

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**GENERACIÓN DE UNA BASE DE DATOS DE LA RAZA ANGUS PARA LA  
GENERACIÓN DE UNA APP DE CONDICIÓN CORPORAL**

**por**

**Mauricio GRIECO MACHIÑENA  
Francisco Agustín IZCUA CABALLERO**

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

**PAYSANDÚ**

**URUGUAY**

**2026**

Este Trabajo Final de Grado se distribuye bajo licencia  
"Creative Commons **Reconocimiento – No Comercial – Sin Obra Derivada**".



**PÁGINA DE APROBACIÓN**

Trabajo final de grado aprobado por:

Director/a:

---

Ing. Agr. (Dra.) Ana Carolina Espasandin

Codirector/a:

---

Ing. (Mag.) Leoncio Rios

Tribunal:

---

Ing. Agr. (Dra.) Ana Carolina Espasandin

---

Ing. Agr. (Mag.) Andrea Larracharte

---

Ing. Nicolás Pérez

Fecha:

10 de abril de 2026

Estudiante:

---

Mauricio Grieco Machiñena

---

Francisco Agustin Izcua Caballero

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos a la Facultad de Agronomía de la Universidad de la República por brindarnos la oportunidad de formarnos académicamente y por estos años de aprendizaje.

A nuestra tutora, Ing. Agr. PhD. Ana Carolina Espasandín, por compartir con nosotros su conocimiento y experiencia, así como por su apoyo, dedicación y orientación a lo largo del desarrollo de este trabajo.

Al ingeniero Leoncio Ríos, por su tiempo, compromiso y valioso aporte técnico, siendo un eslabón clave para la concreción del presente Trabajo Final de Grado.

Finalmente, agradecemos a nuestras familias y amigos por el apoyo constante y el aliento brindado a lo largo de toda nuestra carrera. Su confianza en nosotros fue un pilar fundamental para alcanzar este objetivo.

## TABLA DE CONTENIDO

PÁGINA DE APROBACIÓN.....	3
AGRADECIMIENTOS.....	4
LISTA DE TABLAS Y FIGURAS .....	6
RESUMEN.....	7
ABSTRACT.....	8
1 INTRODUCCIÓN .....	9
1.1 Objetivo general .....	10
1.2 Objetivos específicos.....	10
2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	11
2.1 Definición de condición corporal .....	11
2.2 Descripción de condición corporal .....	11
2.3 Etapas de clasificación durante el ciclo de cría.....	13
2.4 Condición corporal y peso vivo .....	13
2.5 Condición corporal y comportamiento reproductivo .....	14
2.6 Propuesta de manejo del rodeo de cría .....	15
2.7 Destete precoz .....	17
2.8 Uso de IA (Inteligencia Artificial) para la interpretación de imágenes.....	18
2.9 Digitalización del agro .....	18
3 MATERIALES Y MÉTODOS .....	21
3.1 Lugar de estudio.....	21
3.2 Animales .....	21
3.3 Procedimiento de campo.....	21
3.4 Procesamiento de datos.....	22
3.5 Escalas de referencia para la clasificación .....	23
3.6 Procesamiento y análisis de los registros .....	23
4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	25
5 SINTESIS Y CONCLUSIONES.....	35
6 BIBLIOGRAFÍA .....	36
7 ANEXO .....	39

## LISTA DE TABLAS Y FIGURAS

<b>Tabla 1</b> Equivalencia de puntaje o condición corporal con peso vivo.....	14
<b>Tabla 2</b> Porcentaje de preñez esperada según puntos de Condición corporal.....	15
<b>Tabla 3</b> Efecto de la aplicación del destete precoz en vacas sobre el porcentaje de preñez.....	17
<b>Tabla 4</b> Estadísticos descriptivos de la condición corporal evaluada a campo.....	26
<b>Tabla 5</b> Estadísticos descriptivos de la condición corporal estimada por cada evaluador en escritorio.....	28
<b>Tabla 6</b> Análisis de varianza de Ana.....	29
<b>Tabla 7</b> Estimadores de parámetros.....	29
<b>Tabla 8</b> Análisis de varianza de Mauricio.....	30
<b>Tabla 9</b> Estimadores de parámetros.....	30
<b>Tabla 10</b> Análisis de varianza de Francisco.....	30
<b>Tabla 11</b> Estimadores de parámetros.....	30
<b>Tabla 12</b> Análisis de varianza de todos los observadores.....	31
<b>Tabla 13</b> Coeficientes de correlación de Pearson entre la evaluación a campo y por evaluador.....	33
<b>Figura 1</b> Escala de condición corporal en Aberdeen Angus .....	12
<b>Figura 2</b> Duración del anestro postparto según condición corporal y alimentación postparto .....	15
<b>Figura 3</b> Manejo recomendado del rodeo de cría según condición corporal a lo largo del año .....	16
<b>Figura 4</b> Imágenes del procedimiento y condiciones de toma de fotografías.....	22
<b>Figura 5</b> Distribución del número de vacas según condición corporal estimada por los tres evaluadores en conjunto .....	25
<b>Figura 6</b> Distribución del número de vacas según condición corporal estimada por Ana .....	27
<b>Figura 7</b> Distribución del número de vacas según condición corporal estimada por Mauricio .....	27
<b>Figura 8</b> Distribución del número de vacas según condición corporal estimada por Francisco .....	28

## RESUMEN

La ganadería bovina es uno de los principales rubros productivos del Uruguay y su eficiencia depende, en gran medida, del desempeño reproductivo de los rodeos de cría. En este contexto, la condición corporal (CC) es una herramienta fundamental para evaluar el estado nutricional de las vacas y anticipar su respuesta reproductiva, especialmente en el período posparto. Sin embargo, su estimación visual presenta un componente subjetivo, ya que depende de la experiencia del evaluador y de la correcta aplicación de los criterios técnicos. En el marco del proceso de digitalización del agro, el desarrollo de herramientas basadas en inteligencia artificial representa una oportunidad para estandarizar y automatizar este tipo de evaluación. El objetivo general de este Trabajo Final de Grado fue generar una base de datos de imágenes de vacas de cría correctamente clasificadas por condición corporal, que sirva como insumo para el desarrollo de una aplicación capaz de estimar automáticamente este indicador mediante modelos de inteligencia artificial. Como objetivos específicos se planteó diseñar una metodología adecuada para la toma de imágenes y construir una base de datos representativa de los diferentes puntajes de condición corporal. El estudio se llevó a cabo en octubre de 2025 en el establecimiento "Las Nazarenas", ubicado en el departamento de Flores, Uruguay. Se trabajó con 140 vacas multíparas de razas Aberdeen Angus y Red Angus, todas con ternero al pie. Cada animal fue fotografiado individualmente desde una vista posterior estandarizada y clasificado por condición corporal por apreciación visual en el momento del trabajo de campo por tres evaluadores. Posteriormente, las imágenes fueron reclasificadas en una instancia independiente de escritorio. Los datos obtenidos fueron analizados mediante estadísticos descriptivos, análisis de varianza (ANOVA), modelos de regresión lineal simple y coeficientes de correlación de Pearson, utilizando el software SAS. La condición corporal promedio determinada a campo fue de 3,42 (desvío estándar =  $\pm 0,66$ ), con un rango entre 2 y 5,5, lo que evidenció una variabilidad adecuada para la generación de la base de datos. Los modelos de regresión fueron altamente significativos ( $p < 0,0001$ ) para los tres evaluadores, con coeficientes de determinación de 0,83, 0,72 y 0,67. El análisis de varianza mostró diferencias significativas entre observadores ( $F = 10,66$ ;  $p < 0,0001$ ), aunque el efecto del evaluador explicó solo el 4,9 % de la variabilidad total observada. Asimismo, las correlaciones entre la evaluación a campo y la realizada a partir de imágenes fueron altas ( $r = 0,82-0,91$ ), lo que indica una fuerte asociación entre ambas mediciones. Se concluye que la estimación de la condición corporal mediante imágenes constituye una herramienta técnicamente viable y estadísticamente validada. La base de datos generada representa un aporte relevante para el desarrollo de aplicaciones basadas en inteligencia artificial, con potencial para mejorar la objetividad, la repetibilidad y la eficiencia en la evaluación del estado corporal en sistemas ganaderos de cría.

*Palabras clave:* condición corporal, vacas de cría, inteligencia artificial

## ABSTRACT

Cattle farming is one of Uruguay's main productive sectors, and its efficiency depends largely on the reproductive performance of breeding herds. In this context, body condition score (BCS) is a fundamental tool for assessing the nutritional status of cows and predicting their reproductive response, especially in the postpartum period. However, visual estimation of BCS is subjective, as it depends on the evaluator's experience and the correct application of technical criteria. Within the framework of the agricultural digitalization, the development of tools based on artificial intelligence represents an opportunity to standardize and automate this type of assessment. The overall objective of this study was to generate a database of images of breeding cows correctly classified by body condition, which would serve as input for the development of an application capable of automatically estimating this indicator using artificial intelligence models. The specific objectives were to design an appropriate methodology for image capture and to build a database representative of the different body condition scores. The study was carried out in October 2025 at the "Las Nazarenas" farm, located in the department of Flores, Uruguay. The study involved 140 multiparous cows of the Aberdeen Angus and Red Angus breeds, all with calves at foot. Each animal was photographed individually from a standardized rear view and classified by body condition through visual assessment at the time of fieldwork by three evaluators. Subsequently, the images were reclassified in an independent desktop instance. The data obtained were analyzed using descriptive statistics, analysis of variance (ANOVA), simple linear regression models, and Pearson correlation coefficients, using SAS software (V9.4). The average body condition score determined in the field was  $3.42 \pm 0.66$ , with a range between 2 and 5.5, which showed adequate variability for the generation of the database. The regression models were highly significant ( $p < 0.0001$ ) for all three evaluators, with coefficients of determination of 0.83, 0.72, and 0.67. The analysis of variance showed significant differences between observers ( $F = 10.66$ ;  $p < 0.0001$ ), although the evaluator effect explained only 4.9% of the total variability observed. Likewise, the correlations between the field assessment and the assessment based on images were high ( $r = 0.82$ – $0.91$ ), indicating a strong association between the two measurements. It is concluded that the estimation of body condition using images is a technically viable and statistically validated tool. The database generated represents a significant contribution to the development of artificial intelligence-based applications, with the potential to improve objectivity, repeatability, and efficiency in the assessment of body condition in livestock breeding systems.

*Keywords:* body condition, beef cattle, artificial intelligence

## 1 INTRODUCCIÓN

En Uruguay, la ganadería constituye uno de los rubros más importantes del país. Representa un porcentaje significativo del Producto Bruto Interno (PBI) y ocupa una gran superficie: en 2011, aproximadamente 13,4 millones de hectáreas estaban destinadas a la producción ganadera (carne, lana y leche), lo que equivalía al 81,9 % del área agropecuaria nacional, según datos de Oficina de Estadísticas Agropecuarias (2015).

Dentro de este sector, la cría bovina representa una actividad clave, ya que constituye el primer eslabón de la cadena cárnica. Es la responsable de proveer los animales de reposición y los destinados a la etapa de engorde, además de representar una fuente de ingresos de gran relevancia para numerosos productores.

El rendimiento total de la producción de carne en Uruguay está estrechamente vinculado a la eficiencia reproductiva de los rodeos de cría, la cual depende del cumplimiento adecuado de los requerimientos energéticos de la vaca durante las etapas clave del ciclo reproductivo como indican Vizcarra et al. (1986).

Sin embargo, en Uruguay esta actividad enfrenta un problema estructural: su baja eficiencia reproductiva, las tasas de procreo se sitúan en torno al 60 % (Gorga & Piegas, 2024). Según Soca y Simeone (1998), el reducido porcentaje de destete que caracteriza la ganadería nacional, se debe a que el pobre estado nutricional de las vacas al parto e inicio de entore determina un largo período de anestro postparto y baja probabilidad de preñez.

Está demostrado que mejorar el estado nutricional de los animales al parto contribuye a aumentar las tasas de procreos. Una de las herramientas desarrolladas para abordar esta problemática y gestionar adecuadamente los rodeos de cría es la evaluación de la condición corporal. Evans (1978, como se cita en Espasandin & Pérez, 2015) menciona que la condición corporal es una herramienta de evaluación subjetiva utilizada para estimar el estado nutricional de las vacas, observando visualmente la cantidad de grasa acumulada en relación con el tamaño del animal.

Dentro de las diversas escalas de condición corporal que existen a nivel mundial para medir la condición corporal del rodeo, en Uruguay la escala más utilizada es de 1 a 8. El grado de condición corporal 1 refiere a una vaca extremadamente flaca y 8 a una muy gorda. La clasificación de cada grado se basa en la observación de partes claves del animal y es una medición subjetiva, según Vizcarra et al. (1986).

Ante estas limitaciones, el uso de la inteligencia artificial abre nuevas posibilidades para automatizar y simplificar procesos de diagnóstico en campo. Este trabajo se enmarca en un proyecto interdisciplinario que busca desarrollar una aplicación capaz de estimar de forma automática la condición corporal de vacas de cría a partir de imágenes o videos.

El presente trabajo final de grado se enfoca específicamente en la generación del insumo técnico para ese desarrollo: la recopilación, clasificación y validación de un

conjunto de imágenes representativas de vacas en distintas condiciones corporales, siguiendo los criterios de la cartilla de condición corporal.

### 1.1 Objetivo general

El objetivo de este trabajo final de grado es generar una base de datos a través de la recolección y categorización de imágenes de vacas, con su respectiva condición corporal asignada, con el fin de ser usada como insumo para el desarrollo de una aplicación que, utilizando modelos de inteligencia artificial, estime de manera automática la condición corporal de bovinos.

### 1.2 Objetivos específicos

- Diseñar una metodología de toma de imágenes de vacas que permita capturar adecuadamente las características visuales relevantes para la evaluación de la condición corporal.
- Generar una base de datos clasificada de imágenes, abarcando los diferentes puntajes de condición corporal definidos por la cartilla.

## 2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Definición de condición corporal

El tema principal de esta investigación es la condición corporal y por esto se debe profundizar y comprender su definición.

La condición corporal (CC) expresa el estado nutricional del animal, a partir de la observación de determinados puntos de su estructura muscular y de la deposición de grasa de cobertura. Esta condición corporal no está asociada al peso ni al tamaño (frame) del animal, sino que está relacionado a la cantidad de grasa que un animal carga como reserva corporal (Saravia et al., 2011, p. 17).

Utilizando esto se creó una escala visual que se describe a continuación.

### 2.2 Descripción de condición corporal

Se creó esta escala con el objetivo de unificar criterios de clasificación y poder comparar animales de un mismo o diferente predio, sin importar el tiempo y que sea universal, cualquiera puede utilizarla. La escala de condición corporal que se utiliza en Uruguay es la validada por Vizcarra et al. (1986), la misma está compuesta por 8 puntajes en función de los distintos estados de condición corporal, esta va en ascendencia teniendo el valor 1 como una descripción para una vaca extremadamente flaca y 8 para una muy gorda.

Los puntos a observar para asignar los valores son las costillas, columna vertebral, cadera, área de inserción de la cola, pelvis y gemelos.

En los predios los niveles más comunes son del grado 2 al 6, estos tienen como característica.

Grado 2 Muy flaca – Según Taranto (2021, p. 7), “Área que rodea la inserción de la cola muy hundida. Columna, costillas, cadera y pelvis muy prominentes. Sin grasa subcutánea y con escasa masa muscular. Espinazo y costillas muy marcadas. Huesos de la cadera muy prominentes. Anca muy hundida.”

Grado 3 Flaca - Como se menciona en Taranto (2021, p. 7), “Área que rodea la inserción de la cola hundida. Columna, costillas, cadera y pelvis prominentes. Con masa muscular “normal”, muy poca grasa subcutánea. Espinazo y costillas marcadas. Huesos de la cadera ligeramente redondeados. Anca hundida.”

Grado 4 Moderada a liviana -

Área que rodea la inserción de la cola levemente hundida. Columna, costillas, cadera y pelvis con poca cobertura de grasa. Con masa muscular normal y deposición evidente de grasa subcutánea. Espinazo y costillas ligeramente evidentes. Huesos de la cadera redondeados. Anca ligeramente marcada. La separación de los músculos gemelos de la pierna es evidente (Taranto, 2021, p. 7).

Grado 5: Moderada -

Área que rodea la inserción de la cola llena. Columna, costillas, cadera y pelvis con cobertura de grasa. Presenta una cobertura homogénea de grasa subcutánea. Espinazo y costillas no se destacan. Huesos de la cadera redondeados y bien cubiertos. Anca plana. La separación de los músculos gemelos de la pierna no se aprecian (Taranto, 2021, p. 7).

Grado 6: Moderada a pesada - Como señala Taranto (2021, p. 7) “Área alrededor de la inserción de la cola llena. Columna, costillas, cadera y pelvis con mucha cobertura de grasa. Buena cobertura de grasa subcutánea. Lomo plano. Huesos de la cadera apenas visibles. Anca ligeramente redonda.”

En la figura 1 se presenta la escala de apreciación visual validada por Carreño García (2024) para la raza Aberdeen Angus.

**Figura 1**  
*Escala de condición corporal en Aberdeen Angus*



*Nota.* Tomado de Carreño García (2024).

### 2.3 Etapas de clasificación durante el ciclo de cría

Desde el punto de vista del manejo de rodeos de cría, la clasificación de vientres por condición corporal debe realizarse en momentos estratégicos del año, dado que permite ajustar la alimentación de acuerdo al estado de las vacas.

Rovira (1996), plantea tres instancias claves: en otoño, antes del inicio del invierno; aproximadamente dos meses antes de la parición; y en el período inmediatamente posterior al parto, procurando que esta evaluación se realice lo más próximo posible al comienzo del entore.

Los valores recomendados de condición corporal (escala 1–8) varían entre 4 o más en otoño, alrededor de 4 o más previo al parto y entre 5 y 6 en el posparto. Para los vientres primíparos, y 1 punto más por encima en el caso de los vientres múltiparos (Saravia et al., 2011).

### 2.4 Condición corporal y peso vivo

Si bien existe la tentación de asociar el estado corporal al peso vivo, este último no siempre refleja con precisión el estado nutricional, ya que combina tanto la gordura como el tamaño del animal, además de los diferentes estados fisiológicos que puede atravesar una vaca de cría (gestación, lactancia).

Diversos estudios han demostrado que la condición corporal constituye una medida más confiable que el peso vivo para evaluar el estado nutricional de las vacas de cría. A diferencia del peso, que está influenciado por el contenido del tracto digestivo y los productos de la gestación, la CC refleja de forma más precisa las reservas energéticas del animal (Scaglia, 1997). En este sentido, investigaciones realizadas bajo condiciones de alimentación invernal han evidenciado que la CC tiende a decrecer proporcionalmente más que el peso vivo, lo que indica una mayor pérdida de energía relativa (Bartle et al., 1984; Ferrell & Jenkins, 1984).

Además, pueden observarse situaciones en las que animales con pesos corporales similares presentan grados de CC diferentes, lo que determina respuestas biológicas y económicas distintas frente a un mismo manejo nutricional. Este aspecto resalta la utilidad de la CC como herramienta práctica y sensible para la toma de decisiones en sistemas de cría vacuna.

No obstante, dentro de un mismo establecimiento puede ser un indicador útil, y en razas carniceras británicas como Aberdeen Angus y Hereford, bajo condiciones promedio de cría en Uruguay, es posible establecer equivalencias prácticas entre puntaje de condición corporal y peso vivo, lo que constituye una herramienta valiosa para optimizar la eficiencia reproductiva y productiva del rodeo (Rovira, 1996).

**Tabla 1***Equivalencia de puntaje o condición corporal con peso vivo*

Puntaje	3	4	5	6	7
Peso vivo	320-340	350-370	380-400	410-430	440-450

*Nota.* Tomado de Rovira (1996).

## 2.5 Condición corporal y comportamiento reproductivo

Como señala Orcasberro (1997), el impacto de la subnutrición sobre la eficiencia reproductiva en vacas de cría con ternero al pie ha sido ampliamente documentado. La subnutrición energética durante la gestación avanzada reduce significativamente la probabilidad de preñez en el entore siguiente, incluso cuando la vaca recibe una nutrición adecuada en el posparto. Este efecto negativo se intensifica si la alimentación posparto también resulta insuficiente. El estado corporal de la vaca al parto refleja el nivel de alimentación previo y constituye un factor determinante de la duración del anestro posparto, el cual además se ve modificado por el plano nutricional posterior al parto.

Cuando las vacas llegan al parto en estado corporal 4, el anestro puede extenderse entre 35 y 50 días dependiendo de si son sometidas a un nivel nutricional alto o bajo después del parto, situación que mantiene una elevada probabilidad de preñez en el siguiente entore. En contraste, las vacas que alcanzan el parto en estado 3 presentan intervalos de anestro superiores a 80 días bajo niveles bajos de alimentación, lo que compromete seriamente su reinicio reproductivo. Aún más crítico es el caso de vacas que paren en estado 2, ya que, incluso bajo condiciones posparto favorables, el anestro supera los tres meses, eliminando prácticamente la posibilidad de preñez en el próximo servicio (Orcasberro, 1997).

Según Rovira (1996), un vientre con condición corporal de 5 puede presentar su primer celo posparto alrededor de los 40 días tras el parto, de modo que al inicio del entore los animales ya se encuentran ciclando y en condiciones de quedar preñadas nuevamente. De esta forma, la condición corporal no sólo influye en el largo del anestro posparto, sino también en el índice de preñez, constituyendo un factor determinante para lograr altos porcentajes en los rodeos de cría.

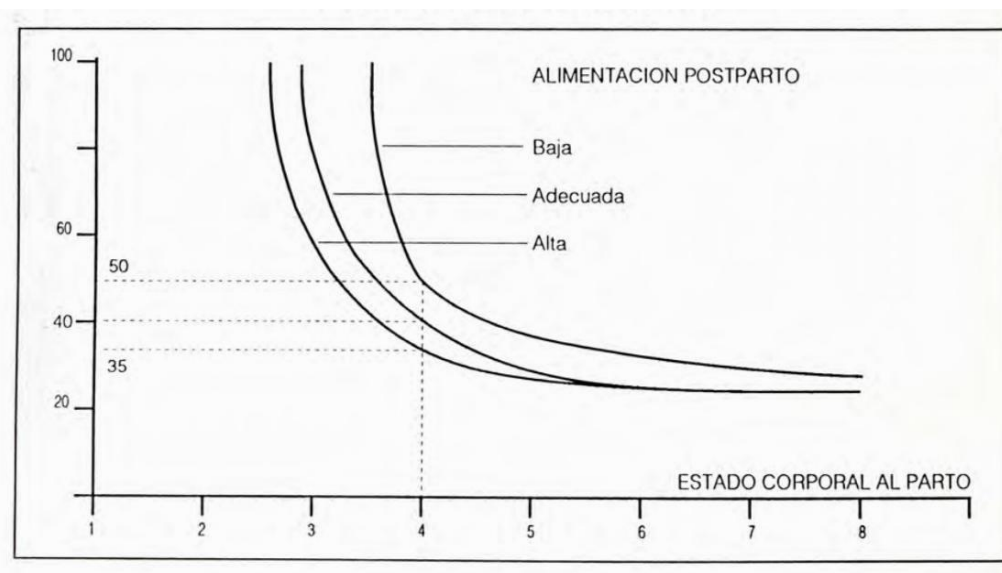
La relación entre condición corporal y duración de anestro posparto es bien definida: a mayor condición corporal, más corto es el período de anestro, lo que aumenta las probabilidades de que la vaca retome la actividad ovárica tempranamente y pueda quedar preñada en el siguiente entore (Rovira, 1996).

En la Tabla 2 se presenta el porcentaje de preñez esperado en función de distintos rangos de condición corporal, lo que evidencia el impacto directo del estado corporal sobre la eficiencia reproductiva de los vientres. Asimismo, la Figura 2 ilustra la relación entre la condición corporal al parto y la duración del anestro posparto bajo diferentes niveles de alimentación, reforzando la importancia del manejo nutricional previo y posterior al parto.

**Tabla 2***Porcentaje de preñez esperada según puntos de Condición corporal*

Condición corporal	% de preñez
<3,5	49,1
3,51 -4,00	74,1
4,01 -4,50	76,6
4,51 -5,00	81,5
>5,01	95,2

Nota. Tomado de Rovira (1996).

**Figura 2***Duración del anestro postparto según condición corporal y alimentación postparto*

Nota. \*Eje vertical: duración de anestro postparto en días. Adaptado de Short et al. (1990).

## 2.6 Propuesta de manejo del rodeo de cría

En Uruguay se han desarrollado propuestas de manejo del rodeo de cría basadas en la curva de producción de forraje del campo natural, la cual presenta picos en primavera y otoño.

Soca y Simeone (1998) plantean que la alimentación de las vacas debe orientarse a lograr ganancias de condición corporal durante el otoño, lo que puede alcanzarse mediante la aplicación de un destete definitivo en marzo, el uso del diagnóstico de gestación y una asignación de forraje que considere tanto el estado corporal de la vaca como la altura del pasto disponible. Con esta estrategia, las vacas y vaquillonas deberían llegar al inicio del invierno con valores de condición corporal de 5 y 6, respectivamente.

Posteriormente, en condiciones de campo natural, es esperable una pérdida de estado durante el invierno, dependiendo de la disponibilidad de forraje, de modo que al parto los vientres se encuentren en valores de 4 y 4.5, respectivamente.

Finalmente, la clasificación por estado al inicio del entore constituye una herramienta clave para definir la asignación de forraje durante este período, así como la estrategia de control del amamantamiento a implementar, ya sea mediante destete temporario o precoz (Soca & Simeone, 1998).

Dentro de las estrategias de manejo anual del rodeo de cría, se ha enfatizado la importancia de realizar el diagnóstico de gestación y el destete definitivo en marzo, con el fin de retirar las vacas falladas y clasificar las preñadas en función de la edad y el estado corporal.

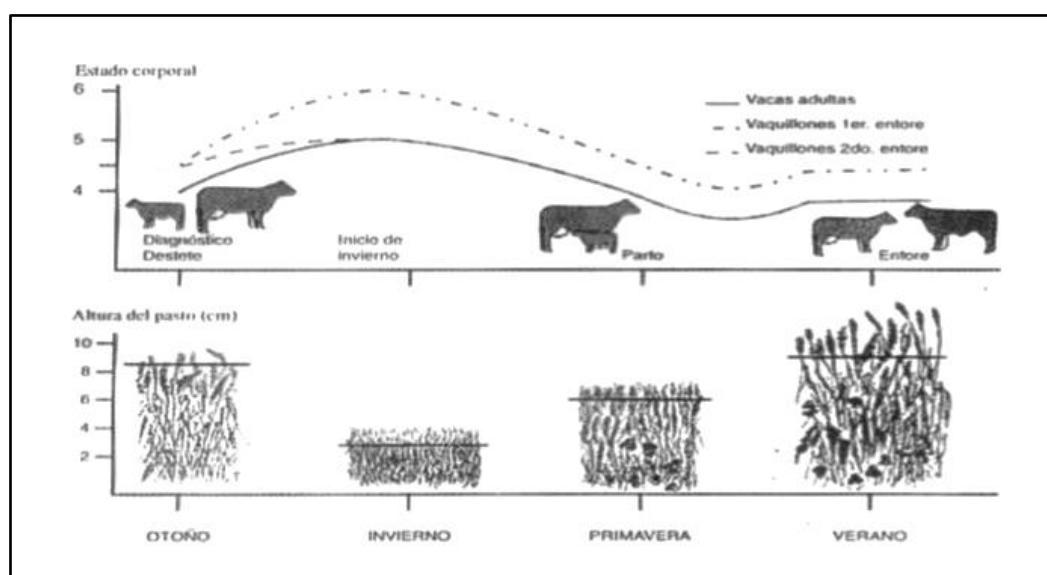
Soca y Simeone (1998) proponen dividir los vientres en dos grupos: en el primer lote se ubican aquellas vacas con estado corporal inferior a 5, que deben pastorear potreros destinados a la cría con una altura de forraje mínima de 9 cm, diferidos desde el final del verano, con el objetivo de que las vaquillonas y vacas de segundo entore alcancen valores de 6 al inicio del invierno y las vacas adultas lleguen a un valor de 5. El segundo lote comprende a las vacas con estado corporal 5 o mayor, que pueden pastorear en potreros con una altura de 4 cm, dado que únicamente deben mantener su condición. En caso de limitaciones de área, en este lote también pueden incorporarse las vacas falladas que se destinarán a un nuevo entore.

Asimismo, las vaquillonas de primer entore deben alcanzar un estado corporal 6 al inicio del invierno, por lo que requieren acceder a potreros con buena disponibilidad de forraje, o en su defecto, ser manejadas junto con el lote 1.

En la siguiente figura se muestra el trabajo previamente mencionado dónde se puede observar la evolución del estado corporal “recomendado” para vacas y vaquillonas a través del año; y altura del pasto del campo natural que debería mantenerse para lograr estas condiciones corporales “objetivo”.

### Figura 3

*Manejo recomendado del rodeo de cría según condición corporal a lo largo del año*



*Nota.* Tomado de Soca y Simeone (1998).

## 2.7 Destete precoz

El destete es una herramienta tecnológica utilizada para mejorar la eficiencia del proceso de cría sin tener la necesidad de realizar modificaciones significativas en la base forrajera (Simeone et al., 1999). Como fue mencionado anteriormente el estado nutricional de la vaca está correlacionada con el anestro posparto, esta práctica influirá en el periodo de lactancia acortando la misma. Esto resulta beneficioso ya que durante la lactancia los requerimientos nutricionales de las vacas son máximos, y dado que en nuestros sistemas productivos basados en campo natural la oferta de forraje suele ser limitada, este no aporta la energía suficiente para que la vaca pueda destinarla a reiniciar el ciclo reproductivo luego del parto e iniciar una nueva preñez.

Entonces con la interrupción de la lactancia se elimina la necesidad destinar energía a la producción de leche promoviendo un más rápido reinicio de los celos, además según Williams (1990), se ha comprobado que el amamantamiento tiene un efecto inhibitor en la actividad sexual post parto, esto está dado por los estímulos negativos del comportamiento sexual de la vaca dado por la mamada del ternero.

Simeone (1995) documentó la realidad del destete precoz en trabajos experimentales realizados en Rio Grande del Sur, Brasil, en donde la aplicación de esta técnica permite alcanzar un incremento global de aproximadamente 30 puntos porcentuales en la tasa de preñez, pasando de un valor cercano al 60% a alrededor del 90%.

**Tabla 3**

*Efecto de la aplicación del destete precoz en vacas sobre el porcentaje de preñez*

Experimento	Preñez (%)	Aumento (%)	Manejo	Disponibilidad de forraje inicial	Autores
<b>Vacas Primíparas</b>	94	<b>54**</b>	Campo natural (0.72 UG/ha)	1978 kg MS/ha	Simeone y Lobato (1996)
Destete Precoz					
<b>Vacas Primíparas</b>	40		Campo natural (0.72 UG/ha)	1978 kg MS/ha	Simeone y Lobato (1996)
Testigo					
<b>Vacas 'flacas' (CC=2.7) –</b>	73	<b>59**</b>	Campo natural (0.80 UG/ha)	315 kg MS/ha	Simeone et al. (1996)
Destete precoz					
<b>Vacas 'flacas' (CC=2.7) –</b>	14		Campo natural (0.80 UG/ha)	315 kg MS/ha	Simeone et al. (1996)
Testigo					

*Nota.* \*\* = indican diferencias significativas ( $P < 0.01$ ). Adaptado de Simeone et al. (1999).

En experimentos con vacas primíparas bajo pastoreo continuo de campo natural (carga 0.72 UG/ha), se incrementó el porcentaje de preñez en 54 puntos porcentuales destete precoz 94% vs testigo convencional 40% (Simeone & Lobato, 1996). Y en experimentos con vacas flacas inferior a condición corporal 3 bajo pastoreo continuo de campo natural (carga 0.8 UG/ha), se incrementó el porcentaje de preñez en 59 puntos porcentuales destete precoz 73% vs testigo 14 % (Simeone et al., 1996, como se cita en Simeone et al., 1999).

## 2.8 Uso de IA (Inteligencia Artificial) para la interpretación de imágenes

Para comprender adecuadamente los objetivos de este trabajo, es necesario definir qué se entiende por inteligencia artificial. Según la Real Academia Española (s.f.), la IA es una disciplina científica orientada a desarrollar programas informáticos capaces de ejecutar operaciones comparables a las que realiza la mente humana, tales como el aprendizaje, la identificación de patrones o el razonamiento lógico.

En el ámbito de la visión computarizada, la IA permite que los sistemas informáticos aprendan a reconocer, clasificar e interpretar objetos a partir de imágenes. Para lograrlo, estos modelos requieren un proceso de entrenamiento que sustituye la “experiencia” humana por grandes volúmenes de datos previamente etiquetados. Durante este entrenamiento, los algoritmos analizan repetidamente los ejemplos proporcionados y ajustan progresivamente sus parámetros internos, de modo que mejoran su capacidad para identificar patrones visuales relevantes.

Este proceso suele implementarse mediante técnicas de aprendizaje profundo, en las que los modelos aprenden representaciones complejas de las imágenes a través de múltiples etapas de procesamiento. En lugar de describir funciones específicas para cada capa neuronal, dado que los modelos modernos pueden estar compuestos por cientos o miles de niveles interconectados, es más adecuado señalar que estas arquitecturas permiten extraer características visuales cada vez más abstractas y, a partir de ellas, generar una clasificación o predicción final. El rendimiento del sistema depende fuertemente de la cantidad y calidad de los datos disponibles, lo cual determina la capacidad del modelo para generalizar y aproximarse a la percepción visual humana (*IA para reconocimiento de imágenes*, 2025).

En síntesis, para que un algoritmo logre desarrollar un aprendizaje automático capaz de interpretar imágenes de manera confiable, generalmente se requiere contar con un conjunto amplio de imágenes correctamente etiquetadas por especialistas, que permitan entrenar y evaluar la precisión del modelo.

## 2.9 Digitalización del agro

En los últimos años, la digitalización del agro ha generado oportunidades significativas para transformar la ganadería mediante el uso de Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC). Estas herramientas han demostrado mejorar la competitividad, la eficiencia productiva y la sostenibilidad ambiental de los sistemas ganaderos, contribuyendo al cumplimiento de estándares internacionales y al acceso a mercados de alto valor (Soares de Lima & Tiscornia, 2025).

En Uruguay, la adopción de tecnologías como la trazabilidad individual obligatoria, los sistemas de monitoreo satelital (NDVI), las aplicaciones móviles y la recopilación de datos a nivel predial han permitido optimizar la gestión del rodeo y la planificación forrajera. Estas tecnologías, además, facilitan el registro y procesamiento de grandes volúmenes de información, habilitando análisis avanzados y modelos predictivos que fortalecen la toma de decisiones en tiempo real (Soares de Lima & Tiscornia, 2025).

En este contexto, tecnologías emergentes como la visión computarizada y la inteligencia artificial representan un paso natural en la evolución del manejo ganadero, ya que permiten automatizar tareas rutinarias, por ejemplo, la evaluación del estado corporal de los animales, y transforman datos digitales en conocimiento aplicable a campo. Esta tendencia respalda iniciativas como la desarrollada en la presente tesis, orientada a la recolección de imágenes de vacas de cría y su posterior clasificación automática por condición corporal mediante algoritmos de aprendizaje automático.

De acuerdo con Soares de Lima y Tiscornia (2025), la capacidad de integrar grandes volúmenes de datos provenientes de sensores, plataformas digitales y registros prediales posibilita el desarrollo de modelos predictivos y aplicaciones que asisten a los productores en tareas rutinarias, reducen la carga de trabajo y mejoran la precisión en la toma de decisiones.

En este sentido, la aplicación de IA para estimar condición corporal constituye una extensión natural de las tendencias actuales en digitalización ganadera, ya que transforma registros visuales en información cuantificable y accionable. Este enfoque abre la puerta a la automatización de evaluaciones tradicionalmente subjetivas, fortaleciendo la gestión del rodeo y contribuyendo a sistemas más eficientes y sostenibles.

Dentro de este proceso de transformación digital, un aporte especialmente relevante para la ganadería uruguaya es el trabajo de Espasandín et al. (2023), quienes desarrollaron un método práctico, repetitivo y no invasivo para determinar la condición corporal (CC) mediante imágenes tomadas a campo. El estudio planteó la creación de un sistema de clasificación guiada que utiliza fotografías comparadas con una base de imágenes previamente calibradas por expertas y expertos en CC. Este procedimiento, implementado en el software `cond Corp`, permite orientar al usuario a través de una secuencia de decisiones visuales que reducen progresivamente el rango de puntuaciones posibles hasta obtener una estimación final de condición corporal con una resolución de  $\pm 0,25$  puntos.

El programa fue construido a partir de más de mil imágenes de vacas Hereford, Aberdeen Angus, Braford y sus cruza, clasificadas por observadores entrenados. A partir de este banco de datos se seleccionaron las fotografías más representativas de cada punto de la escala, lo que permitió generar bases visuales específicas por raza y ajustadas a variaciones estacionales. El proceso se apoya en una estructura de comparación gradual: primero imágenes en el extremo inferior, medio y superior de la escala, y luego rangos cada vez más acotados, lo que facilita la precisión incluso para evaluadores con poca experiencia.

Uno de los resultados más destacados del trabajo está en la evidencia de que el software no sólo permite estimar la condición corporal con buena precisión, sino que mejora la capacidad de clasificación de los evaluadores. En pruebas realizadas por Gaimari y Peñagaricano (2017, como se cita en Espasandin et al., 2023), observadores no entrenados lograron incrementar la correlación entre sus estimaciones a campo y las de una evaluadora experta desde valores iniciales de 0,43–0,46 hasta 0,83–0,86 después de utilizar `cond_corp`. Esto confirma el potencial de la herramienta como mecanismo de capacitación y estandarización de criterios.

Asimismo, el software demostró ser de bajo costo, de fácil adopción y aplicable en condiciones reales de producción, lo que favorece su incorporación en predios medianos y pequeños. Sin embargo, Espasandin et al. (2023) y Gaimari Staehle y Peñagaricano Sosa (2017), destacan que la calidad de las imágenes —posición del animal, distancia, iluminación y ángulo— es determinante en la precisión final, y que futuras líneas de investigación deberían incluir bases de datos más amplias para fortalecer el desempeño del sistema.

En conjunto, este trabajo constituye un antecedente directo y sumamente pertinente para el enfoque de la presente tesis, ya que valida el uso de imágenes como insumo confiable para estimar la condición corporal y demuestra que herramientas basadas en inteligencia artificial pueden mejorar la objetividad, repetibilidad y eficiencia del proceso de evaluación. Además, confirma que la digitalización aplicada al rodeo de cría ofrece una oportunidad concreta para aumentar la precisión en la toma de decisiones y facilitar la adopción tecnológica en sistemas ganaderos uruguayos.

### 3 MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Lugar de estudio

El trabajo de campo se llevó a cabo en el mes de octubre de 2025, en el establecimiento “Las Nazarenas”, ubicado en Ruta 3 km 204, paraje “Marincho”, departamento de Flores, Uruguay.

#### 3.2 Animales

El experimento contó con 140 vacas de cría multíparas pertenecientes al rodeo general del establecimiento, de razas Aberdeen Angus y Red Angus.

Todas las vacas se encontraban con ternero al pie. Se eligió trabajar con un rodeo de cría en estado de lactancia, esto es oportuno debido a que en este momento los animales presentan características de condición corporal que coinciden altamente con las condiciones reales en las que la aplicación será utilizada. Es conveniente registrar las fotografías en un contexto productivo auténtico, ya que permite que la IA se entrene y valide situaciones similares a las que enfrentará en campo.

#### 3.3 Procedimiento de campo

En primera instancia, el rodeo fue arriado desde el potrero hacia los corrales, donde se procedió a separar las vacas de sus crías para facilitar el trabajo. Posteriormente, los vientres fueron ingresados individualmente a la manga y dirigidos al brete.

Al ingresar al brete, cada animal fue fotografiado desde la parte trasera, plano adecuado para la evaluación posterior de la condición corporal. Las imágenes fueron tomadas por el Ing. Msc. Leoncio Ríos, empleándose dos cámaras de teléfonos celulares correspondientes a los modelos Samsung Galaxy S10 y Samsung Galaxy A21s.

Las fotografías se tomaron siguiendo criterios uniformes, a una distancia estandarizada de entre 1,0 y 1,2 metros respecto a cada animal, obteniéndose un total de 15 a 20 fotografías por individuo. Las imágenes se capturaron bajo techo, ya que el brete contaba con cobertura. El día presentó condiciones de cielo despejado; no obstante, la iluminación presentó variaciones a lo largo del proceso, dado que el período de toma de fotografías se extendió desde las 08:00 hasta las 13:00 horas.

En la actividad participaron tres evaluadores con diferente nivel de experiencia en la clasificación de la condición corporal. La evaluación fue realizada por la Ing. Agr. Dra. Ana Carolina Espasandin, en calidad de evaluadora experta, y por dos estudiantes, Mauricio Grieco y Francisco Izcuca, sin entrenamiento previo específico en la evaluación de condición corporal.

Una vez finalizada la toma de imágenes, y al momento en que cada animal abandonaba el brete, se realizó una primera clasificación de la condición corporal mediante apreciación visual. Esta evaluación fue llevada a cabo de forma conjunta por los tres observadores, constituyendo la instancia denominada “evaluación a campo”.

Los valores obtenidos en esta etapa fueron considerados como referencia de condición corporal real y utilizados posteriormente para la comparación con las estimaciones realizadas a partir de imágenes en el análisis de los datos.

La posición relativa entre el fotógrafo y el animal, así como el ángulo de captura utilizado durante el trabajo de campo, se ilustran en la Figura 4.

#### **Figura 4**

*Imágenes del procedimiento y condiciones de toma de fotografías*



#### **3.4 Procesamiento de datos**

Una vez culminado el trabajo de campo, todas las imágenes fueron descargadas y organizadas para su posterior análisis. Luego, se realizó una segunda instancia de clasificación basada exclusivamente en las fotografías, sin considerar la información registrada a campo. Cada evaluador llevó a cabo una nueva valoración individual de la condición corporal de todas las vacas.

Para ello, se trabajó con tres grupos de imágenes; cada grupo incluía varias fotografías al azar de un mismo animal, pero tomadas desde el mismo ángulo. El objetivo de esta etapa fue analizar la correlación entre la clasificación realizada a campo y la obtenida mediante imágenes, así como evaluar los desvíos entre evaluadores.

### 3.5 Escalas de referencia para la clasificación

Para aumentar la precisión y estandarización del proceso de calificación, tanto en campo como mediante imágenes, se utilizaron como referencia dos cartillas validadas recientemente:

la escala de condición corporal para Aberdeen Angus, validada por Carreño García (2024), y la escala de condición corporal para Hereford, validada por Andiarrena Salvioli y Gardiol Revello (2024). Ambas herramientas fueron desarrolladas bajo la tutoría de la Ing. Agr. Dra. Ana Carolina Espasandin, y constituyen estándares de referencia para procesos de evaluación objetiva de condición corporal en bovinos de carne.

### 3.6 Procesamiento y análisis de los registros

Los registros de condición corporal obtenidos tanto a campo como a partir del análisis de imágenes fueron descritos mediante estadísticos descriptivos, incluyendo media, desvío estándar, valores mínimos y máximos. Permitiendo caracterizar el rodeo y detectar tendencias individuales de clasificación.

Con el propósito de evaluar la relación existente entre la condición corporal real determinada a campo (CC Real) y la estimada en escritorio a partir de imágenes (CC Escritorio), se ajustaron modelos de regresión lineal simple para cada uno de los evaluadores. Este análisis permitió cuantificar la precisión de las estimaciones individuales y detectar posibles sesgos en los criterios de clasificación. Para cada modelo se obtuvieron las ecuaciones de regresión y los coeficientes de determinación ( $r^2$ ), como medida del grado de ajuste.

La estructura general del modelo ajustado fue la siguiente:

$$\text{CC Escritorio} = \beta_0 + \beta_1 \cdot \text{CC Real}$$

donde  $\beta_0$  representa el intercepto del modelo y  $\beta_1$  la pendiente o tasa de variación de la estimación respecto al valor real. En un escenario de concordancia perfecta entre ambas mediciones, se esperaría que  $\beta_0$  fuera igual a cero y  $\beta_1$  igual a uno.

Los modelos de regresión lineal para cada observador se estimaron utilizando el procedimiento REG del programa SAS (2014).

Posteriormente, se aplicaron análisis de varianza (ANOVA) para evaluar, por un lado, la significancia de los modelos de regresión lineal ajustados entre la condición corporal real y la estimada por cada evaluador, y por otro, la existencia de diferencias significativas entre los evaluadores. Esto se llevó a cabo utilizando el procedimiento GLM del software SAS (SAS Institute Inc., 2014) mediante el modelo de efectos fijos:

$$Y_{ij} = \mu_0 + \alpha_j + \epsilon_{ij}$$

, donde

$\mu_0$  es la media general del experimento,

$Y_{ij}$  corresponde a cada observación  $i$  de cada individuo  $j$ ,

$\alpha_i$  es el efecto de cada observador y se asume como una variable aleatoria con media 0 y varianza  $\sigma^2_{\alpha}$ , y  $\epsilon_{ij}$  es el error asociado a cada observación  $i$  de cada individuo  $j$

Se estimaron las medias de mínimos cuadrados para cada observador siendo comparadas mediante el test de tukey ( $P < 0.05$ ).

Finalmente, se contrastan los datos mediante el cálculo de coeficientes de correlación de Pearson, con el objetivo de evaluar el grado de asociación y consistencia entre la condición corporal estimada en campo, la estimada por cada evaluador durante el análisis en escritorio y la correlación entre evaluadores. Este análisis se realizó mediante el procedimiento CORR del programa SAS (2014).

## 4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

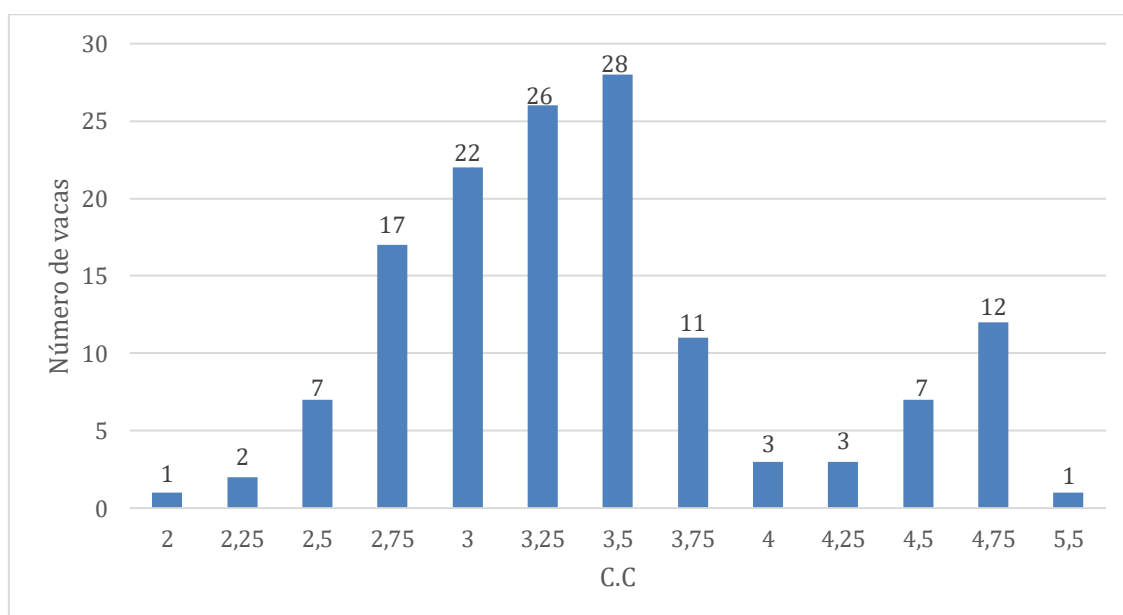
En esta sección se presentan los resultados obtenidos a partir de la evaluación de la condición corporal de las 140 vacas incluidas en el estudio, considerando tanto la clasificación realizada a campo como las estimaciones derivadas del análisis de imágenes.

En primer lugar, se describe la distribución de la condición corporal del rodeo evaluado, utilizada como referencia para el análisis posterior. A continuación, se presentan las estimaciones individuales de cada evaluador y los resultados de los análisis estadísticos orientados a evaluar la precisión, consistencia y reproducibilidad del método.

A continuación, se presentará en la Figura 5 la distribución del rodeo muestreado según los distintos estados de condición corporal, estimados mediante apreciación visual conjunta por los tres evaluadores durante el trabajo de campo. Esta figura permite visualizar la frecuencia relativa de los distintos puntajes de condición corporal observados en el rodeo evaluado.

### Figura 5

*Distribución del número de vacas según condición corporal estimada por los tres evaluadores en conjunto*



Los estadísticos descriptivos correspondientes a la evaluación de la condición corporal realizada a campo se presentan en la Tabla 4, donde se detallan el tamaño muestral, la media, el desvío estándar y los valores mínimo y máximo registrados para el conjunto de vacas evaluadas. Estos resultados se consideran como valores de referencia, dado que fueron obtenidos mediante la evaluación conjunta de los tres observadores durante el trabajo de campo.

**Tabla 4**  
*Estadísticos descriptivos de la condición corporal evaluada a campo*

Variable	N	Media	Dev. Std.	Suma	Mínimo	Máximo
Real	140	3,42	0,66	479,25	2	5,5

*Nota.* \*Dev. Std. - desvío estándar.

Del análisis de los datos obtenidos para el total de 140 vacas evaluadas a campo (Tabla 4), se observa que la media de la condición corporal fue de 3,42, con un desvío estándar de 0,66. Este valor de dispersión relativamente bajo indica que la mayoría de los animales se concentró en torno a la media, con variaciones aproximadas de una unidad de condición corporal por encima o por debajo de dicho valor. En términos generales, estos resultados reflejan que el rodeo se encontraba, en promedio, en un estado corporal entre vacas flacas y moderadamente livianas.

Desde el punto de vista productivo, se trata de un rodeo de cría recién parido, con terneros al pie, etapa del ciclo en la cual las vacas presentan los mayores requerimientos energéticos y, en consecuencia, los valores más bajos de condición corporal. Considerando el momento del muestreo y los valores observados, puede inferirse que, bajo un manejo nutricional adecuado, este rodeo podría alcanzar una condición corporal promedio cercana a 4 al inicio del entore. Tal como se desarrolló en la revisión bibliográfica, valores de esta magnitud se asocian con el reinicio de la actividad ovárica y con una mayor probabilidad de quedar preñadas nuevamente.

El valor mínimo registrado fue de 2, representativo de vacas muy flacas, mientras que el valor máximo alcanzó 5,5, correspondiente a animales con una condición corporal moderada a pesada. Se destaca que sólo un 19 % de las vacas presentó valores de condición corporal inferiores a 3, este porcentaje se asociaría a animales con menor probabilidad de reinicio de la actividad reproductiva.

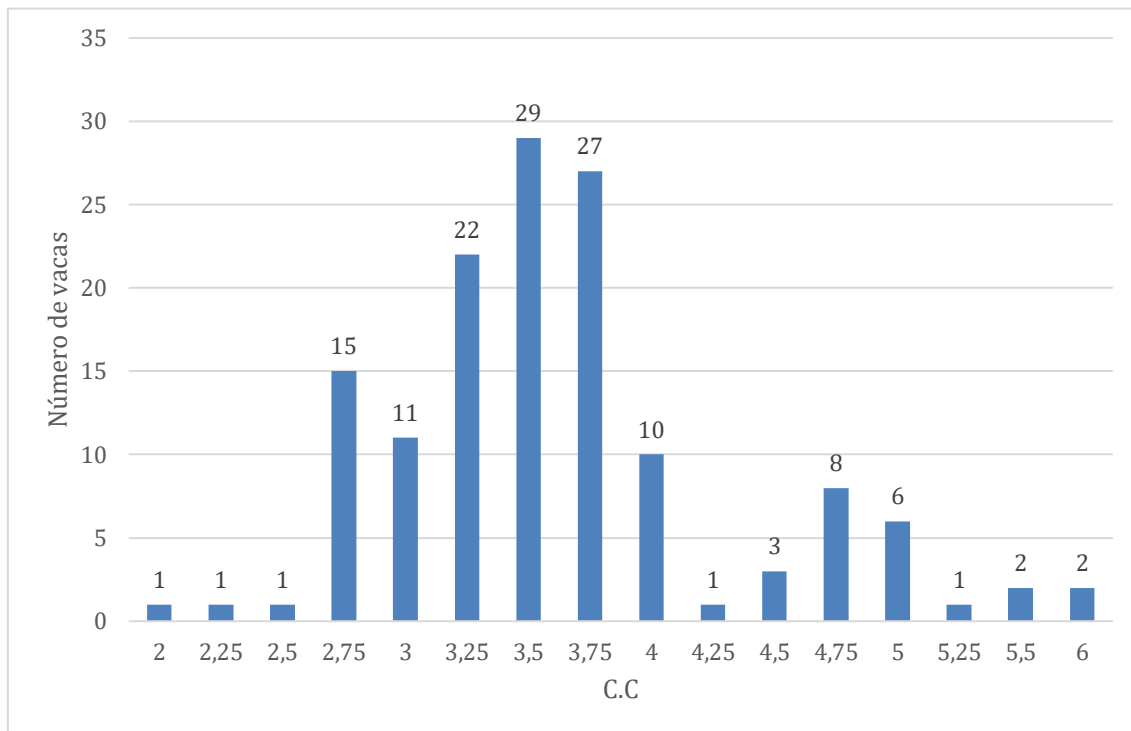
La variabilidad observada en la condición corporal resultó favorable para los objetivos del presente trabajo, ya que permitió obtener imágenes representativas de un amplio rango de estados corporales, enriqueciendo la base de datos destinada al desarrollo y entrenamiento de herramientas de inteligencia artificial.

Con el objetivo de analizar posibles diferencias en la apreciación individual, las Figuras 6, 7 y 8 muestran la distribución de la condición corporal estimada por cada evaluador de forma independiente durante el análisis a escritorio, para este se utilizaron las imágenes recopiladas en el trabajo de campo.

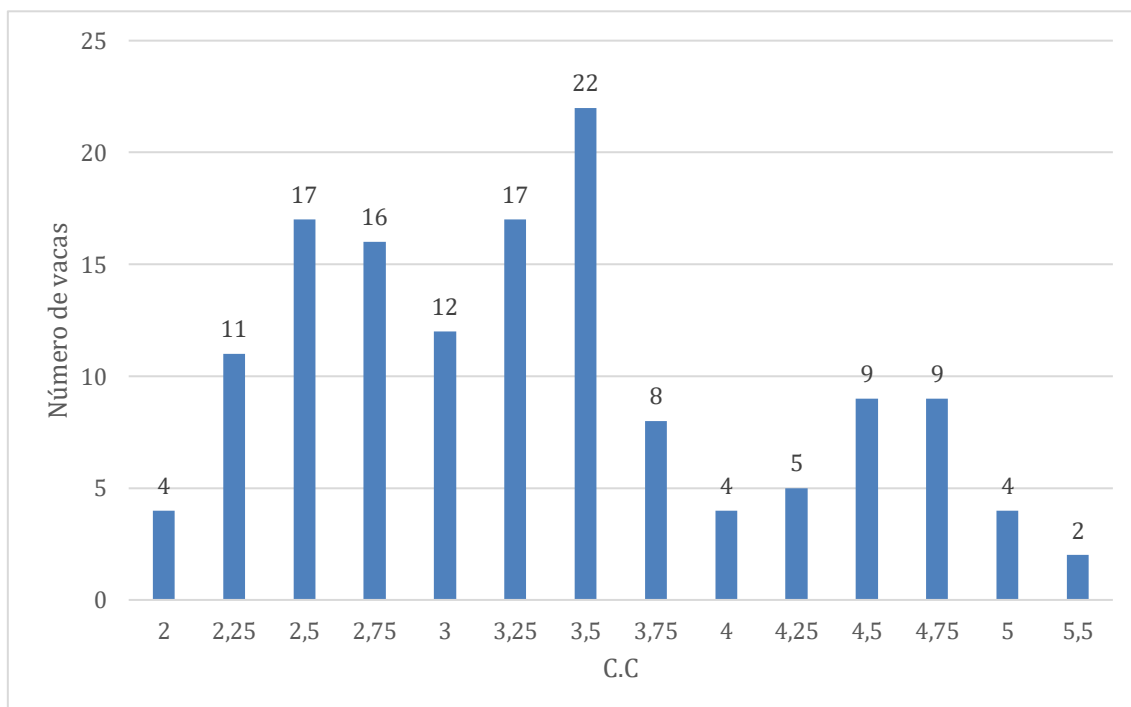
En particular, la Figura 6 corresponde a la clasificación realizada por Ana, la Figura 7 a la estimación efectuada por Mauricio y la Figura 8 a la realizada por Francisco.

**Figura 6**

*Distribución del número de vacas según condición corporal estimada por Ana*

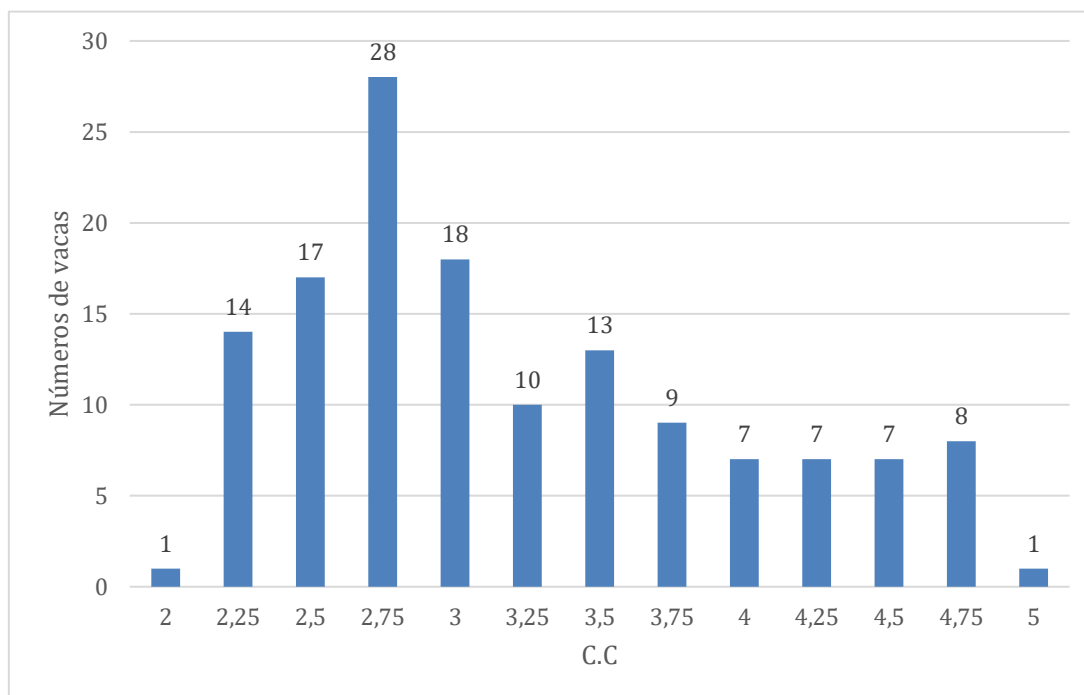
**Figura 7**

*Distribución del número de vacas según condición corporal estimada por Mauricio*



**Figura 8**

*Distribución del número de vacas según condición corporal estimada por Francisco*



A continuación, los valores presentados en la tabla 5 corresponden a los estadísticos descriptivos de cada uno de los evaluadores.

**Tabla 5**

*Estadísticos descriptivos de la condición corporal estimada por cada evaluador en escritorio*

Variable	N	Media	De. Std.	Suma	Mínimo	Máximo
Ana	140	3,63	0,72	509,3	2	6
Francisco	140	3,22	0,75	451	2	5
Mauricio	140	3,35	0,84	469	2	5,5

*Nota.* \*Dev. Std. - desvío estándar.

Observando las medias de condición corporal estimadas por los evaluadores la de Ana fue de 3,637, con un desvío estándar de 0,719. Por su parte, Mauricio registró un valor intermedio, con una media de 3,35 y un desvío estándar de 0,837, Francisco obtuvo una media de 3,221, con un desvío estándar de 0,754. Estos datos muestran la tendencia de cada uno de los evaluadores a la hora de calificar la condición corporal. Se puede observar que Francisco es el más “conservador” ya que dio valores de condición corporal bajos y además en los máximos tuvo hasta 1 punto por debajo que Ana, a su vez Ana fue la más precisa a la hora calificar, la mayoría de los datos son parecidos entre sí y cercanos a la media, mientras que Mauricio fue el que tuvo mayor variabilidad en la estimación de la condición corporal.

En todos los casos, los valores mínimos y máximos registrados se mantuvieron dentro de rangos similares a los observados en la evaluación a campo, siendo Mauricio el único que mantuvo el mismo rango que el real. Esto indica que la clasificación realizada a partir de imágenes permitió captar la variabilidad general del estado corporal del rodeo, esto es de gran importancia debido a que nos podría ayudar a confirmar que, con las imágenes se puede realizar una correcta evaluación del estado corporal de los animales o al menos, categorizar correctamente a los mismos dentro de similares rangos de condición corporal.

A continuación, se realizó un análisis de varianza con el objetivo, en primera instancia, de determinar si los modelos ajustados eran válidos para reflejar la realidad y, posteriormente, de corroborar si existían diferencias significativas entre los observadores al momento de evaluar la condición corporal a nivel de escritorio.

#### Análisis de regresión lineal por observador (Sistema SAS)

La primera parte del análisis corresponde al estudio de la variabilidad dentro de los grupos, es decir, la variabilidad presente en los datos obtenidos por cada observador en las 140 observaciones. Este análisis se llevó a cabo mediante la aplicación de modelos de regresión lineal simple.

El estudio se fundamenta en los datos recolectados por los tres observadores: los resultados correspondientes a Ana se presentan en tabla 6, los de Mauricio en la tabla 7 y los de Francisco en la tabla 8. En todos los casos, se consideró como variable dependiente la condición corporal real.

**Tabla 6**

*Análisis de varianza de Ana*

Fuente	Df	Suma cuadrados	Cuadros de la media	F-valor	Pr > F
Modelo	1	50,98	50,98	694,48	<.0001
Error	138	10,13	0,07		
Total corregido	139	61,11			
Raiz Mse	0,27	$r^2$	0,83		
Media dependiente	3,42	$r^2$ ajustado	0,83		
Coef variación	7,91				

*Nota.* \*Df - Grados de libertad; Pr > F - valor-p.; Coef variación - coeficiente de variación; Mse - error cuadrático medio

**Tabla 7**

*Estimadores de parámetros*

Variable	DF	Estimador del parámetro	Error estándar	Valor t	Pr >  t
Intercepto	1	0.36	0.11	3.07	0.0026
Escritorio	1	0.84	0.03	26.35	<.0001

*Nota.* \*Pr > |t| - valor-p.

**Tabla 8***Análisis de varianza de Mauricio*

Fuente	Df	Suma cuadrados	Cuadros de la media	F-valor	Pr > F
Modelo	1	44,36	44,36	365.6	<.0001
Error	138	16.74	0.12		
Total corregido	139	61,11			
Raiz Mse	0,34	$r^2$	0,72		
Media dependiente	3,42	$r^2$ ajustado	0.72		
Coef variación	10.17				

Nota. \* Pr > F - valor-p.; Coef variación - coeficiente de variación; Mse - error cuadrático medio.

**Tabla 9***Estimadores de parámetros*

Variable	DF	Estimador del parámetro	Error estandar	Valor t	Pr >  t
Intercepto	1	-0.33	0.14	7.78	<.0001
Escritorio	1	0.72	0.04	16.93	<.0001

Nota. \*Pr > |t| - valor-p.

**Tabla 10***Análisis de varianza de Francisco*

Fuente	Df	Suma cuadrados	Cuadros de la media	F-valor	Pr > F
Modelo	1	41,24	41,24	286.47	<.0001
Error	138	19,86	0.14		
Total corregido	139	61,11			
Raiz Mse	0,37	$r^2$	0,67		
Media dependiente	3,42	$r^2$ ajustado	0,67		
Coef variación	11,08				

Nota. \* Df. - Grados de libertad; Pr > F - valor-p.; Coef variación - coeficiente de variación; Mse - error cuadrático medio.

**Tabla 11***Estimadores de parámetros*

Variable	DF	Estimador del parámetro	Error estandar	Valor t	Pr >  t
Intercepto	1	1.16	0.12	9.55	<.0001
Escritorio	1	0.67	0.03	19.12	<.0001

Nota. \*Pr > |t| - valor-p.

Los resultados obtenidos muestran que, para los tres observadores, el sistema SAS confirmó que los modelos ajustados fueron altamente significativos (Pr < 0,0001).

Esto indica que, desde el punto de vista estadístico, los modelos son válidos para predecir la condición corporal real a partir de las estimaciones realizadas en escritorio. En términos técnicos, estos resultados respaldan la validez del método de evaluación mediante imágenes como herramienta para predecir la condición corporal determinada a campo.

No obstante, se observan diferencias claras entre los evaluadores en cuanto al grado de ajuste de los modelos. Ana presentó el modelo con mayor precisión y ajuste, ya que el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) fue el más elevado (0,83), lo que indica que el 83% de la variabilidad en la condición corporal real es explicada por sus estimaciones de escritorio. Además, la Raíz del Error Cuadrático Medio (Raíz MSE) (0,27) fue la más baja, lo que refleja un menor margen de error promedio en sus predicciones.

Mauricio presentó un ajuste intermedio, con un ( $r^2$ ) de (0,72), lo que también representa un alto nivel de explicación de la variabilidad. Sin embargo, su (Raíz MSE) (0,379) fue considerablemente superior al de Ana, lo que indica una mayor dispersión promedio de los errores de estimación.

Por último, Francisco fue el evaluador con menor ajuste estadístico entre los tres, con un ( $r^2$ ) de (0,67), lo que sugiere una menor capacidad explicativa del modelo y mayores diferencias entre la condición corporal real y la estimada en escritorio.

#### Análisis de varianza

Con el fin de analizar si el factor observador influye en los resultados obtenidos en la estimación de la condición corporal a campo, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) con el objetivo de determinar la fiabilidad del sistema de medición. Formalmente, este estudio busca contrastar la hipótesis nula ( $H_0$ ), que plantea que las medias de las evaluaciones realizadas por los tres observadores (Ana, Francisco y Mauricio) son estadísticamente iguales, frente a la hipótesis alternativa, que establece la existencia de al menos una diferencia significativa entre ellos.

En total, se consideraron 420 observaciones correspondientes a la condición corporal evaluada por los tres observadores independientes. A continuación, en la Tabla 9, se presentan los resultados obtenidos.

**Tabla 12**  
*Análisis de varianza de todos los observadores*

Fuente	Df	Suma cuadrados	Cuadros de la media	F-valor	Pr > F
Modelo	2	12,7	6,53	10.66	<.0001
Error	417	248,65	0,59		
Total corregido	419	261,35			
R-cuadrado	Coef Var.	Raíz MSE	Escritorio	Media	
0.048	23	0,77	3,4		

*Nota.* \* Pr > F - valor-p.; Coef var. - Coeficiente de varianza; Mse - error cuadrático medio.

El análisis de varianza mostró que existieron diferencias significativas entre los observadores ( $F=10,66$ ;  $p<0,0001$ ). La variabilidad entre observadores presentó una suma de cuadrados de 12,71 y un cuadrado medio de 6,35, mientras que la variabilidad dentro de los observadores (error) presentó una suma de cuadrados de 248,65 y un cuadrado medio de 0.6. Estos datos nos indican que para nuestro caso la mayor proporción de la variabilidad corresponde al error experimental, explicado por la variabilidad natural entre las observaciones y no tanto al efecto del observador, este dato podría ayudar a próximos a evaluadores ya que muestra la necesidad de mejorar la forma del análisis.

El coeficiente de determinación ( $R^2$ ) fue de 0,049, lo que indica que el 4,86% de la variación total observada en la condición corporal fue explicada por el efecto del observador.

En conclusión los resultados que se obtuvieron mediante el ANOVA indican la existencia de diferencia significativa en la estimación de la condición corporal a nivel de escritorio, mostrando que el efecto del evaluador influyó en la clasificación de las condiciones corporales, esto tiene sentido ya que este tipo de estimación tiende a tener una fuerte medida subjetiva y asimismo, las imágenes podrían no representar con confianza las características reales observadas en el animal en condición de campo.

#### Modelos de regresión lineal para la estimación de la condición corporal

Los modelos estimados para cada evaluador fueron los siguientes:

- Ana:  
CC Escritorio=  $0,24 + 0,99 \cdot \text{CC Real}$   $r^2= 0,83$
- Francisco:  
CC Escritorio=  $0,02 + 0,94 \cdot \text{CC Real}$   $r^2= 0,67$
- Mauricio:  
CC Escritorio=  $-0,33 + 1,076 \cdot \text{CC Real}$   $r^2= 0,73$

El análisis de estos parámetros permite identificar diferencias en la forma en que cada evaluador interpreta visualmente la condición corporal.

En el caso de Ana, la pendiente obtenida (0,99) se aproxima notablemente a la unidad, lo que indica que su estimación reproduce de manera prácticamente proporcional las variaciones observadas en la condición corporal real. Esto sugiere una adecuada sensibilidad frente a los cambios en el estado corporal. No obstante, el intercepto de 0,24 evidencia una leve sobreestimación sistemática a lo largo de toda la escala, lo que implica que, aunque la relación es proporcional, sus valores tienden a ubicarse ligeramente por encima de los reales.

Para Francisco, el intercepto cercano a cero (0,02) indica una correcta calibración en los valores bajos de la escala. Sin embargo, la pendiente de 0,94, inferior a la unidad, refleja una tendencia a subestimar progresivamente los valores más altos de condición corporal. En términos prácticos, esto implica una ligera compresión del rango de estimación, reduciendo la amplitud de variación respecto a los valores reales.

En el caso de Mauricio, el intercepto negativo (-0,33) señala una subestimación en los niveles más bajos de condición corporal. Por otro lado, la pendiente de 1,076, superior a la unidad, indica que sus estimaciones tienden a incrementarse a un ritmo mayor que los valores reales, generando una sobreestimación en los rangos superiores. Este comportamiento evidencia un sesgo diferencial según el nivel de condición corporal evaluado.

En conjunto, los resultados muestran que los tres evaluadores presentan una relación lineal clara entre la condición corporal real y la estimada en escritorio, aunque con diferencias en la magnitud del sesgo y en la sensibilidad frente a los cambios en la escala. Desde el punto de vista metodológico, la formalización matemática de estas relaciones permite objetivar las diferencias individuales y constituye una herramienta fundamental para el desarrollo de modelos basados en inteligencia artificial. La identificación de interceptos distintos de cero y pendientes alejadas de la unidad resulta especialmente relevante, dado que dichos sesgos podrían trasladarse al entrenamiento del algoritmo si no se consideran en el proceso de estandarización de la base de datos.

Este análisis refuerza la importancia de validar estadísticamente las estimaciones humanas antes de utilizarlas como referencia en el desarrollo de herramientas automatizadas de clasificación.

#### Análisis de coeficientes de correlación de Pearson

Debido a los resultados previamente planteados y a la conclusión de que hay diferencias significativas en la estimación de la condición corporal, se vio la necesidad de analizar estos datos con mayor profundidad.

Teniendo en cuenta que las medias y los desvíos estándar de cada evaluador reflejan variaciones en el criterio individual de clasificación, se justificó la necesidad de analizar el grado de correlación entre evaluadores y su relación con la evaluación considerada como real. Por esto es que, a continuación, se presenta la matriz de correlación de Pearson.

**Tabla 13**

*Coefficientes de correlación de Pearson entre la evaluación a campo y por evaluador*

	REAL	ANA	FRANCISCO	MAURICIO
REAL	1	0,91	0,821	0,852
ANA	0,913	1	0,792	0,86
FRANCISCO	0,821	0,79	1	0,81
MAURICIO	0,852	0,86	0,81	1

Esta tabla presenta los coeficientes de correlación de Pearson entre la condición corporal estimada a campo y las estimaciones realizadas por cada evaluador a partir del análisis de imágenes, así como las correlaciones entre los propios evaluadores.

Los resultados muestran una alta correlación positiva entre la evaluación real y la realizada por Ana ( $r = 0,913$ ), lo que indica una muy fuerte asociación entre ambos métodos de estimación siendo este el valor más alto entre los tres evaluadores, es un resultado esperado debido a que es la persona con mayor experiencia. Asimismo, las

correlaciones entre la evaluación real y las realizadas por Mauricio ( $r = 0,85$ ) y Francisco ( $r = 0,821$ ) también fueron elevadas, evidenciando una buena concordancia general entre la clasificación a campo y la clasificación basada en imágenes, pero por su temprana experiencia era de esperar un valor menor que la evaluadora Ana.

En cuanto a la correlación entre evaluadores, se observaron valores igualmente altos, destacándose la asociación entre Ana y Mauricio ( $r = 0,86$ ), seguida de las correlaciones entre Mauricio y Francisco ( $r = 0,81$ ). Estos resultados sugieren que, si bien existen diferencias individuales en los valores promedio asignados por cada evaluador, el patrón general de clasificación de la condición corporal es consistente entre observadores, lo que respalda la validez del uso de imágenes como herramienta para la estimación de la condición corporal en vacas de cría así como la utilización de los datos obtenidos para su incorporación y entrenamiento de la red neuronal del sistema de inteligencia artificial y posterior uso en la aplicación.

## 5 SINTESIS Y CONCLUSIONES

El presente Trabajo Final de Grado permitió generar una base de datos estructurada y técnicamente validada de imágenes de vacas de cría multíparas correctamente clasificadas por condición corporal, destinada a servir como insumo para el desarrollo de una aplicación basada en inteligencia artificial.

El rodeo evaluado presentó una condición corporal promedio de 3,42 ( $\pm 0,66$ ), con un rango entre 2 y 5,5, lo que aseguró una variabilidad adecuada para construir una base representativa de distintos estados corporales. Esta amplitud resulta fundamental para el entrenamiento de modelos de aprendizaje automático.

Los análisis estadísticos demostraron que la estimación de la condición corporal mediante imágenes se asocia fuertemente con la evaluación realizada a campo. Los modelos de regresión lineal ajustados para cada evaluador fueron altamente significativos ( $p < 0,0001$ ), con coeficientes de determinación elevados ( $r^2$  entre 0,67 y 0,83), lo que indica una adecuada capacidad predictiva de las estimaciones de escritorio respecto a los valores reales.

El análisis de varianza mostró diferencias significativas entre observadores ( $F = 10,66$ ;  $p < 0,0001$ ); sin embargo, el efecto del evaluador explicó solo el 4,9 % de la variabilidad total. Esto indica que, aunque existen diferencias individuales en el criterio de clasificación, la mayor proporción de la variabilidad se debe a la variación natural, es decir, al error experimental, esto indica la necesidad de mejorar la forma del análisis, ya sea cambiando la metodología de obtención de las imágenes o la forma de evaluarlas.

Los coeficientes de correlación de Pearson mostraron asociaciones altas entre la evaluación a campo y la realizada mediante imágenes ( $r = 0,82-0,91$ ), así como una elevada consistencia entre evaluadores. Estos resultados refuerzan la reproducibilidad del método y respaldan la utilización de imágenes como herramienta válida para estimar la condición corporal.

En conjunto, los resultados respaldan la viabilidad técnica y estadística de la estimación de la condición corporal mediante imágenes. La base de datos generada constituye un aporte relevante para el desarrollo de herramientas digitales aplicadas a la ganadería de cría, con potencial para mejorar la objetividad, repetibilidad y eficiencia en la evaluación del estado corporal, contribuyendo al proceso de digitalización del sector ganadero en Uruguay.

## 6 BIBLIOGRAFÍA

- Andiarena Salvioli, F., & Gardiol Revello, N. (2024). *Actualización de la base de datos del programa condición corporal para la raza Hereford* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibri. <https://hdl.handle.net/20.500.12008/47077>
- Bartle, S. J., Males J. R., & Preston, R. L. (1984). Effect of energy intake on the postpartum interval in beef cows and the adequacy of the cow's milk production for calf growth. *Journal of Animal Science*, 58(5), 1068-1074. <https://doi.org/10.2527/jas1984.5851068x>
- Carreño García, M. (2024). *Actualización de la base de datos de condición corporal en la raza Angus de Uruguay* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Servicio de corrección bibliográfica. <http://tesis.fagro.edu.uy/index.php/tg/catalog/view/321/222/6678>
- Espasandin, A. C., Larracharte Cardoso, A., & Pérez, N. (2023). Guided classification measurement of body condition in beef cows. *Agrociencia Uruguay*, 27, Artículo e1165. <https://doi.org/10.31285/AGRO.27.1165>
- Espasandin, A. C., & Pérez, N. (2015). Nuevas tecnologías para calificar la condición corporal en vacas de cría. *Cangüé*, (36), 8-11. [https://cangu.eemac.edu.uy/index.php?download\\_pdf=1&pdf\\_id=268](https://cangu.eemac.edu.uy/index.php?download_pdf=1&pdf_id=268)
- Ferrell, C. L. & Jenkins, G. (1984). Energy utilization by nature, nonpregnant, nonlactating cows of different types. *Journal of Animal Science*, 58(1), 234-243. <https://doi.org/10.2527/jas1984.581234x>
- Gaimari Staehle, K., & Peñagaricano Sosa, E. (2017). *Entrenamiento en la calificación de la condición corporal mediante el software Cond Corp*. [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibri. <https://hdl.handle.net/20.500.12008/18647>
- Gorga, L., & Piegas, F. (2024). Cadena de la carne vacuna: Situación y perspectivas. En *Anuario OPYPA 2024*. MGAP. <https://descargas.mgap.gub.uy/OPYPA/Anuarios/Anuarioopypa2024/CP/2/CP2web/CP2-Cadenadelacarne.pdf>
- IA para reconocimiento de imágenes: Qué es, cómo funciona, y ejemplos. (2025, 1 de julio). Shaip. <https://es.shaip.com/blog/what-is-ai-image-recognition-and-how-does-it-work/>
- Oficina de Estadísticas Agropecuarias (2015). *Regiones agropecuarias del Uruguay*. MGAP. [https://medios.presidencia.gub.uy/tav\\_portal/2015/noticias/NO\\_Q238/mgap.pdf](https://medios.presidencia.gub.uy/tav_portal/2015/noticias/NO_Q238/mgap.pdf)

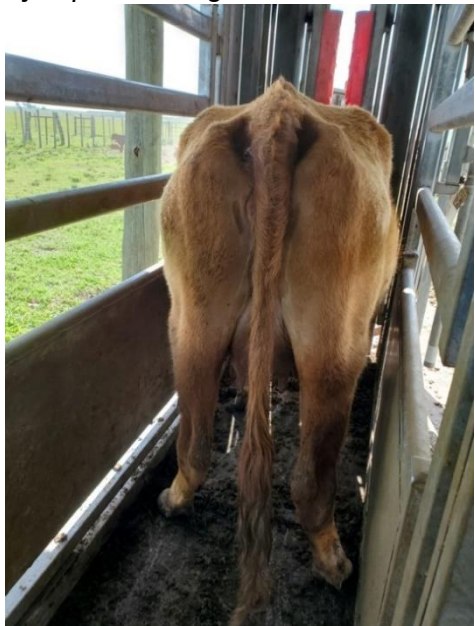
- Orcasberro, R. (1997). Estado corporal, control del amamantamiento y performance reproductiva de rodeos de cría. En M. Carámbula, D. Vaz Martins & E. Indarte (Eds.), *Pasturas y producción animal en áreas de ganadería extensiva*. (2ª ed., pp. 158-169). INIA.
- Real Academia Española. (s.f.). Almidón. En *Diccionario de la lengua española* (23ª ed.). <https://dle.rae.es/almid%C3%B3n>
- Rovira, J. (1996). *Manejo nutritivo del rodeo de cría en pastoreo*. Hemisferio Sur.
- Saravia, A., Cesar, D., Montes, E., Taranto, V., & Pereira, M. (2011). *Manejo de rodeo de cría sobre campo natural*. Plan Agropecuario. [https://www.planagropecuario.org.uy/uploads/libros/21\\_manual.pdf](https://www.planagropecuario.org.uy/uploads/libros/21_manual.pdf)
- Scaglia, G. (1997). *Nutrición y reproducción de la vaca de cría: Uso de la condición corporal*. INIA. <https://inia.uy/sites/default/files/publications/2025-03/st91-1997.pdf>
- Short, R., Bellows, R. A., Staigmiller, R. B., Berardinelli, J. G., & Custer, E. E. (1990). Physiological mechanisms controlling anestrus and infertility in postpartum beef cattle. *Journal of Animal Science*, 68(3), 799-816. <https://doi.org/10.2527/1990.683799x>
- Simeone, A. (1995). Destete precoz: Una alternativa tecnológica para incrementar la productividad del rodeo de cría. *Cangüé*, 2(5), 22-27. <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/44685/1/Simeone%20c3%81lvaro.pdf>
- Simeone, A., Beretta, V., & Fonseca, F. (1999). Destete precoz y comportamiento reproductivo de vacas de cría en Uruguay. En A. Simeone & V. Beretta (Eds.), *4a Jornada anual de la Unidad de Producción Intensiva de Carne: Destete precoz: Fundamentos, realidad y perspectivas de la tecnología en Uruguay*. (pp. 1-7). UPIC. <https://hdl.handle.net/20.500.12008/44625>
- Simeone, A., & Lobato, J. F. P. (1996). Efeito da lotação animal em campo nativo e do controle de amamentação no comportamento reproductivo de vacas de corte primíparas. *Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia*, 25(6), 1216-1227.
- Simeone, A., Trujillo, A. I., Córdoba, G., Gil, J., & Rodríguez, M. (1996). Performance reproductiva de Vacas Hereford sometidas a destete precoz. En Asociación Uruguaya de Producción Animal (Org.), *Congreso Uruguayo de Producción Animal* (pp. 235-237). Universidad de la República.
- Soares de Lima, J. M., & Tiscornia, G. (2025). Digitalización del agro: Oportunidades para una ganadería sostenible. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, 33(Supl.1), 573-578. <https://doi.org/10.53588/alpa.330510>

- Soca, P., & Simeone, A. (1998). *Manejo del rodeo de cría en base a estado corporal, altura del pasto y control del amamantamiento*. Instituto Plan Agropecuario; INIA. <https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/6777/1/INIA-PLAN-1998-Cartilla-7.pdf>
- Taranto, V. (2021). *La condición corporal en el manejo de la vaca de cría: Período posparto-entore*. MGAP; Plan Agropecuario; BID. <https://www.planagropecuario.org.uy/uploads/filemanager/source/2021/Librillos/pdf/Manejo%20de%20la%20vaca%20de%20cr%C3%ADa%20seg%C3%BAn%20condic%C3%B3n%20corporal.pdf>
- Vizcarra, J. A., Ibáñez, W., & Orcasberro, R. (1986). Repetibilidad y reproductibilidad de dos escalas para estimar la condición corporal en vacas Hereford. *Investigaciones Agronómicas*, (7), 45-47. <https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/5982/1/Inv.Agr.-1986-No.7.pdf>
- Williams, G. L. (1990). Suckling as a regulator of post-partum rebreeding in cattle: A review. *Journal of Animal Science*, 68(3), 831-852. <https://doi.org/10.2527/1990.683831x>

## 7 ANEXO

**Figura A1**

*Ejemplo de imagen considerada adecuada para la evaluación de la condición corporal*



**Figura A2**

*Ejemplo de imagen considerada adecuada para la evaluación de la condición corporal*



**Figura A3**

*Ejemplo de imagen considerada adecuada para la evaluación de la condición corporal*

**Figura A4**

*Ejemplo de imagen considerada adecuada para la evaluación de la condición corporal*

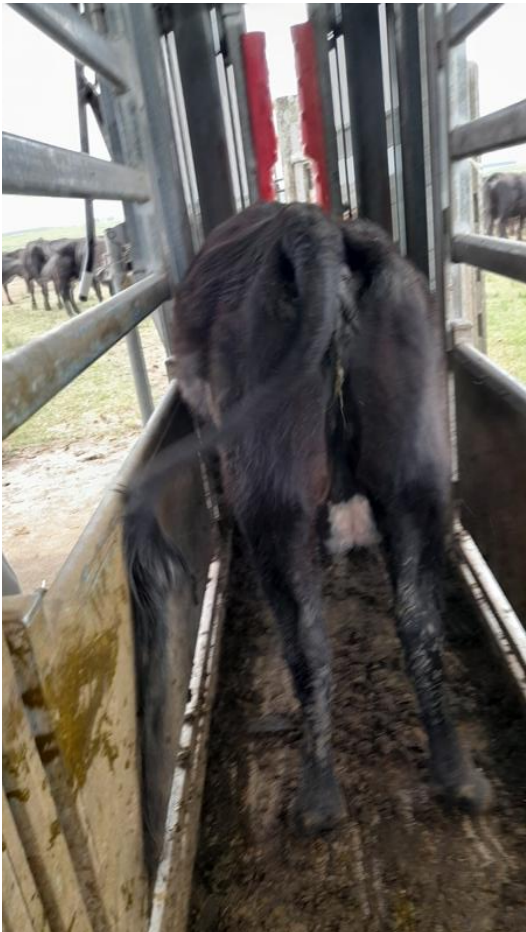


**Figura A5**

*Ejemplo de imagen considerada adecuada para la evaluación de la condición corporal*

**Figura A6**

*Ejemplo de imagen descartada por desenfoco*

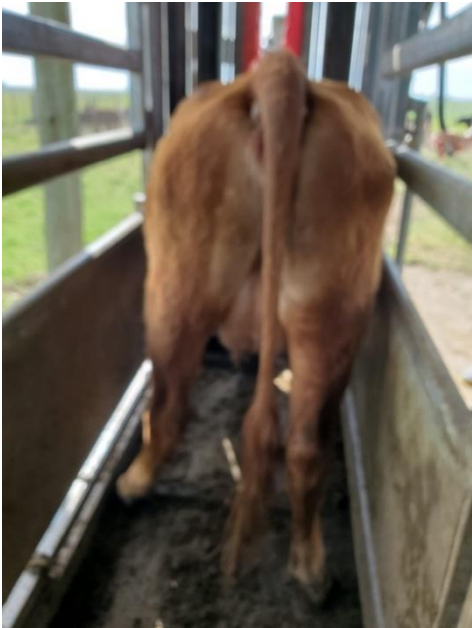


**Figura A7**

*Ejemplo de imagen descartada por desenfoque*

**Figura A8**

*Ejemplo de Imagen descartada por desenfoque*



**Figura A9**

*Ejemplo de imagen descartada por orientación inadecuada del animal*

**Figura A10**

*Ejemplo de imagen descartada por orientación inadecuada del animal*



**Figura A11**

*Ejemplo de imagen descartada por orientación inadecuada del animal*

**Figura A12**

*Ejemplo de imagen descartada por mala exposición o iluminación excesiva*



**Figura A13**

*Ejemplo de imagen descartada por mala exposición o iluminación excesiva*

