescindible manejar una adecuada ración al momento de la engorda de los animales. Por ello, la utilización de modelos matemáticos basado en los sistemas antes mencionados, podrían ser una herramienta útil que apoye la toma de decisiones, ya que permiten predecir el aumento de peso que se obtendrá a partir de diferentes raciones utilizadas. Considerando los costos que tiene el engorde intensivo, el uso de herramientas que nos den mayor seguridad en las decisiones adoptadas para lograr el máximo beneficio, serán de gran importancia para el manejo del sistema.

Tanto el requerimiento como el suministro energético son factores claves en la producción de carne ovina, por lo que los sistemas anteriores pueden ser utilizados para la formulación de modelos matemáticos que simulan el crecimiento de los animales. Al considerar una mayor cantidad de variables y parámetros, un modelo basado en los estándares nutricionales del sistema SCA podría ser más preciso y exacto en predecir el cambio de peso vivo de los animales, a diferencia de un modelo basado en los estándares propuestos por AFRC, el cuál es más sencillo. Es por ello por lo que, el objetivo de esta memoria fue comparar dos modelos de simulación: Uno basado en los estándares propuestos por SCA (2007) y otro en los sugeridos por AFRC (1993). En ambos modelos se analizó su capacidad predictiva para predecir la ganancia de peso en corderos Merino precoz, bajo condiciones de estabulación, alimentados con diferentes raciones.

## **HIPÓTESIS**

Un modelo de simulación basado en las ecuaciones propuestas por el sistema SCA, al considerar una mayor cantidad de variables, posee mayor precisión y exactitud que uno basado en el sistema AFRC respecto a la predicción de ganancia de peso en corderos Merino precoz, engordados en condiciones de estabulación y sometidos a diferentes concentraciones energéticas en las raciones suministradas.

## **OBJETIVO**

Elaborar, validar y comparar dos modelos de simulación que predicen la ganancia de peso de corderos Merino precoz alimentados en condiciones de estabulación: Uno basado en las ecuaciones propuestas por SCA y otro en las ecuaciones sugeridas por AFRC.

## MATERIALES Y MÉTODO

### Descripción de los Modelos de Simulación

Los modelos de simulación elaborados en este trabajo suponen que el principal aspecto que limita la ganancia de peso es la disponibilidad de energía metabolizable consumida (Castellaro *et. al*, 2007), la cual debe contrastarse con los requerimientos de mantención de los animales, mediante un balance energético, aspectos que se describen a continuación a través de las siguientes ecuaciones:

Consumo de materia seca (DMI, kg día<sup>-1</sup>) y Energía metabolizable (CEM, MJ día<sup>-1</sup>):

De acuerdo con el sistema AFRC, el DMI viene dado por la siguiente ecuación:

$$\text{DMI} = (150,3 - 78 \cdot q_m - 0,408 \cdot W) \cdot (W^{0,75}) \cdot 0,001$$

(Ec. 1)

Donde  $q_m$  es la metabolibilidad de la energía bruta del alimento ( $q_m = \text{EM/EB}$ )<sup>1</sup> y  $W$  corresponde al peso vivo de los corderos (kg).

En el caso del sistema SCA, DMI se calcula a través de la siguiente ecuación:

$$\text{DMI} = 0,04 \cdot \text{SRW} \cdot \left(\frac{\text{WN}}{\text{SRW}}\right) \cdot \left(1,7 - \frac{\text{WN}}{\text{SRW}}\right) \cdot \text{CF} \cdot (1 - 1,7 \cdot (0,8 - \text{DMS}))$$

(Ec. 2)

En la Ec. 2, DMS, representa la digestibilidad de la materia seca de la dieta (%). SRW es el peso estándar de referencia (kg), WN es el peso vivo normal según la edad (kg) y CF es el efecto de la condición corporal sobre el consumo de MS.

Para el peso vivo estándar de referencia se consideró un valor de 97,12 kg, mientras que la curva que define el peso vivo normal según la edad se calculó ajustando el modelo de crecimiento de Brody a los datos de peso vivo de los corderos Merino Precoz registrados en la Estación Experimental Rinconada de Maipú (Anexo I, Cuadro 3).

---

<sup>1</sup>  $q_m$ = metabolibilidad de la dieta, la cual refleja la proporción que representa la energía metabolizable de una dieta respecto de la energía bruta de la misma (AFRC, 1993).

Donde:

EM: Energía Metabólica (MJ kg<sup>-1</sup>).

EB: Energía Bruta (MJ kg<sup>-1</sup>).

El efecto de la condición corporal sobre el consumo de MS, se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$CF = RC \cdot \frac{(1,5 - RC)}{0,5}$$

(Ec. 3)

Donde  $RC = W/WN$  ; siendo W el peso vivo de los corderos.

La variable CF refleja el efecto depresivo sobre el consumo de materia seca (por unidad de peso vivo) que presentan los animales muy gordos en comparación a los que observan un peso vivo normal acorde a su estado de desarrollo (SCA, 2007).

El consumo de energía metabólica (CEM) para ambos modelos, se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$CEM = DMI \cdot MD$$

(Ec. 4)

Donde MD, representa la concentración de energía metabolizable de la dieta ( $MJ\ kg^{-1}$ ), la cual corresponde a una variable de entrada en ambos modelos de simulación.

Requerimiento de energía metabolizable para la mantención (RM,  $MJ\ kg^{-1}$ ):

Para el sistema AFRC, RM viene dado por la siguiente ecuación:

$$RM = \frac{F + A}{K_m}$$

(Ec. 5)

En la ecuación anterior, F ( $MJ\ día^{-1}$ ) representa el metabolismo en ayuno y A ( $MJ\ día^{-1}$ ), el gasto energético por actividad. Estas variables quedan definidas por las ecuaciones 6 y 7:

$$F = C_1 \cdot \left[ 0,25 \cdot \left( \frac{W}{1,08} \right)^{0,75} \right]$$

(Ec. 6)

$$A = 0,0067 \cdot W$$

(Ec. 7)

En la Ec. 6, el coeficiente  $C_1$  adquiere valores de 1,15 para corderos enteros y 1,0 para hembras y machos castrados, lo que refleja diferencias en el metabolismo basal entre

corderos de diferente sexo. Tanto en la Ec. 6 como en la Ec. 7, W corresponde al peso vivo (kg) de los corderos.

El coeficiente  $K_m$  que aparece en el denominador de la Ec. 5, representa la eficiencia de utilización de la energía metabolizable en proceso de mantención, la cual depende de la concentración de energía metabolizable de la ración (MD, MJ kg<sup>-1</sup>); definiéndose como:

$$K_m = 0,02 \cdot MD + 0,5 \quad (\text{Ec. 8})$$

En el sistema SCA, RM se calcula de la siguiente manera:

$$RM = \frac{K \cdot S \cdot (0,26 \cdot W^{0,75}) \cdot e^{(-0,03 \cdot A)}}{K_m} + 0,009 \cdot CEM \quad (\text{Ec. 9})$$

Donde K es igual a 1 para ovinos y caprinos; S es igual 1,15 en machos y 1,0 para hembras y capones. W es el peso vivo (kg); A es la edad del ovino (años); CEM es el consumo de energía metabolizable (Ec. 4) y  $K_m$  es la eficiencia de uso de la energía metabolizable en la mantención (Ec. 8).

Cambio de peso vivo (CPV, kg día<sup>-1</sup>):

El cambio de peso vivo de los corderos (CPV, kg día<sup>-1</sup>), se calcula en ambos modelos con la siguiente ecuación:

$$CPV = \frac{RetEN}{EVg} \quad (\text{Ec. 10})$$

En la Ec. 10, la variable RetEN corresponde a la retención de energía neta, la cual se obtiene a partir del balance entre el consumo de energía metabolizable y los requerimientos de mantención. Estos valores son ponderados por la eficiencia de uso de la energía metabolizable en el proceso de ganancia de peso vivo ( $K_f$ ):

$$RetEN = (CEM - RM) \cdot K_f \quad \text{Si } ConsEM > RM \quad (\text{Ec. 11.1})$$

Si el balance de energía metabolizable es negativo, el animal movilizará sus reservas corporales para suplir el déficit energético. Esta movilización se realiza con un 80% de eficiencia y se utiliza en el organismo con una eficiencia similar a la que es utilizada la energía metabolizable proveniente del alimento en el proceso de mantención:

$$\text{RetEN} = (\text{CEM} - \text{RM}) \cdot \frac{\text{Km}}{0,8} \quad \text{Si } \text{ConsEM} \leq \text{RM} \quad (\text{Ec. 11.2})$$

Obtenido el valor de la retención de energía neta, esta debe ser transformada en cambio de peso, para lo cual se debe estimar su valor energético (EVg, MJ kg<sup>-1</sup>), variable que aparece en el denominador de la Ec. 10 y difiere entre ambos sistemas:

- De acuerdo con el sistema AFRC, EVg depende linealmente del peso vivo del cordero (W, kg):

$$\text{EVg} = 2,5 + 0,35 \cdot W \quad (\text{Ec. 12})$$

- En el caso del sistema SCA, EVg se calcula a través de una ecuación más compleja, la cual incluye los efectos del nivel de alimentación (R) y del estado de madurez del animal (Z):

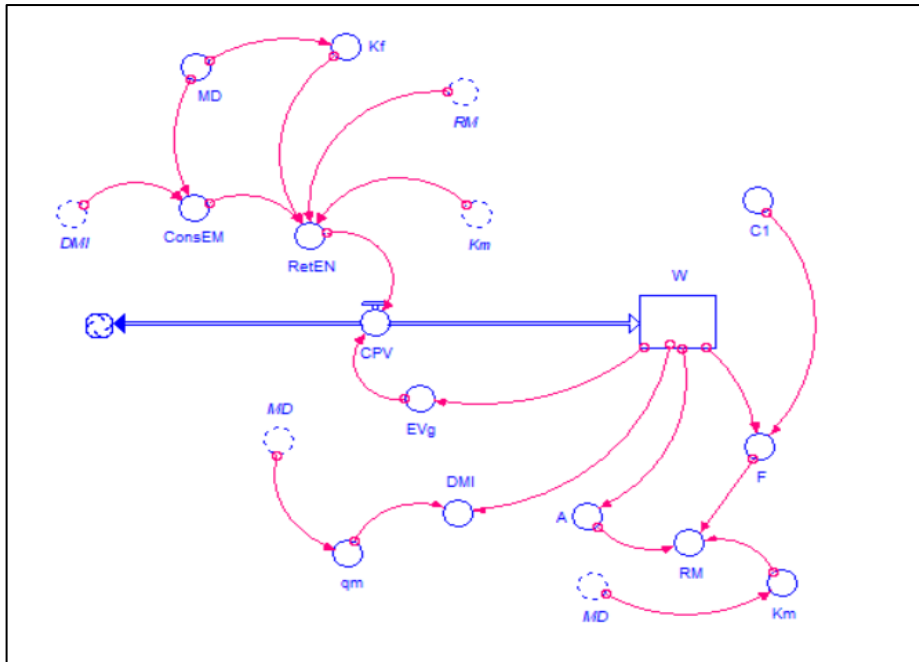
$$\text{EVg} = 0,92 \cdot \frac{(6,7 + R) + (20,3 - R)}{[1 + e^{-6 \cdot (Z-0,4)}]} \quad (\text{Ec. 13})$$

Donde:

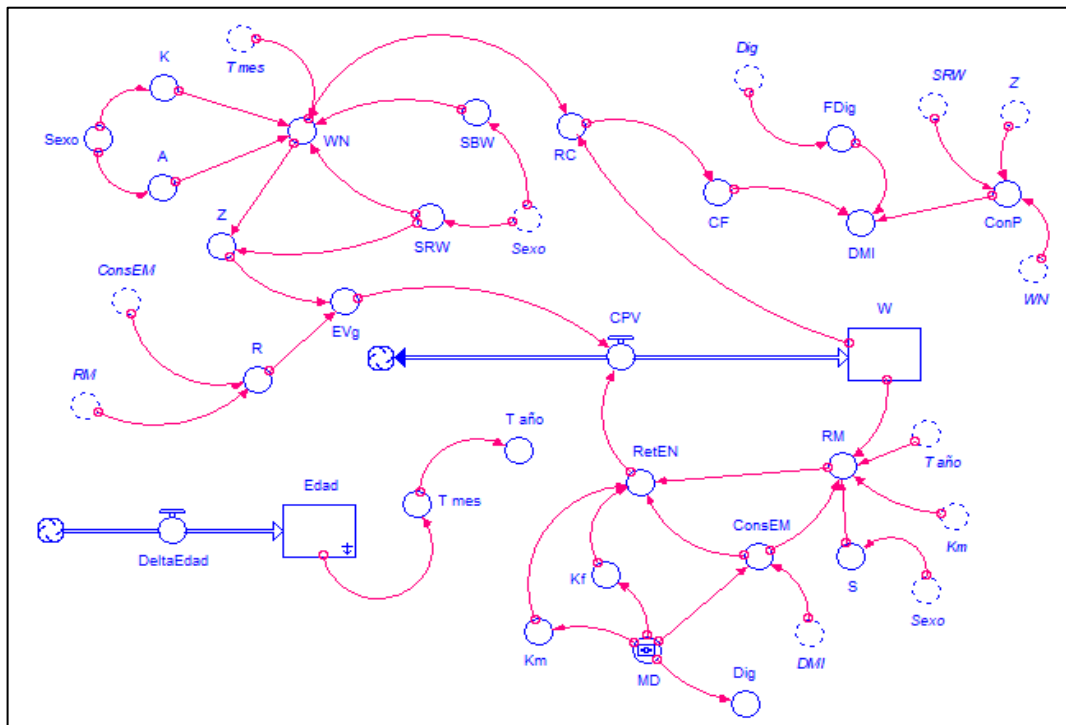
$$R = (\text{CEM}/\text{RM}) - 2 \quad (\text{Ec. 14})$$

$$Z = \text{WN}/\text{SRW} \quad (\text{Ec. 15})$$

Ambos modelos fueron programados mediante el uso del software Stella Research®, el cual es ampliamente utilizado en la elaboración de modelos dinámicos de sistemas complejos. Los diagramas de ambos modelos se presentan en las Figuras 1 y 2:



**Figura 1.** Diagrama de flujo en formato Stella® del modelo de cambio de peso vivo de corderos en estabulación, basado en las ecuaciones propuestas por AFRC (1993). Definición de las variables en el texto.



**Figura 2.** Diagrama de flujo en formato Stella® del modelo de cambio de peso vivo de corderos en estabulación, basado en las ecuaciones propuestas por SCA (2007). Definición de las variables en el texto.

## Validación de los Modelos de Simulación

Se realizó una búsqueda en la literatura, referida a ensayos que dieron cuenta de resultados en cuanto a peso vivo y ganancia de peso corderos Merino Precoz alimentados en condiciones de estabulación. Se recopilaron datos de experimentos realizados en Chile, así como también, en el escenario internacional. Estos estudios fueron obtenidos mediante búsquedas sistemáticas en la web (Web of Science, Google Scholar, Scielo); examinando a su vez, las referencias bibliográficas respectivas en cada estudio que fue analizado. Los ensayos seleccionados presentan una información básica, la cual fue requerida por los modelos de simulación para poder caracterizar las raciones y los corderos sometidos a engorda. Al respecto, se pueden mencionar las siguientes variables:

- Peso vivo, edad y sexo de los corderos.
- Concentración energética, proteica y degradabilidad de la proteína de las raciones utilizadas en los ensayos de engorda.

Del análisis anterior, se seleccionaron 8 estudios considerando los tratamientos que cumplieran con los datos necesarios para efectuar la simulación y las validaciones respectivas. Estos estudios se presentan a continuación:

- 1) Inclusión de un concentrado iniciador en la alimentación de corderos destetados precozmente y criados en confinamiento (Muñoz *et al.* 1987).
- 2) Efecto del peso de destete y de la alimentación con concentrado sobre el comportamiento productivo de corderos Merino precoz (Muñoz *et al.* 1985).
- 3) Alternativas de alimentación para el periodo crecimiento engorda de corderos nacidos tardíamente en la temporada (Pérez *et al.* 1986).
- 4) Estudios de comportamiento de corderos destetados a distintos pesos y sometidos a diferentes sistemas de alimentación (Manterola *et al.* 1984).
- 5) Effect of days in feedlot on growth performance and carcass characteristics of Merino, South African Mutton Merino and Dorper lambs (Brand *et al.* 2017).
- 6) Carcass traits of Rambouillet and Merino x Rambouillet lambs and fatty acid profiles of muscle and subcutaneous adipose tissues as affected by new sheep production system (Rhee *et al.* 2002).
- 7) Contribution to the study of body development in Merino Precoce lambs, subject to two diets (Santos *et al.* 1991).
- 8) Adicionalmente, se obtuvieron datos de la Estación Experimental Rinconada de Maipú de la Universidad de Chile (datos no publicados).



De estos ensayos, se utilizaron los valores de las mediciones del peso vivo de los corderos Merino precoz desde el inicio hasta el final del periodo de engorda respectivo, de manera individual y/o grupal de acuerdo con la disponibilidad de dicha información. La información anterior fue utilizada para validar los modelos antes señalados, comparando la precisión y exactitud de los mismos.

Para calcular el grado de ajuste entre los valores reales (X) y simulados (Y) y como medida de la precisión del modelo, se calculó una regresión lineal entre estos valores, obteniendo el coeficiente de correlación de Pearson (r) y el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) (Steel y Torrie, 1988). La exactitud del modelo se evaluó mediante el cálculo del factor de corrección de sesgo (Cb), la cual indica hasta qué punto la línea de mejor ajuste calculada entre los valores reales y los valores simulados se desvía de la línea bisectriz (Lin, 1989).

Para determinar qué modelo tiene un ajuste más adecuado al momento de simular los valores de pesos vivos, se utilizó el valor que entrega el coeficiente de concordancia de Lin (d), el cuál ajusta un balance entre precisión y exactitud a la simulación de valores de pesos vivos que realice cada modelo. Su ecuación se representa de la siguiente manera:

$$d = Cb \cdot r \tag{Ec. 16}$$

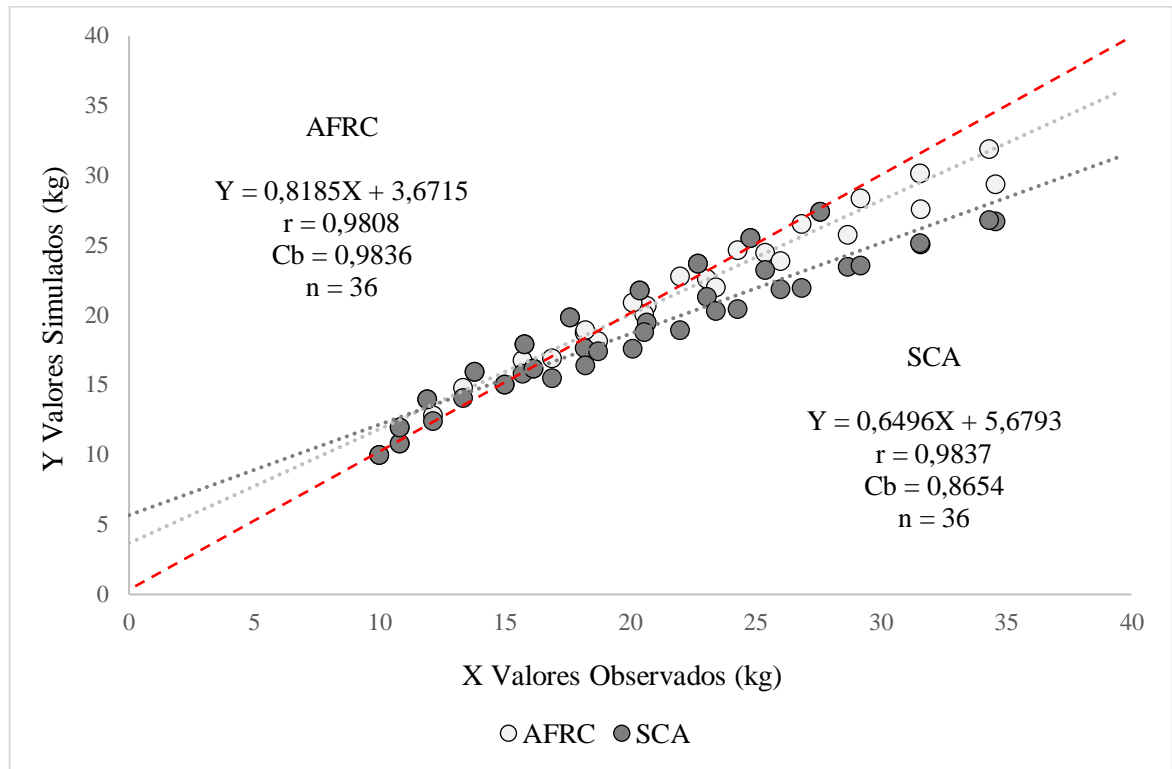
Donde Cb corresponde al factor de corrección de sesgo y r es el coeficiente de correlación de Pearson (Lin, 1989).

Complementariamente, se calculó el valor del error cuadrático medio de predicción (RMSE), expresándolo en unidades absolutas y porcentuales (Kaps y Lamberson, 2004), el cuál indica el error existente que hay entre los valores de pesos vivos observados ( $ValObs_i$ ) con los valores simulados ( $ValSim_i$ ) por cada uno de los modelos bajo estudio. Se calcula con la siguiente ecuación, donde n es el número de pares de observaciones utilizados y  $ValObsProm$  es el promedio de los valores observados.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(ValSim_i - ValObs_i)^2}{n}} \cdot \frac{100}{ValObsProm} \tag{Ec. 17}$$

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 3, se presentan los resultados obtenidos por ambos modelos para simular los valores de peso vivo de los corderos criados en confinamiento del experimento realizado por Muñoz *et al.* (1987).

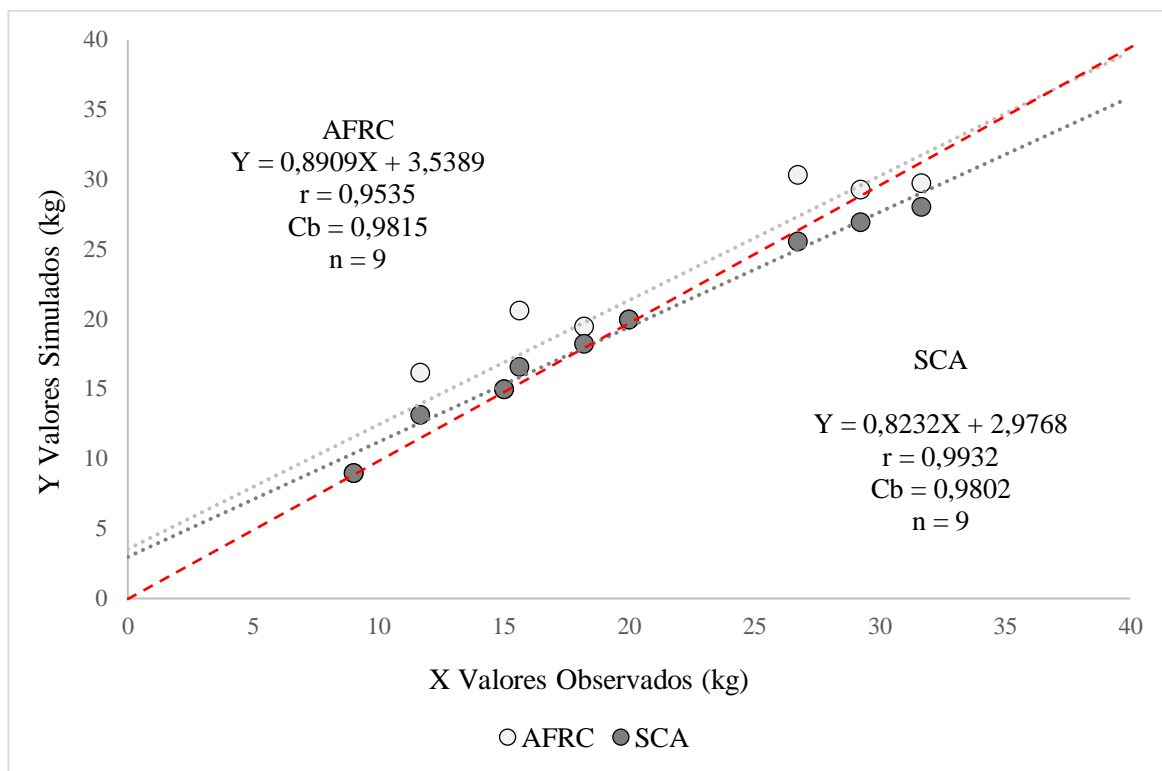


**Figura 3.** Valores observados (X) y simulados (Y) obtenidos con los modelos basados en las ecuaciones propuestas por AFRC (○) y SCA (●), los cuales simulan la evolución del peso vivo de corderos Merino Precoz engordados bajo confinamiento.

Con el modelo basado en las ecuaciones propuestas por AFRC, se obtuvo un coeficiente de correlación de 98,1% ( $r = 0,9808$ ), un coeficiente de sesgo de 0,9836, y un coeficiente de correlación de concordancia de 0,9648. La raíz del error cuadrado medio fue de 1,64 kg (7,88%). A su vez, con el modelo basado en las ecuaciones propuestas por SCA, se obtuvo un coeficiente de correlación de 98,4% ( $r = 0,9837$ ), un coeficiente de sesgo de 0,8654 y un coeficiente de concordancia de 0,8513. En este caso, la raíz del error cuadrado medio fue de 3,26 kg (15,59%).

Acorde con los valores obtenidos, se observa que la precisión de cada modelo fue similar y cercana a la unidad. Sin embargo, la simulación efectuada por el modelo basado en AFRC es la más adecuada, dado que es más exacta. Cabe mencionar, que ambos modelos tienden a subestimar los valores de peso vivo de los corderos bajo estudio, especialmente cuando sus pesos vivos superan los 25 Kg.

En la Figura 4, se presentan los resultados obtenidos por ambos modelos para simular los valores de peso vivo de los corderos criados en confinamiento del experimento realizado por Muñoz *et al.* (1985).



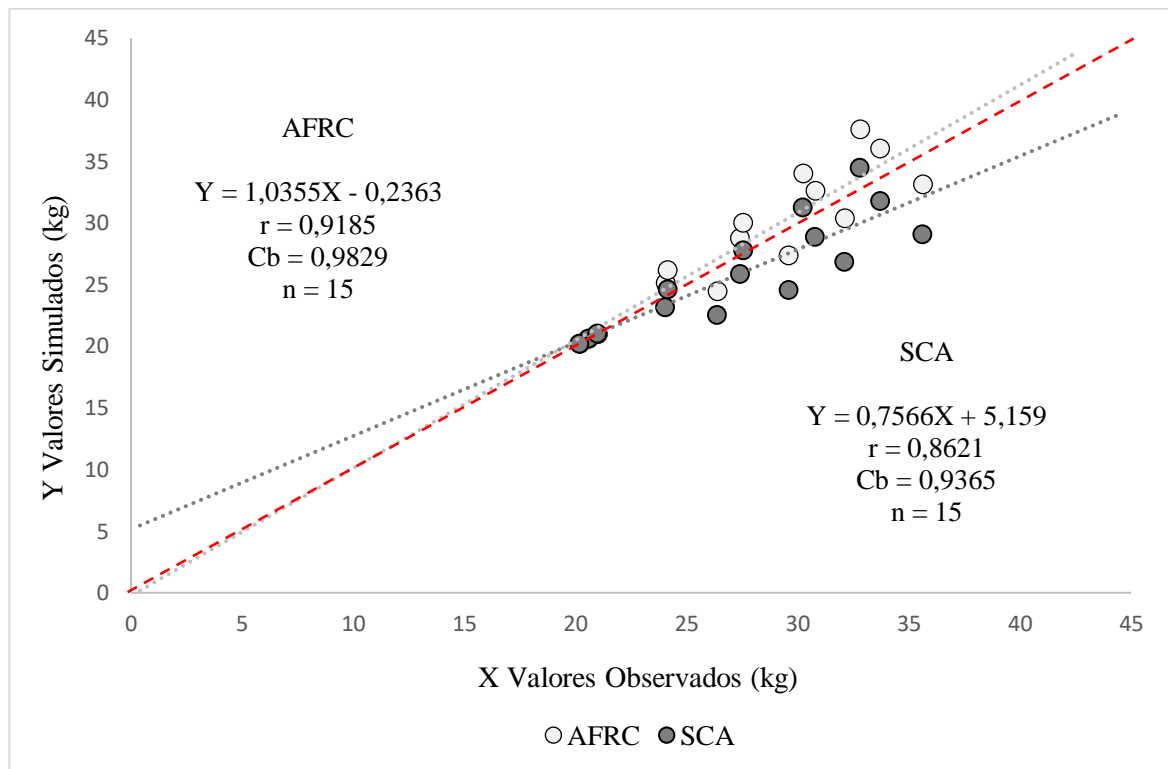
**Figura 4.** Valores observados (X) y simulados (Y) obtenidos con los modelos basados en las ecuaciones propuestas por AFRC (○) y SCA (●), los cuales simulan la evolución del peso vivo de corderos Merino Precoz engordados bajo confinamiento.

En este caso, con el modelo basado en las ecuaciones del AFRC, se obtuvo un coeficiente de correlación de 95,4% ( $r = 0,9535$ ), un coeficiente de sesgo de 0,9815, y un coeficiente de concordancia de 0,9359. La raíz del error cuadrado medio fue de 2,65 kg (13,47%). A su vez, con el modelo basado en las ecuaciones de SCA, se obtuvo un coeficiente de correlación de 99% ( $r = 0,9932$ ), un coeficiente de sesgo de 0,9802 y un coeficiente de concordancia de 0,9736. Además, la raíz del error cuadrado medio fue de 1,58 kg (8,06%).

Acorde con los valores obtenidos para este caso, se observa que la exactitud que presentan ambos modelos en su simulación fue similar, siendo cercana a la unidad. Sin embargo, se determina que el modelo basado en SCA realiza una simulación más adecuada debido a que posee una precisión mayor a la que presenta el modelo basado en AFRC.

Cabe mencionar que, para el set de datos empleados, el modelo AFRC tiende a sobreestimar los valores de peso vivo, ya que la mayoría de los valores de peso están sobre la bisectriz.

En la Figura 5, se presentan los resultados obtenidos por ambos modelos para simular los valores de peso vivo de los corderos criados en confinamiento del experimento realizado por Pérez *et al.* (1986).



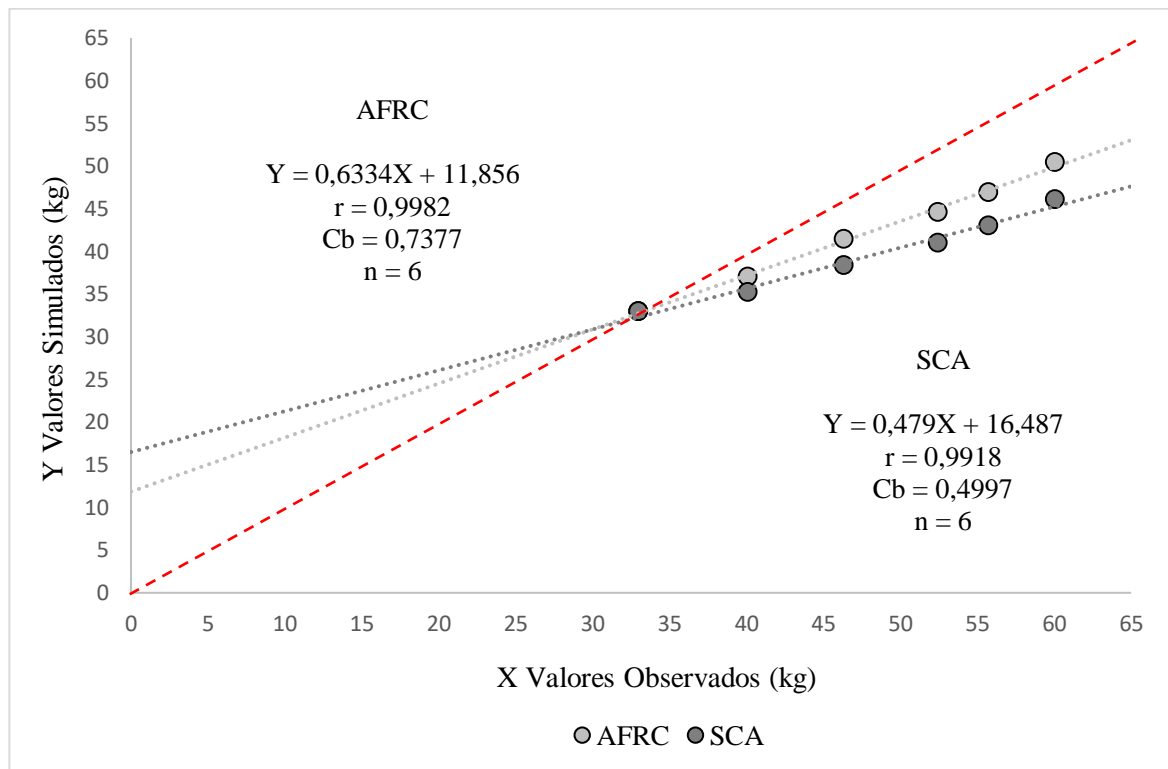
**Figura 5.** Valores observados (X) y simulados (Y) obtenidos con los modelos basados en las ecuaciones propuestas por AFRC (○) y SCA (●), los cuales simulan la evolución del peso vivo de corderos Merino Precoz engordados bajo confinamiento.

Con el modelo basado en las ecuaciones propuestas por AFRC, se obtuvo un coeficiente de correlación de 91,9% ( $r = 0,9185$ ), un coeficiente de sesgo de 0,9829, y un coeficiente de correlación de concordancia de 0,9029. La raíz del error cuadrado medio fue de 2,26 kg (8,16%). A su vez, con el modelo SCA, se obtuvo un coeficiente de correlación de 86,2% ( $r = 0,8621$ ), un coeficiente de sesgo de 0,9365 y un coeficiente de concordancia de 0,8074. En este caso, la raíz del error cuadrado medio fue de 2,90 kg (10,46%).

Acorde con los valores obtenidos para este caso, el modelo basado en el sistema AFRC simuló de manera más adecuada los valores de peso vivo, esto es con mayor exactitud y precisión en comparación a lo obtenido con el modelo basado en los estándares propuestos por el modelo SCA.

Cabe mencionar que, para el set de datos empleados, el modelo basado en los estándares de SCA tiende a subestimar los valores, aumentando la diferencia a medida que los valores de peso vivo aumentan.

En la Figura 6, se presentan los resultados obtenidos por ambos modelos para simular los valores de peso vivo de los corderos criados en confinamiento del experimento realizado por Brand *et al.* (2017).



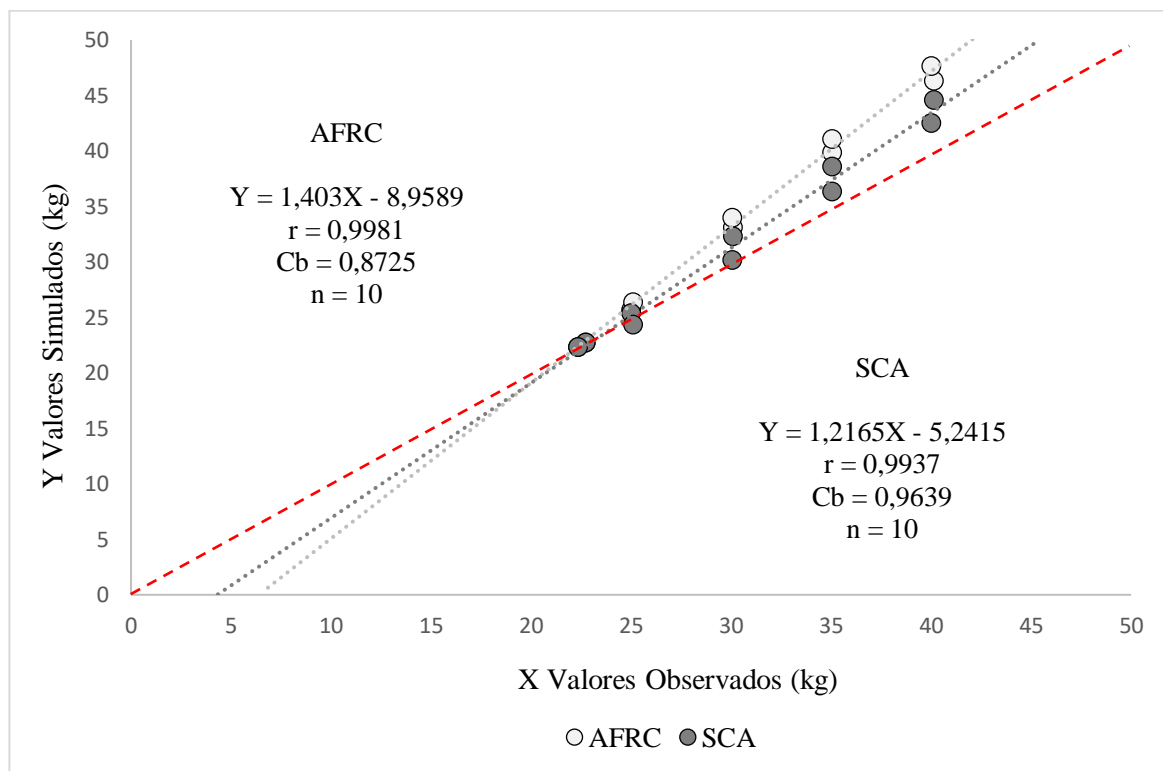
**Figura 6.** Valores observados (X) y simulados (Y) obtenidos con los modelos basados en las ecuaciones propuestas por AFRC (○) y SCA (●), los cuales simulan la evolución del peso vivo de corderos Merino Precoz engordados bajo confinamiento.

Con el modelo basado en las ecuaciones de AFRC, se obtuvo un coeficiente de correlación de 99,8% ( $r = 0,9982$ ), un coeficiente de sesgo de 0,7377, y un coeficiente de concordancia de 0,7365. La raíz del error cuadrado medio fue de 6,66 kg (13,89%). A su vez, con el modelo basado en las ecuaciones de SCA, se obtuvo un coeficiente de correlación de 99,2% ( $r = 0,9918$ ), un coeficiente de sesgo de 0,4997 y un coeficiente de concordancia de 0,4997. En este caso, la raíz del error cuadrado medio fue de 9,78 kg (20,40%).

Acorde con los valores obtenidos para este caso, se observa que la precisión que presentan ambos modelos en su simulación fue muy similar, siendo cercana a la unidad. Sin embargo, aunque el modelo basado en AFRC presenta una exactitud mayor a la del modelo basado en SCA; ambos modelos presentan una exactitud muy alejada a la unidad.

Por lo tanto, ninguno de los dos modelos simuló en este caso de forma adecuada los valores de peso vivo, subestimando sistemáticamente el peso vivo a medida que este aumenta.

En la Figura 7, se presentan los resultados obtenidos por ambos modelos para simular los valores de peso vivo de los corderos criados en confinamiento del experimento realizado por Santos *et al.* (1991).



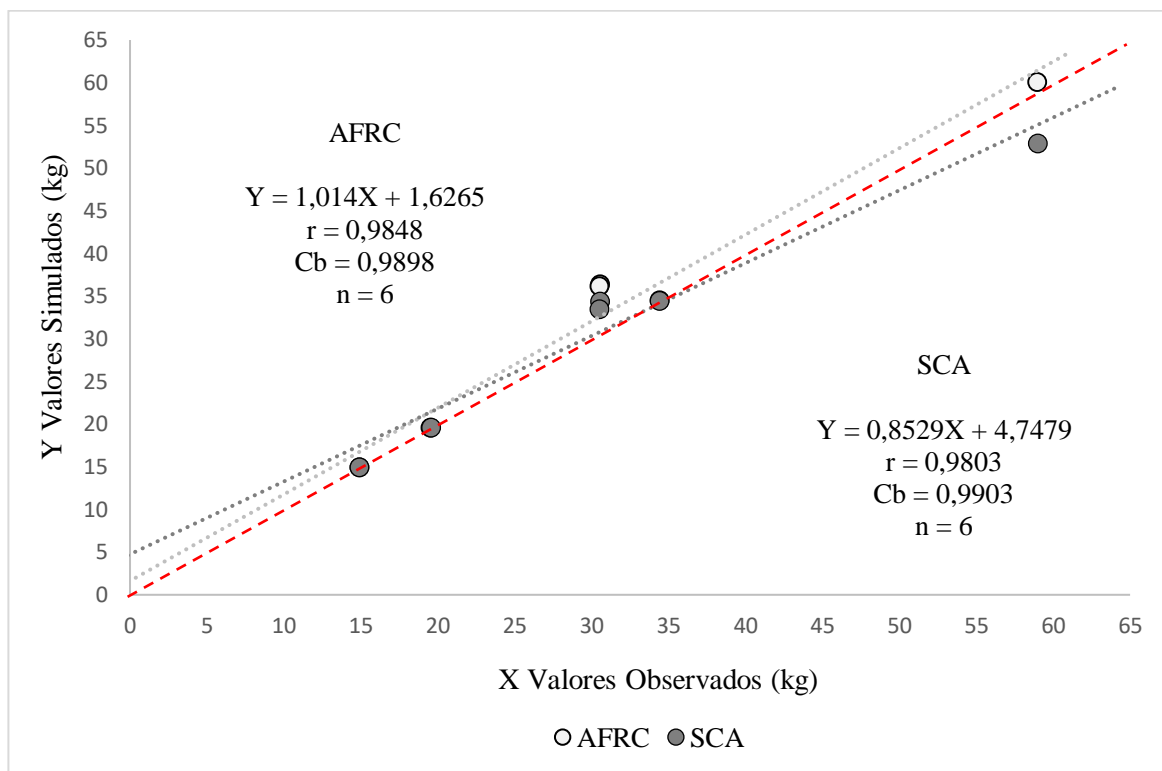
**Figura 7.** Valores observados (X) y simulados (Y) obtenidos con los modelos basados en las ecuaciones propuestas por AFRC (○) y SCA (●), los cuales simulan la evolución del peso vivo de corderos Merino Precoz engordados bajo confinamiento.

Con el modelo basado en las ecuaciones de AFRC, se obtuvo un coeficiente de correlación de 99,8% ( $r = 0,9981$ ), un coeficiente de sesgo de 0,8725, y un coeficiente de concordancia de 0,8709. La raíz del error cuadrado medio fue de 4,27 kg (13,96%). A su vez, con el modelo basado en las ecuaciones de SCA, se obtuvo un coeficiente de correlación de 99,4% ( $r = 0,9937$ ), un coeficiente de sesgo de 0,9639 y un coeficiente de concordancia de 0,9579. En este caso, la raíz del error cuadrado medio fue de 2,14 kg (7,0%).

Acorde con los valores obtenidos para este caso, se observa que la precisión que presentan ambos modelos en su simulación fue muy similar, siendo cercana a la unidad. Sin embargo, se determina que el modelo basado en SCA realiza una simulación más adecuada debido a que posee una mayor exactitud.

Cabe mencionar que, para el set de datos empleados en este caso, ambos modelos tienden a sobreestimar los valores, aumentando la diferencia a medida que aumentan los valores de peso vivo.

En la Figura 8, se presentan los resultados obtenidos por ambos modelos para simular los valores de peso vivo de los corderos criados en confinamiento de los experimentos realizados por Manterola *et al.* (1984) y Rhee *et al.* (2002).



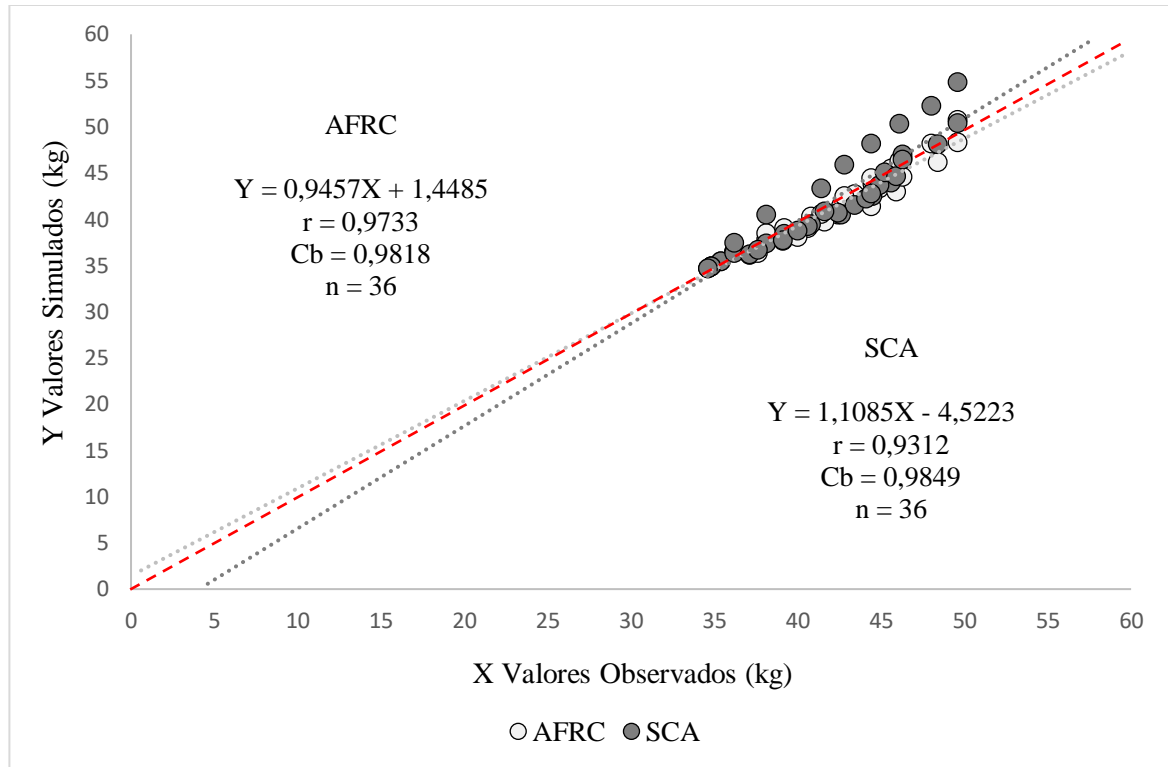
**Figura 8.** Valores observados (X) y simulados (Y) obtenidos con los modelos basados en las ecuaciones propuestas por AFRC (○) y SCA (●), los cuales simulan la evolución del peso vivo de corderos Merino Precoz engordados bajo confinamiento.

Con el modelo basado en AFRC, se obtuvo un coeficiente de correlación de 98,5% ( $r = 0,9948$ ), un coeficiente de sesgo de 0,9898, y un coeficiente de correlación de concordancia de 0,9748. La raíz del error cuadrado medio fue de 3,31 kg (10,53%). A su vez, con el modelo SCA, se obtuvo un coeficiente de correlación de 98,0% ( $r = 0,9803$ ), un coeficiente de sesgo de 0,9903 y un coeficiente de concordancia de 0,9708. En este caso, la raíz del error cuadrado medio fue de 3,17 kg (10,08%).

Acorde con los valores obtenidos para este caso, se observa que la precisión y exactitud que presenta cada uno de los modelos fue similar y se encuentran próximos a la unidad. Por lo anterior, ambos modelos lograron tener un buen ajuste durante la simulación.

Sin embargo, según lo entregado por el coeficiente de concordancia, el modelo basado en el sistema AFRC sería más adecuado para simular este set de datos.

En la Figura 9, se presentan los resultados obtenidos por ambos modelos para simular los valores de peso vivo de los corderos criados en confinamiento durante los ensayos elaborados en Estación Experimental Rinconada de Maipú de la Universidad de Chile (datos no publicados).



**Figura 9.** Valores observados (X) y simulados (Y) obtenidos con los modelos basados en las ecuaciones propuestas por AFRC (○) y SCA (●), los cuales simulan la evolución del peso vivo de corderos Merino Precoz engordados bajo confinamiento.

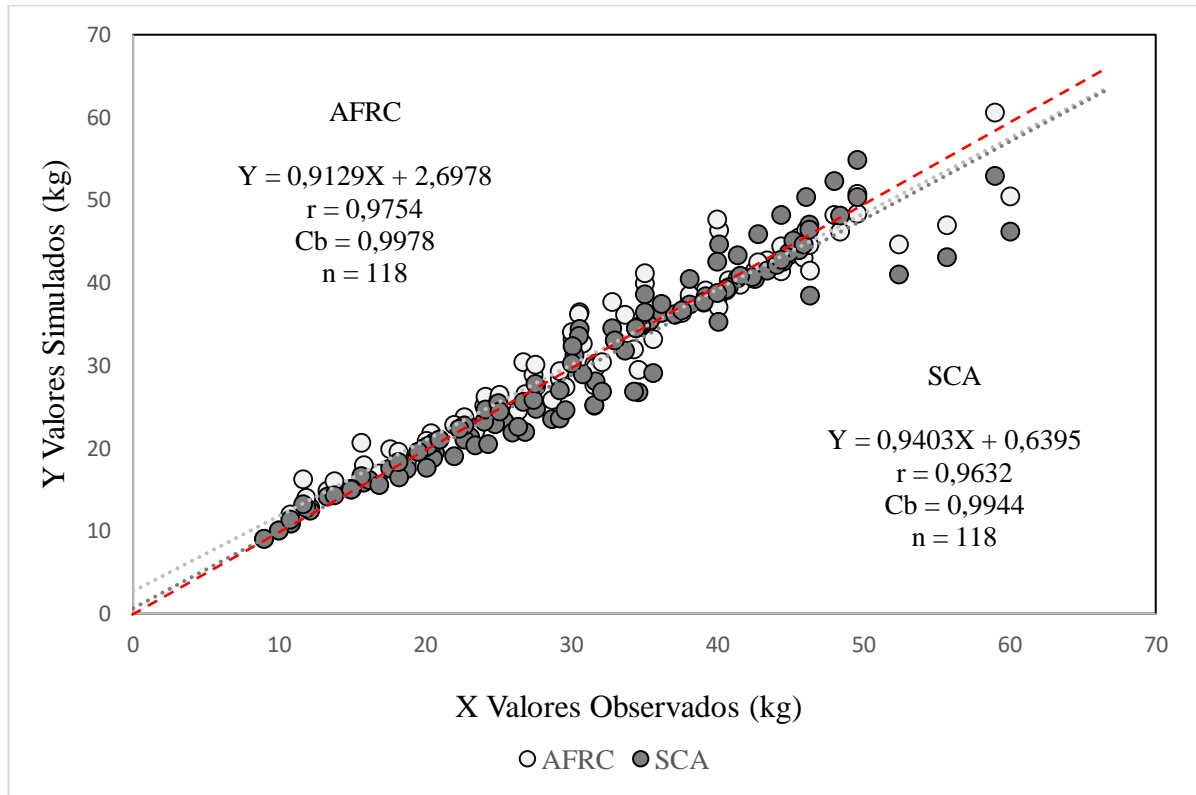
Con el modelo basado en las ecuaciones de AFRC, se obtuvo un coeficiente de correlación de 97,3% ( $r = 0,9733$ ), un coeficiente de sesgo de 0,9818, y un coeficiente de correlación de concordancia de 0,9557. La raíz del error cuadrado medio fue de 1,29 kg (3,09%). A su vez, con el modelo SCA, se obtuvo un coeficiente de correlación de 93,1% ( $r = 0,9312$ ), un coeficiente de sesgo de 0,9849 y un coeficiente de concordancia de 0,9172. En este caso, la raíz del error cuadrado medio fue de 1,95 kg (4,65%).

Acorde con los valores obtenidos para este caso, se observa que la exactitud que presentan ambos modelos en su simulación fue similar, siendo cercana a la unidad. Sin embargo, se determina que el modelo basado en AFRC realiza una simulación más adecuada debido a que posee una precisión mayor.

Cabe mencionar que, para el set de datos empleados, ambos modelos logran realizar un buen ajuste en sus simulaciones, con respecto al aumento de los valores de peso vivo.



Por último, en la Figura 10 se analizó el comportamiento obtenido por ambos modelos, considerando la totalidad de los datos de los ensayos recopilados.



**Figura 10.** Valores observados (X) y simulados (Y) obtenidos con los modelos basados en las ecuaciones propuestas por AFRC (○) y SCA (●), los cuales simulan la evolución del peso vivo de corderos Merino Precoz engordados bajo confinamiento.

Con el modelo basado en las ecuaciones propuestas por AFRC, se obtuvo un coeficiente de correlación de 97,4% ( $r = 0,9754$ ), un coeficiente de sesgo de 0,9978, y un coeficiente de correlación de concordancia de **0,9733**. La raíz del error cuadrado medio fue de 2,62 kg (8,52%). A su vez, con el modelo basado en las ecuaciones propuestas por SCA, se obtuvo un coeficiente de correlación de 96,3% ( $r = 0,9632$ ), un coeficiente de sesgo de 0,9944 y un coeficiente de concordancia de 0,9578. En este caso, la raíz del error cuadrado medio fue de 3,38 kg (10,97%).

Acorde con los valores de los estadígrafos asociados a cada modelo, se determina que la simulación de datos efectuada por el modelo basado en el sistema AFRC fue más precisa, no obstante, su exactitud fue similar.

Sin embargo, y tal como lo sugiere el coeficiente de correlación de concordancia de Lin, el modelo basado en AFRC sería el más adecuado, al obtener una mayor concordancia entre los valores reales y los simulados. A lo anterior se debe sumar el hecho de que con el modelo basado en las ecuaciones propuestas por AFRC, se obtuvo en general un menor valor de RMSE, lo que indicaría una menor cantidad de error entre los valores de pesos vivos observados y simulados (Cuadro 1).

**Cuadro 1.** Valores de los estadísticos utilizados para comparar los modelos AFRC y SCA en la simulación de la evolución de peso vivo de los corderos Merino Precoz alimentados bajo condiciones de confinamiento (n = número de datos; r = coeficiente de correlación de Pearson; Cb = Coeficiente de sesgo; d = Coeficiente de correlación de concordancia; RMSE = Raíz del Cuadrado medio del Error).

Ensayo	n	r		Cb		d		RMSE (%)	
		AFRC	SCA	AFRC	SCA	AFRC	SCA	AFRC	SCA
Muñoz <i>et al.</i> 1987	36	0,9808	0,9837	0,9836	0,8654	0,9648	0,8513	7,88	15,59
Muñoz <i>et al.</i> 1985	9	0,9535	0,9932	0,9815	0,9802	0,9359	0,9736	13,47	8,06
Pérez <i>et al.</i> 1986	15	0,9185	0,8621	0,9829	0,9365	0,9029	0,8074	8,16	10,46
Brand <i>et al.</i> 2017	6	0,9982	0,9918	0,7377	0,4997	0,7365	0,4957	13,89	20,40
Santos <i>et al.</i> 1991	10	0,9981	0,9937	0,8725	0,9639	0,8709	0,9579	13,96	7,00
Manterola <i>et al.</i> 1984; Rhee <i>et al.</i> 2002	6	0,9848	0,9803	0,9898	0,9903	0,9748	0,9708	10,53	10,08
Datos exp. de la U. de Chile	36	0,9733	0,9312	0,9818	0,9849	0,9557	0,9172	3,09	4,65
<b>Todos los ensayos</b>	<b>118</b>	<b>0,9754</b>	<b>0,9632</b>	<b>0,9978</b>	<b>0,9944</b>	<b>0,9733</b>	<b>0,9578</b>	<b>8,52</b>	<b>10,97</b>

De acuerdo con lo anteriormente expuesto y observando los resultados del análisis de la totalidad de los ensayos, el modelo de simulación basado en las ecuaciones propuestas por AFRC simula con mayor precisión y exactitud las ganancias de peso de corderos Merino Precoz obtenidas en ensayos de engordas bajo confinamiento, pese a que este último considera una menor cantidad de ecuaciones y parámetros, en comparación con el modelo basado en el sistema SCA.

A pesar de los resultados obtenidos en este análisis, es importante considerar algunos aspectos que pueden ser relevantes y que pudiesen relativizar esta última conclusión.

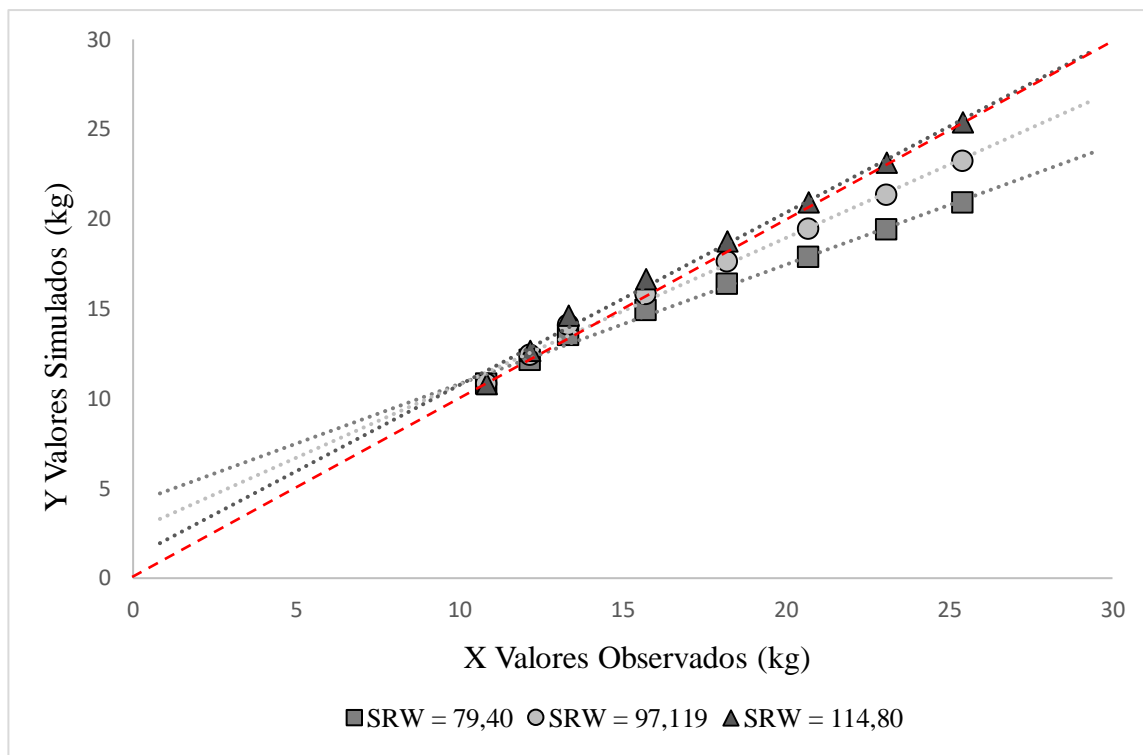
Al respecto, una de las variables que influyen directamente al momento de estimar ganancias de peso vivo, es el consumo de materia seca (Texeira *et. al*, 2011). Esta variable se estimó de distinta manera en cada uno de los modelos elaborados y analizados, dado que estos utilizan distintos parámetros al momento de formular sus ecuaciones.

El modelo basado en las ecuaciones propuestas por AFRC, utiliza la metabolicidad de la energía bruta del alimento como variable al momento de estimar el consumo de materia seca, trabajando bajo el supuesto de que los alimentos contienen una energía bruta de 18,4 MJ kg<sup>-1</sup> (Orlindo, *et al*. 2005). Este valor se ajustó de manera adecuada en la mayoría de los alimentos que se emplearon en las dietas de los animales utilizados en los ensayos de validación.

Por su parte, el modelo basado en SCA considera la digestibilidad de la materia seca y el efecto que tiene la condición corporal del animal durante el consumo. Tal como lo señala Minson (1990), los animales “delgados” consumen más materia seca (por unidad de peso vivo) en comparación a animales “gordos”, lo que tiene relación con el consumo total de materia seca, energía y el crecimiento compensatorio; por lo que es necesario caracterizar los animales a través de una curva de crecimiento normal de acuerdo a la edad de los mismos, aspecto que el modelo basado en AFRC, no considera. Por otra parte, la condición relativa que estima el modelo SCA, y su correspondiente efecto sobre el consumo de materia seca (Ec. 3), se basa en una curva de crecimiento “normal” según la edad de los corderos, la cual se obtuvo con datos de campo, por lo cual cuya precisión y exactitud en su construcción influirá directamente en la estimación del consumo (Arnold y Bennet, 1991).

Uno de los datos más importantes que se obtienen a partir de la curva de crecimiento antes mencionada, corresponde al peso estándar de referencia (SRW). En cada aplicación particular, el SRW (kg) debería basarse en la información local sobre el tipo de animal que se encuentra bajo consideración al momento de realizar las simulaciones (SCA, 2007), ya que el SRW tiene gran importancia al momento de determinar el valor del consumo de materia seca efectuado por los animales. Es por ello que se consideró importante poder evaluar el efecto que tiene este coeficiente sobre el comportamiento del modelo basado en los estándares propuestos por SCA, efectuando un análisis de sensibilidad.

A modo de ejemplificar lo anterior, se seleccionaron las observaciones de peso vivo de corderos obtenidos por Muñoz *et. al* (1987), quienes utilizaron corderos del mismo biotipo y fueron criados bajo similares condiciones de manejo, en comparación a los animales utilizados para estimar la curva de peso normal según edad. Los resultados de este análisis se presentan en la Figura 11, mientras que en el Cuadro 2, se presentan los valores obtenidos en los estadígrafos que determinan la precisión y exactitud de las simulaciones de este ensayo.



**Figura 11.** Valores simulados en el modelo SCA bajo diferentes valores de SRW, con respecto a los valores de peso vivo observados en el tratamiento 1 del ensayo realizado por Muñoz *et al.* (1987). Se presenta el valor determinado en el análisis de la curva de crecimiento (SRW=97,12 ●), un valor menor al determinado (SRW=79,40 ■) y uno mayor (SRW=114,80 ▲).

**Cuadro 2.** Resultados de los estadísticos utilizados para comparar el efecto que tienen distintos valores del peso estándar de referencia en el modelo SCA (SRW = Peso estándar de referencia (kg); r = coeficiente de correlación de Pearson; Cb = Coeficiente de sesgo; d = Coeficiente de correlación de concordancia; RMSE = Raíz del Cuadrado medio del Error).

SRW	r	Cb	d	RMSE (%)
79,40	0,9960	0,8638	0,8604	13,68
97,12	0,9964	0,9734	0,9699	6,52
114,80	0,9921	0,9954	0,9921	3,64

Conforme a los resultados anteriores, se determinó que al utilizar un SRW mayor al que fue utilizado inicialmente (SRW = 97,12 kg), se logró un ajuste más preciso y principalmente exacto al momento de simular los valores obtenidos en el presente ensayo.

Según Cannas *et. al* (2007), SRW corresponde al peso vivo logrado por un animal criado en un ambiente nutricional adecuado, de una determinada raza, edad, sexo y tasa de ganancia de peso; cuando su desarrollo esquelético se completa, lo que en el caso de ovinos se logra aproximadamente a los 18 meses de edad (Squella, 2007). Por lo anterior, es posible que los corderos Merino Precoz utilizados en los ensayos de validación pudiesen haber tenido diferencias con respecto a los utilizados en la elaboración de la curva de crecimiento “normal” utilizada en este estudio (Anexo, Cuadro 3).

Lo anterior indica que el modelo SCA es muy sensible ante las variaciones que presente el valor de SRW y por ello, una inadecuada estimación de la curva de crecimiento para el biotipo de los animales bajo análisis se traduce en inexactitudes.

Con respecto a las discrepancias obtenidas entre los valores simulados y los observados, cuando se utilizó información extranjera (Santos *et al.* 1991; Brand *et al.* 2017), la posible diferencia podría atribuirse a los mismos factores antes mencionados, los cuales, tienen que ver con la adecuada estimación de la curva normal de peso vivo según edad y los efectos de la condición relativa sobre el consumo de materia seca.

## CONCLUSIONES

Acorde con los resultados obtenidos en la presente investigación, el modelo basado en las ecuaciones que propone el sistema AFRC podría ser utilizado con mayor seguridad al momento de predecir la ganancia de peso de los corderos Merino Precoz sometidos a condiciones de estabulación, ya que en sus ecuaciones considera una menor cantidad de parámetros los cuales son sencillos de obtener, en comparación con los que emplea las ecuaciones propuestas por el sistema SCA.

El modelo basado en ecuaciones del sistema SCA, al incorporar más parámetros, y cuyo propósito es un mayor grado de generalidad, se torna muy sensible a los errores que puedan cometerse en el proceso de estimación de dichos parámetros. Lo anterior es especialmente válido en el caso de variables asociadas al consumo de materia seca de los animales, donde el efecto de la condición corporal resulta relevante.

Dado que el modelo basado en las ecuaciones propuestas por SCA es muy sensible ante los valores que pueda tener el coeficiente SRW, la correcta caracterización de la curva de crecimiento de acuerdo a la edad de los animales obtenida bajo condiciones nutricionales adecuadas es un requisito indispensable para lograr un mayor grado de precisión y exactitud en las simulaciones de peso vivo, al utilizar este modelo.

## BIBLIOGRAFÍA

Agricultural and Food Research Council (AFRC). 1993. Energy and protein requirements of ruminants. Wellington. UK. 159 p. Consultado el 15 de agosto del 2018.

Arnold, R.; Bennett, G. 1991. Evaluation of four simulation models of cattle growth and body composition: Comparison and characterization of the models. *Agricultural Systems*. Vol. 35. Consultado el 30 de noviembre de 2019.

Bianchi, G. 2007. Alternativas tecnológicas para la producción de carne ovina de calidad en sistemas pastoriles. Pp. 205-219. Hemisferio sur. Uruguay. Consultado el 8 de agosto del 2018.

Brand, T.; Van der Westhuizen, E.; Van der Merwe, D.; Hoffman, L. 2017. Effect of days in feedlot on growth performance and carcass characteristics of Merino, South African Mutton Merino and Dorper lambs. [En línea]. *South African Journal of Animal Science*. No 1. 8 p. Recuperado en: <  
[https://www.researchgate.net/publication/319242550\\_Effect\\_of\\_days\\_in\\_feedlot\\_on\\_the\\_growth\\_performance\\_and\\_carcass\\_characteristics\\_of\\_Merino\\_South\\_African\\_Mutton\\_Merino\\_and\\_Dorper\\_lambs](https://www.researchgate.net/publication/319242550_Effect_of_days_in_feedlot_on_the_growth_performance_and_carcass_characteristics_of_Merino_South_African_Mutton_Merino_and_Dorper_lambs) >. Consultado el 23 de diciembre del 2018.

Bravo, S.; Romero, O. 2012. Alimentación y nutrición en los ovinos. [En línea]. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. 40 p. Recuperado en: <  
<http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/boletines/NR38521.pdf> >. Consultado el 1 de agosto del 2018.

Cannas, A.; Tedeschi, L.; Atzori, A., Fox, D. 2007. The Small Ruminant Nutrition System: Development and evaluation of a goat submodel. *Italian Journal of Animal Science*. 4 pág. Consultado el 29 de noviembre de 2019.

Castellaro, G.; Klee, G.; Chavarría, J. 2007. Un modelo de simulación de sistemas de engorda de bovinos a pastoreo. [En línea]. *Agricultura Técnica*. Vol 67. No 2. 10 p. Consultado el 20 de octubre de 2019.

Ceballos, D. 2011. Engorde de corderos en condiciones de confinamiento: Una alternativa a considerar en los sistemas intensivos de la Patagonia. [En línea]. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Argentina. 4 p. Recuperado en: <  
[https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta\\_ganaderia41\\_engorde\\_ovino.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_ganaderia41_engorde_ovino.pdf) >. Consultado el 15 de noviembre del 2018

Cortez, H. 2010. Producción estabulada de ovinos de carne y caprinos de leche. [En línea]. Instituto de Capacitación para el Trabajo. Bogotá, Colombia. 144 p. Recuperado en: <

<https://sioc.minagricultura.gov.co/OvinoCaprina/Documentos/005%20-%20Documentos%20T%C3%A9cnicos/Modulo%20Pedagogico.pdf> >. Consultado el 3 de agosto del 2018.

Giraudó, C.; Villagra, E.; Villar, M. 2014. Engorde de ovinos y caprinos a corral. [En línea]. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Río Negro, Argentina. 50 p. Recuperado en: < [https://inta.gov.ar/sites/default/files/script-tmp-inta\\_engorde\\_ovinos.pdf](https://inta.gov.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_engorde_ovinos.pdf) >. Consultado el 30 de agosto del 2018.

González, V.; Tapia, M. 2017. Manual de manejo ovino. [En línea]. Boletín INIA N° 03. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. 154 p. Recuperado en: < <https://www.indap.gob.cl/docs/default-source/default-document-library/manual-ovino-v2.pdf?sfvrsn=0> >. Consultado el 30 de julio del 2018.

González, R. 2008. Análisis para la implementación de un sistema de engorda de corderos bajo confinamiento total en la comuna de Pumanque, VI Región. [En línea]. Memoria Médico Veterinario. Santiago, Chile. Facultad de ciencias Veterinarias y Pecuarias, Universidad de Chile. 99 p. Recuperado en: < <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/131211/An%C3%A1lisis-financiero-para-la-implementaci%C3%B3n-de-un-sistema-de-engorda-de-corderos-bajo-confinamiento-total-en-la-comuna-de-Pumanque%2C-VI-Regi%C3%B3n.pdf?sequence=1> >. Consultado el 18 de agosto del 2018.

G.-S. Xu; T. Ma; S.-K. Ji; K.-D. Deng; Y. Tu; C.-G. Jiang; Q.-Y. Diao. 2015. Energy requirements for maintenance and growth of early-weaned Dorper crossbred male lambs. [En línea]. ELSEVIER. 8 p. Recuperado en: < [https://ac-els-cdn-com.uchile.idm.oclc.org/S1871141315001870/1-s2.0-S1871141315001870-main.pdf?\\_tid=ca8e84c1-6c11-42e7-9c65-87e20b0da86a&acdnat=1534601936\\_f7200a515d4b6b6d89dfa8c19eabf73d](https://ac-els-cdn-com.uchile.idm.oclc.org/S1871141315001870/1-s2.0-S1871141315001870-main.pdf?_tid=ca8e84c1-6c11-42e7-9c65-87e20b0da86a&acdnat=1534601936_f7200a515d4b6b6d89dfa8c19eabf73d) >. Consultado el 19 de agosto del 2018.

INDAP. 2013. Estrategias regionales de competitividad por rubro: Producción y mercado de Ovinos. [En línea]. 8 pág. Recuperado en: < <http://www.indap.gob.cl/docs/default-source/default-document-library/15ovinos-produccion-mercado.pdf?sfvrsn=0> >. Consultado el 15 de julio del 2018.

INIA. 2004. Razas ovinas y caprinas en el Instituto de Investigaciones Agropecuarias. [En línea]. Ministerio de Agricultura. 81 p. Recuperado en: < <http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/boletines/NR32226.pdf> >. Consultado el 30 de agosto del 2018.



Lin, L. 1989. A Concordance Correlation Coefficient to Evaluate Reproducibility. [En línea]. International Biometric Society. Biometrics. Vol 45. No 1. 15 p. Consultado el 15 de octubre de 2019.

Leal, C. 2016. Coeficiente de Correlación de Concordancia bajo la distribución t multivariada. [En línea]. Tesis Doctor en Estadística. Pontificia Universidad Católica de Chile: Facultad de Matemáticas. Recuperado en: < <http://www.mat.uc.cl/archivos/dip/tesis-postgrado/doctorado-eyp/carla-leal.pdf> >. Consultado el 29 de abril de 2019.

Manterola, H.; Muñoz, S.; Merello, P. 1984. Estudios de comportamiento de corderos destetados a distintos pesos y sometidos a diferentes sistemas alimenticios. [En línea]. Universidad de Chile: Facultad de Ciencias Agronómicas. Avances en Producción Animal. Volumen 9. 209 p. Recuperado en: < [http://www.agren.cl/Avances\\_Produccion\\_Animal/VOL.09.pdf](http://www.agren.cl/Avances_Produccion_Animal/VOL.09.pdf) >. Consultado el 16 de noviembre del 2018.

Minson, J. 1990. Forage in Ruminant Nutrition. Academic Press. San Diego. Consultado el 29 de noviembre de 2019.

Muñoz, S.; Manterola, H.; Cathalifaud, C. 1985. Efecto del peso de destete y de la alimentación con concentrado, sobre el comportamiento productivo de corderos Merino Precoz. [En línea]. Universidad de Chile: Facultad de Ciencias Agronómicas. Avances en Producción Animal. Volumen 10. 188 p. Recuperado en: < [http://www.agren.cl/Avances\\_Produccion\\_Animal/VOL.10.pdf](http://www.agren.cl/Avances_Produccion_Animal/VOL.10.pdf) >. Consultado el 2 de noviembre del 2018.

Muñoz, S.; Manterola, H.; Parga, J. 1987. Inclusión de un concentrado iniciador en la alimentación de corderos destetados precozmente y criados en confinamiento. [En línea]. Universidad de Chile: Facultad de Ciencias Agronómicas. Avances en Producción Animal. Volumen 12. 210 p. Recuperado en: < [http://www.agren.cl/Avances\\_Produccion\\_Animal/VOL.12.pdf](http://www.agren.cl/Avances_Produccion_Animal/VOL.12.pdf) >. Consultado el 27 de octubre del 2018.

ODEPA. 2012. Mercados Agropecuarios. [En línea]. Ministerio de Agricultura. 20 p. Recuperado en: < <https://www.odepa.gob.cl/odepaweb/servicios-informacion/Mercados/sep-12.pdf> >. Consultado el 15 de noviembre del 2018.

ODEPA. 2013. Mercado de la carne y lana ovina en Chile. [En línea]. Universidad de Concepción. 131 p. Recuperado en: < <https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2014/04/mercadoCarneLanaOvina.pdf> >. Consultado el 15 de julio del 2018.

Orlindo, L.; Fox, D.; Sainz, R.; Barioni, L.; Raposo de Medeiros, S.; Boin, C. 2005. Mathematical models in ruminant nutrition. [En línea]. Scientia Agricola. Recuperado en: <

[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-90162005000100015](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-90162005000100015)>.  
Consultado el 30 de noviembre de 2019.

Rhee, K.S.; Lupton, C.; Zirpin, Y.; Rhee, K.C. 2002. Carcass traits of Rambouillet and Merino x Rambouillet lambs and fatty acid profiles of muscle and subcutaneous adipose tissues as affected by new sheep production system. [En línea]. Elsevier: Meat Science. Vol 65. 7 p. Recuperado en: Web of Science, a través del portal de la Universidad de Chile. Consultado el 23 de diciembre del 2018.

Rodríguez, D.; Pérez, P.; López, A. 1986. Alternativas de alimentación para el periodo crecimiento engorda de corderos nacidos tardíamente en la temporada. [En línea]. Universidad de Chile: Facultad de Veterinaria. Avances en Ciencias Veterinarias. Volumen 1. 7 p. Recuperado en: < <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/122576> >. Consultado el 16 de noviembre del 2018.

Santos, J.; Vaz, A. 1991. Contribution to the study of body development in Merino Precoce lambs, subject to two diets. [En línea]. Estação Zootécnica Nacional: Vale de Santarém. Portugal. Recuperado en: < <http://www.lrrd.org/lrrd3/2/portugal.htm> >. Consultado el 23 de abril del 2019.

Shannon, E. 1988. Simulación de sistemas. Diseño, desarrollo e implantación. 427 p. Editorial Trillas, México DF. Consultado el 20 de diciembre del 2018.

Squella, F. 2007. Técnicas de producción Ovina para el Secano Mediterráneo de la VI región. [En línea]. Boletín INIA N° 166. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. 148 p. Recuperado en: < <http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/boletines/NR34672.pdf> >. Consultado el 1 de agosto del 2018.

Standing Committee On Agriculture, Ruminants Subcommittee (SCA). 2007. Nutrient Requirement of Domesticated Ruminants. CSIRO Publications. Melbourne, Australia. 296 p. Consultado el 15 de agosto del 2018.

Steel, R.G.D.; J.H. Torrie. 1988. Bioestadística. Principios y procedimientos. [En línea]. McGraw-Hill, New York, USA. 622 p. Recuperado en: < <https://clea.edu.mx/biblioteca/Steel%20Robert%20G%20-%20Bioestadistica%20Principios%20Y%20Procedimientos%20ed.pdf> >. Consultado el 30 de agosto del 2018.

Texeira, I.; St-Pierre, N.; Resende, K.; Cannas, A.; 2011. Prediction of intake and average daily gain by different feeding systems for goats. [En línea]. Small Ruminants Research. Elsevier. 5 pág. Consultado el 30 de noviembre de 2019.

## ANEXO I

### ECUACIÓN QUE ESTIMA EL PESO VIVO SEGÚN LA EDAD

Se calculó una curva de crecimiento, la cual tiene como variable dependiente al peso vivo de los animales según sexo, y como variable independiente la edad en meses. La ecuación utilizada corresponde a la curva de crecimiento de Brody (1945) (SCA, 2007):

$$WN = SRW - (SRW - W_{nac}) \cdot e^{-k \cdot t \cdot SRW^{-a}} \quad (\text{Ec. 18})$$

Donde:

SRW: Peso vivo estándar a la madurez (kg)

$W_{nac}$ : Peso promedio al nacimiento (kg)

t: Edad de los animales (meses)

k: Coeficiente de ajuste que refleja la velocidad relativa de crecimiento de la especie animal

a: Exponente propio de la especie animal.

Para realizar el ajuste de esta ecuación, se utilizaron los datos de peso vivo y edad de 326 corderos Merino precoz, información que fue obtenida de la Estación Experimental Rinconada de Maipú. Para llevar a cabo lo anterior, se aplicó un procedimiento de regresión no lineal utilizando el peso promedio al nacimiento obtenido de los registros anteriores, y un valor de 0,27 para el coeficiente “a”, propio de la especie ovina según lo citado por SCA (2007). Los resultados de este procedimiento se presentan en el Cuadro 3.

**Cuadro 3.** Coeficientes de la ecuación que define el peso vivo según la edad de ovinos, para los corderos estudiados.

Coeficientes	Valores	Método de Obtención
SRW (kg)	97,12	Valor que minimiza la suma total de las diferencias entre el peso vivo real con el peso vivo estimado.
$W_{nac}$ (kg)	5,047	Promedio de los valores de peso vivo al nacimiento, obtenido de registros experimentales.
k	0,289	Valor que minimiza la suma total de las diferencias entre el peso vivo real con el peso vivo estimado.
a	0,27	Valor específico para ovinos (SCA, 2007).

Los valores  $W_{nac}$  y  $k$  obtenidos a partir de la regresión no lineal de los datos de los corderos, se sometieron a análisis estadísticos, los cuales se detallan en los Cuadros 4 y 5:

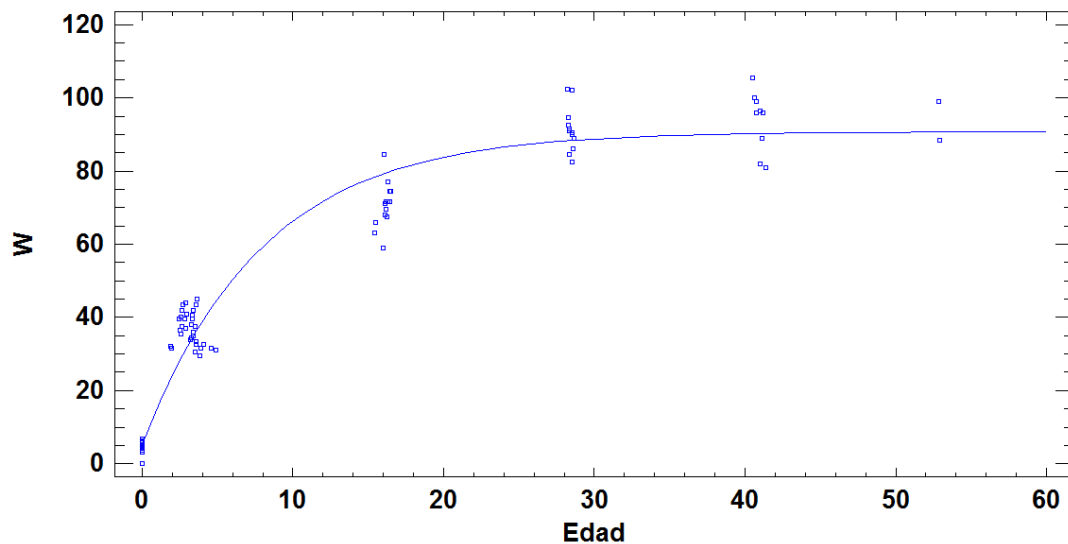
**Cuadro 4.** Análisis estadístico de los valores obtenidos para los coeficientes  $W_{nac}$  (kg) y  $k$  del modelo de crecimiento de Brody.

Parámetro	Estimado	Error Estándar	Límite Inferior	Límite Superior
$W_{nac}$	90.7553	1.54067	87.7015	93.8092
$k$	0.4233	0.0231506	0.377412	0.469189

**Cuadro 5.** Análisis de varianza obtenido para el ajuste de la curva de crecimiento de Brody.

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medio
Modelo	311919	2	155959.
Residuo	5067.95	108	46.9255
Total	316987	110	
Total (Corr.)	126364	109	

El modelo de Brody explico en un 95,95% ( $R^2$  ajustado = 0,9595) la variabilidad observada en la evolución del peso vivo ( $W$ , kg), según la edad de los ovinos ( $t$ , meses) (Figura 12). El error estándar de la estimación fue de 6,85 kg.



**Figura 12.** Peso vivo normal según la edad para los corderos machos de la raza Merino precoz utilizados en este estudio.

## ANEXO II

### DATOS DE LOS PESOS VIVOS UTILIZADOS, SEGÚN ENSAYO

1) Inclusión de un concentrado iniciador en la alimentación de corderos destetados precozmente y criados en confinamiento (Muñoz *et al.* 1987):

**Cuadro 6.** Aumentos diarios de peso (g) durante el periodo experimental.

Semanas post-destete	T1	T2	T3	T4
1	17	110	40	110
2	100	160	124	190
3	190	270	370	270
4	168	290	260	270
5	340	260	410	340
6	357	390	360	370
7	354	330	390	330
8	343	300	420	340
9	331	400	430	400

A través de las ganancias de peso diario promedio por semana, podemos estimar los pesos vivos de los corderos. Esto se logra gracias a que se cuenta con el peso al destete y la edad de los corderos en cada tratamiento. De la misma manera, considerando el peso al destete de los corderos, podemos estimar la edad final de ellos.

2) Efecto del peso de destete y de la alimentación con concentrado sobre el comportamiento productivo de corderos Merino precoz (Muñoz *et al.* 1985):

**Cuadro 7.** Ganancias de peso (g) por día de corderos destetados precozmente.

Tratamiento	17-44 días	44-61 días	61-100 días	0-100 días
T1	99	227	287	222
T2	-	188	283	255
T3	-	-	299	262
T4	216	227	319	269

A través de las ganancias de peso diario promedio por periodo, podemos estimar los pesos vivos de los corderos. Esto se logra gracias a que se cuenta con el peso y la edad al destete. Debido a la edad en que iniciaron el ensayo, los tratamientos T2 y T3 no cuentan con datos de ganancia de peso durante ciertos periodos de medición.

3) Alternativas de alimentación para el periodo crecimiento engorda de corderos nacidos tardíamente en la temporada (Pérez *et al.* 1986):

**Cuadro 8.** Promedio de ganancia de peso diaria (kg), según tratamiento y días de ensayo.

Tratamiento	1 día	2-18 días	19-32 días	33-47 días	48-61 días
T1	0,259	0,321	0,230	0,168	0,251
T2	0,153	0,214	0,240	0,225	0,209
T3	0,121	0,175	0,243	0,179	0,183
T4	0,103	0,139	0,183	0,079	0,133
T5	0,121	0,118	0,167	0,061	0,122

Al tener la edad al inicio del ensayo, podemos estimar la edad de los animales según el periodo de medición.

4) Effect of days in feedlot on growth performance and carcass characteristics of Merino, South African Mutton Merino and Dorper lambs (Brand *et al.* 2017):

Debido a que el ensayo tiene por tratamiento a distintas razas, solo será considerada la raza Merino. Conociendo sus pesos iniciales y la ganancia diaria de peso promedio por periodo de medición, podemos estimar los pesos vivos en cada tramo del periodo.

**Cuadro 9.** Ganancia de peso (kg) diario promedio de corderos Merino.

Days	ADG (kg/d)
0	-
21	0,337
42	0,298
63	0,291
77	0,234
98	0,206

5) Contribution to the study of body development in Merino Precoce lambs, subject to two diets (Santos *et al.* 1991):

**Cuadro 10.** Ecuaciones de regresión del peso vivo para los dos grupos de corderos.

Grupo 1	Grupo 2
$y = 22,716 + 0,176x$	$y = 22,344 + 0,131x$

Donde tenemos:

X = Día de engorda bajo confinamiento.

Y = Peso vivo (kg).

6) Estudios de comportamiento de corderos destetados a distintos pesos y sometidos a diferentes sistemas de alimentación (Manterola *et al.* 1984):

**Cuadro 11.** Variación de peso vivo (kg) de los corderos.

Parámetros	Tratamiento 1		Tratamiento 2		Tratamiento 3		Tratamiento 4	
	M	H	M	H	M	H	M	H
Peso inicial	14,93	14,55	19,55	20,05	19,89	19,3	14,98	14,9
Peso final	30,88	29,01	30,5	30,7	31,59	31,07	30,56	30,07
Incremento peso	0,237	0,206	0,211	0,202	0,186	0,178	0,26	0,24
Días destete-término	66,5	68,5	52,9	49,8	63	66,5	60,4	63,1
Días nacimiento-destete	43	45	53	50	53	50	53,6	51
Días totales	109,5	113,6	105,9	99,8	116	116,5	114	114

La información entregada en este ensayo nos permite conseguir solo datos de edad en los periodos establecidos del ensayo, ya que solo nos entregan los datos iniciales y finales de peso vivo. Cabe destacar, que las hembras de este estudio no serán incluidas en la simulación de los modelos matemáticos.

7) Carcass traits of Rambouillet and Merino x Rambouillet lambs and fatty acid profiles of muscle and subcutaneous adipose tissues as affected by new sheep production system (Rhee *et al.* 2002):

**Cuadro 12.** Peso inicial hasta el momento de faena según tratamiento y raza.

Treatment	Initial weight (kg)	Days to slaughter
P	34,06	220
FL	34,47	134
RF	34,97	206

Raza	Initial weight (kg)	Days to slaughter
Merino cross	34,56	186
Rambouillet	34,43	188

Conociendo los días de faena (o término del ensayo) podemos estimar las edades de los animales según tratamiento y raza. Si los pesos finales fueron de 59 kg, podemos estimar el peso que se obtuvo según el periodo de medición.

8) Datos obtenidos de la Estación Experimental Rinconada de Maipú de la U. de Chile:

**Cuadro 13.** Pesos promedios de los corderos según tratamiento, por día de medición.

<b>Días</b>	<b>Trat. 1 (kg)</b>	<b>Trat. 2 (kg)</b>	<b>Trat. 3 (kg)</b>	<b>Trat. 4 (kg)</b>
0	35,4	34,8	34,8	34,6
7	36,2	37,1	37,6	36,2
14	38,1	39,1	40,0	38,1
21	39,2	40,6	41,6	41,4
28	40,8	42,4	44,4	42,8
35	42,6	44,1	45,9	44,4
42	43,4	44,9	46,3	46,1
49	44,5	45,2	48,4	48,0
59	45,6	46,3	49,6	49,6

Se tomaron los valores de peso promedios de los animales pertenecientes a cada tratamiento según la fecha de medición. Al conocer la edad inicial y la constancia de las mediciones, es factible utilizar estos datos para la simulación de los modelos matemáticos.

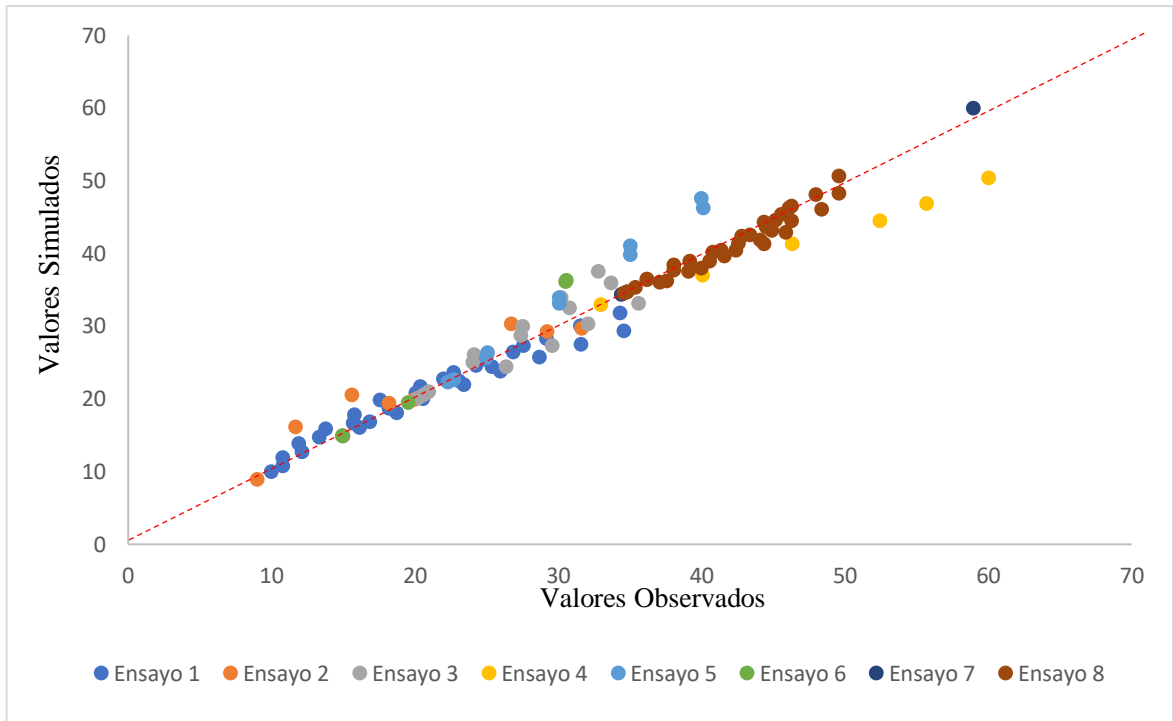


### ANEXO III

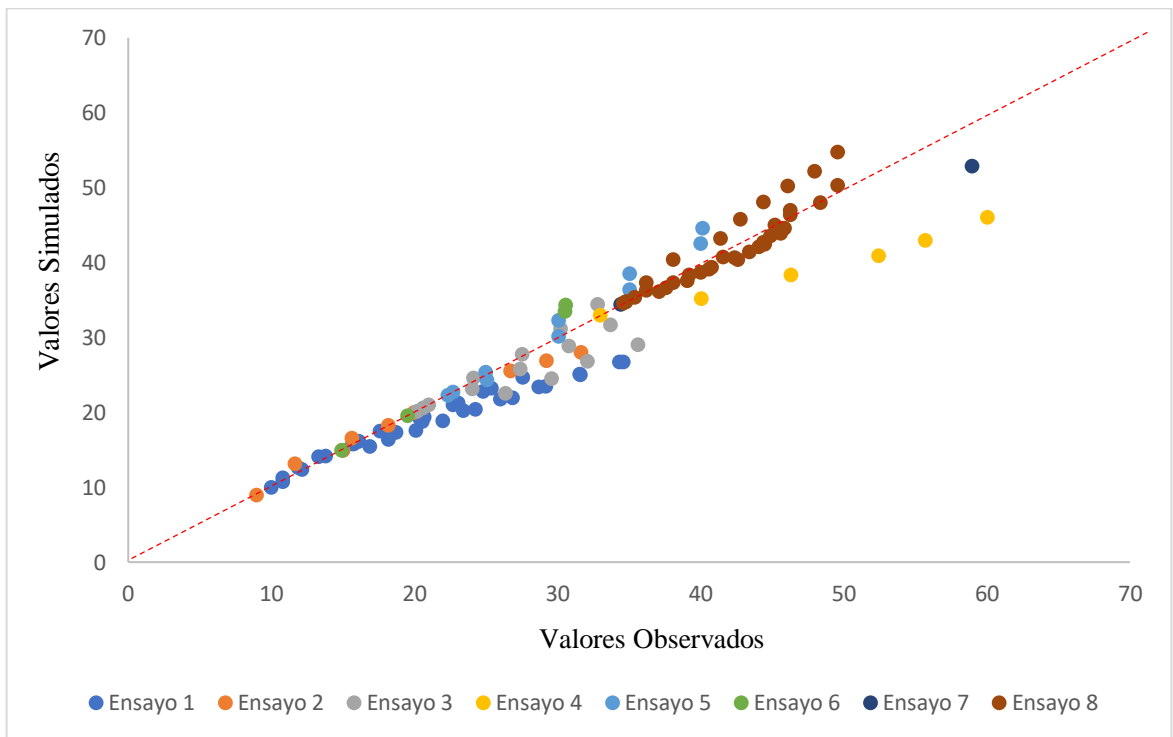
#### DATOS ESTADÍSTICOS COMPLEMENTARIOS

**Cuadro 14.** Ecuaciones lineales y valores del  $R^2$  para los modelos AFRC y SCA, según los tratamientos de cada ensayo empleado.

Tratamiento por Ensayo	n	Ecuación Lineal		$R^2$	
		AFRC	SCA	AFRC	SCA
T1 / Ensayo 1	8	$y = 0,892x + 2,141$	$y = 0,815x + 2,628$	0,9865	0,9928
T2 / Ensayo 1	10	$y = 0,944x + 2,229$	$y = 0,808x + 2,744$	0,9800	0,9935
T3 / Ensayo 1	8	$y = 0,718x + 4,927$	$y = 0,580x + 6,725$	0,9955	0,9992
T4 / Ensayo 1	10	$y = 0,868x + 2,892$	$y = 0,634x + 5,002$	0,9882	0,9976
T1 / Ensayo 2	4	$y = 1,112x + 1,501$	$y = 0,896x + 1,955$	0,9458	0,9858
T2 / Ensayo 2	3	$y = 0,974x + 0,984$	$y = 0,826x + 2,873$	0,9908	0,9974
T3 / Ensayo 2	2	$y = 0,837x + 3,259$	$y = 0,691x + 6,175$	1,00	1,00
T1 / Ensayo 3	5	$y = 0,853x + 2,566$	$y = 0,575x + 8,104$	0,9895	0,9642
T2 / Ensayo 3	5	$y = 1,161x - 3,078$	$y = 0,851x + 2,753$	0,9993	0,9971
T3 / Ensayo 3	5	$y = 1,381x - 7,733$	$y = 1,124x - 2,719$	0,9974	0,9967
T1 / Ensayo 4	6	$y = 0,633x + 11,85$	$y = 0,479x + 16,48$	0,9965	0,9837
T1 / Ensayo 5	5	$y = 1,367x + 8,293$	$y = 1,269x - 6,133$	0,9993	0,9994
T2 / Ensayo 5	5	$y = 1,439x - 9,633$	$y = 1,162x - 4,330$	0,9992	0,9963
T1 / Ensayo 6	2	$y = 1,369x - 5,517$	$y = 1,243x - 3,637$	1,00	1,00
T2 / Ensayo 6	2	$y = 1,513x - 10,03$	$y = 1,270x - 5,292$	1,00	1,00
T1 / Ensayo 7	2	$y = 1,062x - 2,158$	$y = 0,751x + 8,547$	1,00	1,00
T1 / Ensayo 8	9	$y = 0,924x + 2,680$	$y = 0,783x + 7,618$	0,9893	0,9873
T2 / Ensayo 8	9	$y = 0,973x - 0,036$	$y = 1,012x - 1,443$	0,9531	0,9530
T3 / Ensayo 8	9	$y = 0,895x + 2,665$	$y = 1,041x - 2,391$	0,9714	0,9795
T4 / Ensayo 8	9	$y = 1,032x - 1,314$	$y = 1,305x - 10,08$	0,9911	0,9957



**Figura 13.** Valores de peso vivo simulados por el sistema AFRC, según ensayo empleado.



**Figura 14.** Valores de peso vivo simulados por el sistema SCA, según ensayo empleado.