

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

**HERENCIA DE LA PIGMENTACIÓN OCULAR EN EL RODEO
HEREFORD DE LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL MARIO A.
CASSINONI**

por

Lucía CLERICI YOUNG

Valeria MARTINEZ PEREYRA

**Trabajo Final de Grado
presentado como uno de los
requisitos para obtener el
título de Ingeniero Agrónomo**

MONTEVIDEO

URUGUAY

2023

Página de aprobación

Trabajo final de grado aprobado por:

Director/a:

Ing. Agr. PhD. Ana Carolina Espasandín

Tribunal:

Lic. PhD. Eugenio Jara

Ing. Agr. MSc. Andrea Larracharte

Ing. Agr. Micaela Botta

Fecha:

16 de noviembre de 2023

Estudiantes:

Lucía Clérici Young

Valeria Martínez Pereyra

Agradecimientos

En primer lugar, queremos agradecer a Ana, por su apoyo y acompañamiento sin cansancio en el proceso de tesis, por su vocación como profesora y su enfoque en el bienestar estudiantil.

Queremos agradecer a nuestras familias que nos han acompañado y apoyado a lo largo de todo el proceso como estudiantes de Facultad, haciendo posible nuestras estadías en Montevideo, Salto y Paysandú.

A todas nuestras amistades forjadas gracias a la Facultad de Agronomía y la Estación Experimental Mario A. Cassinoni en Paysandú. También a quienes nos hemos cruzado y han seguido sus caminos fuera de facultad.

A los profesores y funcionarios de facultad, por haber generado en nosotros oportunidades de crecimiento personal y habernos desafiado como personas.

Este trabajo representa para mí el final de una etapa de mi vida, momento sumamente esperado e importante para mí, por los desafíos y oportunidades que generaron en mi vida. Se cierra un ciclo, y comienza uno nuevo. Aprovecho este espacio para dejar por escrito mi profundo agradecimiento a las personas y lugares que me hacen ser la mujer que soy hoy.

A mis padres, María y Rafael, ejemplos de resiliencia. Gracias a ellos entendí que mi vocación misionera trasciende mi profesión y el lugar en donde esté. Y sin importar el nivel de dificultad, con el apoyo de la familia, la carga se hace menos pesada.

A mi hermana Magdalena, por su incansable apoyo, su fortaleza, que me complementa al momento de tomar decisiones y enfrentar los desafíos cotidianos. Mi hermano menor, Tito, ejemplo de sabiduría y paciencia. Mi hermano mayor, Tato, quien, a pesar de la distancia, es fuente de inspiración y ejemplo de humanidad.

A Carmen, Antonio, Jimmy y Jorge, miembros de mi familia que dejaron de estar presente durante mis años como estudiante universitaria, quienes fueron clave en mi historia y forman parte de quien soy hoy. A mi abuela Mima, ejemplo de fe y vida contemplada con ojos de amor y alegría infinita.

A mis tíos Alfredo y Cristina, quienes, sin darse cuenta, fueron clave en el descubrimiento de mi vocación por el campo.

A Cami y Marle, amistades sin tiempo ni frontera.

A mi comunidad Igorte; mi familia ampliada de primos y tíos; mis compañeros de Maturana; mis compañeros del Juan XXIII; a la Asociación Rural del Uruguay, su gremial joven, y las amistades que me regaló, Vicky, Caro, Mica.

A Agustín quien se suma en este último tiempo como compañero de vida.

Lucía

Aprovecho este espacio para agradecer enormemente a mi familia, mis padres Aldemar y Marys que me permitieron emprender este viaje al conocimiento, apoyándose incansablemente durante toda la etapa, sin ellos esto no hubiera sido posible. También agradecer a mi compañero de vida Emiliano que fue sin duda un apoyo incondicional durante toda la carrera, siempre incentivándome a continuar y superarme día a día, así como también a su familia los cuales siempre han estado presentes, pendientes de mí y atentos a gran parte de este proceso.

Agradecida con mis compañeros/as y amigos/as que conocí a lo largo de este proceso, que formaron parte de mi vida durante todos estos años y que seguirán formando parte de ella.

Agradezco enormemente a la Facultad por enseñarme y darme tantas herramientas invaluable, las cuales no obtendré en otro lugar, conocimientos, amigos que solo pude conocer ahí, mi pareja con quien comparto esta hermosa carrera, lugares y compañeros/as únicos que conocí a través de los diferentes cursos e instancias de la carrera.

Solo me queda por decir, GRACIAS.

Valeria

Tabla de Contenido

Página de aprobación	2
Agradecimientos	3
Lista de tablas y figuras.....	7
Resumen.....	8
Abstract	9
Introducción	10
Revisión Bibliográfica	12
Pigmentación Ocular.....	12
Escala de Medición de la Pigmentación en Bovinos.....	12
Origen Genético de la Pigmentación	15
Melanina: Pigmento de la Piel	15
Producción del Pigmento	16
Melanogénesis.....	18
Heredabilidad de la Pigmentación Ocular.....	21
Razas con Despigmentación Ocular.....	22
Consecuencias de la No Pigmentación	24
Enfermedades Asociadas	25
Carcinoma Ocular de Células Escamosas.....	25
Queratoconjuntivitis Infecciosa Bovina.....	25
Objetivos	27
Objetivos Generales	27
Objetivos Específicos.....	27
Materiales y Métodos	28
Muestreo de los Animales.....	28
Procesamiento y Análisis Estadístico.....	30
Respuesta a la Selección y Heredabilidad Realizada.....	31
Resultados y Discusión	33
Parámetros Estadísticos de Tendencia Central y Dispersión.....	33
Frecuencia Observada, Relativa y Relativa Acumulada.....	35
Distribución Normal.....	39

Relación Padres e Hijos	42
Respuesta a la Selección y Heredabilidad realizada	43
Implicancias	45
Conclusiones	46
Referencias Bibliográficas	47

Lista de tablas y figuras

Tabla No.

Tabla 1. Resumen información de padres.....	29
Tabla 2. Descripción estadística de población de terneros y madres.....	33
Tabla 3. Frecuencia de pigmentación ocular promedio en vacas de cría.....	36
Tabla 4. Frecuencia de pigmentación ocular promedio en terneros.....	38

Figura No.

Figura 1. Escala de pigmentación ocular en bovinos.....	13
Figura 2. Determinación de porcentaje de pigmentación periocular en ganado Hereford	14
Figura 3. Ejemplos de diferentes determinaciones de pigmentación del párpado	15
Figura 4. Estratos de la epidermis y acercamiento del complejo melano-epidérmico	17
Figura 5. Esquema general de las cuatro etapas de la melanogénesis	19
Figura 6. Esquema del proceso de selección y los parámetros involucrados en la heredabilidad realizada.....	32
Figura 7. Frecuencia observada pigmentación de piel ocular (izquierda) y pigmentación de pelo en región periocular (derecha) de vacas de cría.....	37
Figura 8. Frecuencia observada pigmentación de piel ocular (izquierda) y pigmentación de pelo en región periocular (derecha) de terneros.	39
Figura 9. Función de densidad normal de pigmentación ocular de vacas.....	40
Figura 10. Función de densidad normal de pigmentación de pelo de vacas	40
Figura 11. Función de distribución normal para pigmentación ocular de terneros	41
Figura 12. Función de distribución normal para pigmentación de pelo de terneros	41
Figura 13. Relación entre PO promedio de padres y los hijos.....	42
Figura 14 Relación entre PP promedio de padres y los hijos.....	43

Resumen

La pigmentación ocular en bovinos tiene que ver con la presencia de pigmento melanina en la región periocular. La misma presenta propiedades fotoprotectoras, por lo que ha sido de interés. Se ha estudiado la relación entre el grado de pigmentación ocular y la incidencia de enfermedades. A su vez, esta característica es heredable por lo que, a través de la selección genética, se puede aumentar el grado de pigmentación disminuyendo así, la incidencia de enfermedades. El presente trabajo, realizado en mayo de 2023, consiste en una caracterización de la pigmentación ocular del rodeo de cría Hereford de la Estación Experimental Mario A. Cassinoni, de la Facultad de Agronomía de la Universidad de la República. Se muestrearon un total de 51 terneros nacidos en 2022 y 51 vacas de cría utilizando la escala propuesta por la Sociedad de Criadores Hereford de Uruguay: de 0 a 100%, con intervalos de 25%. La población de terneros presentó un promedio general de pigmentación ocular, de ambos ojos, de 90%, mientras que el de las madres fue de 77%. La inseminación se realizó con toros 100% pigmentados, con el fin de alcanzar rápidos progresos genéticos a favor de la pigmentación. El 82% de los terneros muestreados presentaron un 100% de pigmentación promedio de ambos ojos; mientras que, el 61% de las vacas presentaron 100% de pigmentación ocular. La relación entre pigmentación ocular promedio de los padres y los hijos se estudió a través de una función polinómica de segundo grado: $y = -0,0297 x^2 + 6,1369 x - 215,98$, ajustada con un r^2 de 0,9534. Es decir que por cada 25% de aumento en la pigmentación ocular de los padres, los hijos aumentan en 6,13%, estancándose en valores cercanos a 80-90 %.

Palabras clave: pigmentación ocular, melanina, melanogénesis, heredabilidad, Hereford, enfermedades

Abstract

Ocular pigmentation in cattle is related to the presence of melanin pigment in the periocular region. It has photoprotective properties, which is why it has been of interest. The relationship between the degree of ocular pigmentation and the incidence of diseases has been studied. In turn, this characteristic is heritable so, through genetic selection, the degree of pigmentation can be increased, thus reducing the incidence of diseases. The present work, carried out in May 2023, consists of a characterization of the ocular pigmentation of the Hereford breeding herd of the Mario A. Cassinoni Experimental Station, Faculty of Agronomy, University of the Republic. A total of 51 calves born in 2022 and 51 breeding cows were sampled using the scale proposed by the Uruguayan Hereford Breeders Society: from 0 to 100%, with 25% intervals. The calf population had an overall average eye pigmentation, both eyes, of 90%, while that of the dams was 77%. Insemination was performed with 100% pigmented bulls, in order to achieve rapid genetic progress in favor of pigmentation. Eighty-two percent of the calves sampled had 100% average pigmentation of both eyes, while 61% of the cows had 100% eye pigmentation. The relationship between average eye pigmentation of parents and offspring was studied through a second degree polynomial function: $y = -0.0297x^2 + 6.1369x - 215,98$, adjusted with an r^2 of 0.9534. That is to say that for every 25% increase in the ocular pigmentation of the parents, the offspring increase by 6.13%, stagnating at values close to 80-90%.

Keywords: ocular pigmentation, melanin, melanogenesis, heritability, Hereford, diseases

Introducción

La ganadería en Uruguay es uno de los principales rubros característicos del país, con un stock bovino en 2021 de 11,83 millones. En el año mencionado representó un 4,7% del Producto Bruto Interno (PIB), posicionándose como el principal sector exportador del país. Las exportaciones de carne fueron el 84% de ventas externas del cual el 67% corresponde a carne vacuna. El destino principal de la carne uruguaya es Asia y Medio Oriente (63%) (UruguayXXI, 2022).

Dada la importancia económica que representa la carne vacuna para el país, se ha invertido a lo largo de la historia en agregar valor al producto. Se destaca el desarrollo de investigaciones para generar un producto sustentable. Una de las principales razas pioneras en el tema es la raza Hereford, la cual es desarrollada en el presente trabajo.

Hereford es una raza bovina carnicera británica. En 1864 llegan a Uruguay los primeros toros pedigrí, importados por las cabañas “Las Averías” y “La Torre Alta”, ingresando así la primera genética Hereford al país. En 1946 se funda la Sociedad Criadores de Hereford en Uruguay (Hereford Uruguay, 2023). Desde 1993, se incluye en el programa de mejoramiento de la raza la estimación de valores genéticos (o Diferencia Esperada en la Progenie, EPDs) (de Mattos, 1997).

Desde julio 2009 hasta la actualidad se publica anualmente la Evaluación Genética Panamericana, trabajo realizado por la Sociedad de Criadores Hereford de Uruguay en conjunto con organizaciones de Argentina, Estados Unidos y Canadá. La información se reúne, procesa y se publica de forma accesible para productores y criadores, a través de un convenio entre el Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA) y otras instituciones internacionales (<https://www.geneticabovina.com.uy/>).

El marco histórico, la infraestructura institucional y la inversión en desarrollo e investigación, destaca el valor de la raza a nivel nacional. A su vez, permite visualizar la importancia de la selección genética en la evolución de la misma.

Es en este contexto que, se siguen incluyendo características deseadas en la selección genética. En el presente trabajo, se profundiza en la importancia de la pigmentación ocular en la mejora genética.

Estudiar el color de la piel de los bovinos tiene un interés científico, pero también económico, dado que hay varias enfermedades oculares que se relacionan a la despigmentación de los párpados, tales como la queratoconjuntivitis infecciosa y el carcinoma ocular de células escamosas, ambas afectando la producción final (Jara et al., 2020).

Según Jara et al. (2022) “la pigmentación de los parpados está relacionada con la producción de pigmento de melanina en los melanocitos de la piel” (p. 2).

El objetivo principal de este trabajo es describir la pigmentación ocular en el rodeo de cría Hereford de la Estación Experimental Mario A. Cassinoni, así como determinar el grado de heredabilidad logrado en el rodeo.

Revisión Bibliográfica

Pigmentación Ocular

La pigmentación ocular en bovinos se refiere al color y la presencia de pigmento en la región periocular, formada por párpado superior e inferior. En bovinos, los ojos pueden presentar diferentes grados de pigmentación, desde totalmente pigmentados hasta ninguna pigmentación.

La pigmentación es altamente hereditaria y está regulada por factores genéticos, ambientales y endócrinos modulando la cantidad, el tipo y distribución de melanina en la piel, el pelo y los ojos (Costin & Hearing, 2007).

Este carácter es importante en el ganado bovino debido a que el pigmento actúa como una protección natural contra la radiación ultravioleta y la luz intensa. Los ojos con alta pigmentación están mayormente protegidos contra efectos dañinos como la radiación solar (García, 2012).

La pigmentación de la piel es compleja dada la cantidad de genes que se ven involucrados y la influencia ambiental a la que es expuesta.

Escalas de Medición de la Pigmentación en Bovinos

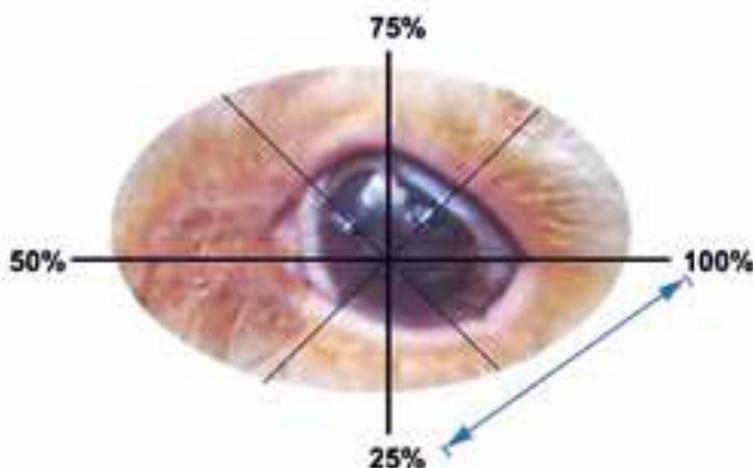
Existen diversas escalas para determinar pigmentación ocular en bovinos, las cuales difieren en el método para medir y clasificar la característica en cuestión.

Una de las escalas utilizadas, para determinar el área ocular pigmentada, consiste en una cartilla, la cual fue propuesta por la Sociedad de Criadores de Hereford del Uruguay (SCHU), con el fin de facilitar y estandarizar el proceso.

La escala estima la proporción del párpado con mucosa oscura (o no blanca) la misma va de 0 a 100%. Como se observa en la Figura 1, para facilitar la observación y clasificación, se divide el ojo en cuatro cuadrantes, cada uno de estos representa un 25%. A su vez, en caso de ser necesario, se divide cada cuadrante a la mitad para redondear el valor (Spiazzi, 2020).

Figura 1

Escala de pigmentación ocular en bovinos



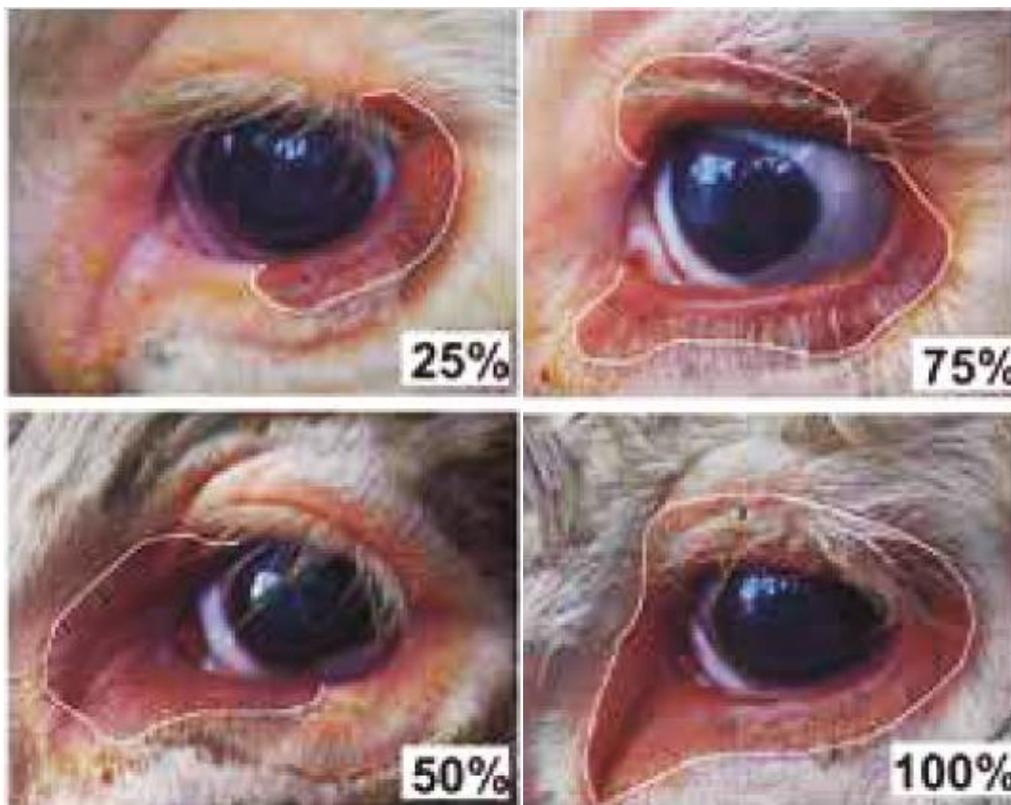
Nota. Tomado de Spiazzi (2020)

La escala utilizada corresponde a los siguientes porcentajes de pigmentación estimados: 0% - 25% - 50% - 75% - 100%. A modo de ejemplo, si se observan dos cuadrantes pigmentados, el valor es de 50%; en cambio, si hay tres cuartos pigmentados, corresponde a un 75%, y así sucesivamente. Llegado el caso, si un cuadrante no es completamente pigmentado, se divide el mismo en dos (octavos), si la coloración sobrepasa un octavo, se le asigna el cuadrante posterior, de lo contrario se toma el valor del cuarto anterior (Spiazzi, 2020).

En la siguiente Figura 2 se aprecia, a modo de ejemplo, la proporción estimada de zona pigmentada y consecuentemente la asignación del porcentaje del área coloreada.

Figura 2

Determinación de porcentaje de pigmentación periocular en ganado Hereford



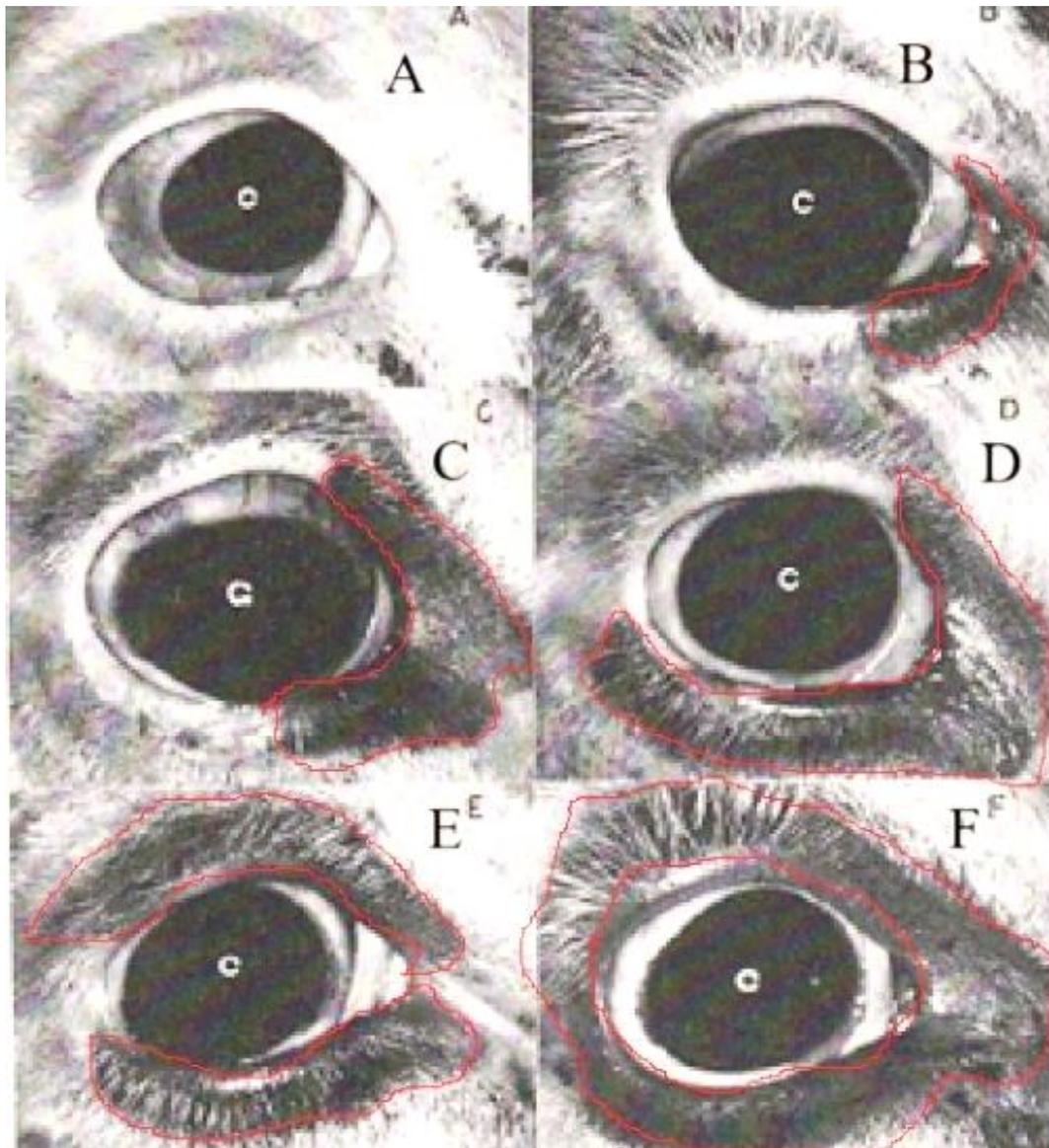
Nota. Extraído de Spiazzi (2020).

Por otra parte, Anderson et al. (1957) en su investigación realizada en Oklahoma (EE. UU.), para determinar la herencia de pigmentación de los párpados en ganado Hereford, utilizaron una escala diferente.

La misma, consiste en dividir la longitud del párpado en 100 fracciones iguales y se van registrando el número de fracciones pigmentadas, de esta manera se estima un porcentaje de área coloreada. En la Figura 3 se visualiza diferentes ejemplos de determinación de pigmentación.

Figura 3

Ejemplos de diferentes determinaciones de pigmentación del párpado



Nota. A: 0% pigmentado; B tiene 20% de pigmentación; C tiene 40% de pigmentación; D tiene 50% de pigmentación; E tiene 90% de pigmentación; y, F es 100% pigmentado. Tomado de Anderson et al. (1957).

Origen Genético de la Pigmentación***Melanina: Pigmento de la Piel***

La *melanina* es el principal pigmento responsable de la coloración de la piel, cabello y ojos, tanto de animales como de humanos. El mismo lleva un nombre genérico proveniente del griego antiguo *melanos* que significa “oscuro”; la cual fue utilizada

para referirse a los pigmentos más resistentes, homogéneos y antiguos encontrados en la naturaleza (Solano, 2014).

Existen dos tipos principales de melanina: feomelanina y la eumelanina, la primera asociada principalmente a tonos rojos y amarillos, mientras que la segunda tiene que ver con tonos marrones y negros. Además del color, difieren en sus gránulos: el tamaño, forma y empaquetamiento de estos (Linn & Fisher, 2007; Solano, 2014).

La melanina se sintetiza en los melanocitos, a partir del proceso químico llamado melanogénesis. Los tipos de pigmento que se producirán estarán decididos por la disponibilidad de sustratos y la función de las enzimas involucradas en este proceso (López Cadena & Victoria Chaparro, 2019).

Según Costin y Hearing (2007) la melanina se exporta desde los melanocitos, a través de sus dendritas, a los queratinocitos, donde se encuentra la mayor proporción del pigmento y cumplen un rol fundamental en la fotoprotección.

López Cadena y Victoria Chaparro (2019) agregan otras propiedades beneficiosas: la absorción y dispersión de la luz; neutralización de radicales libres; reacciones de óxido-reducción acopladas; y, almacenamiento iónico.

Las diferencias de pigmentación pueden surgir de la variación en el número, tamaño, composición y distribución de los melanosomas, mientras que el número de melanocitos permanece relativamente constante (Linn & Fisher, 2007).

Investigaciones llevadas a cabo por Tsatmali et al. (2002) reafirman que el grado de pigmentación de la piel no está determinado por el número de melanocitos, sino por su nivel de actividad, así como por la transferencia de melanina a los queratinocitos. Por lo tanto, consideran que el grado de pigmentación se asocia con el nivel de actividad melanogénica y además en la transferencia de melanina a los queratinocitos.

Producción del Pigmento

La epidermis contiene un complejo funcional y estructural, llamado melano-epidérmico, compuesto por dos tipos celulares: los melanocitos y los queratinocitos. Si bien los melanocitos se encuentran en menor proporción, son los responsables de la síntesis de melanina. Éstos, además, contienen los melanosomas, organelos

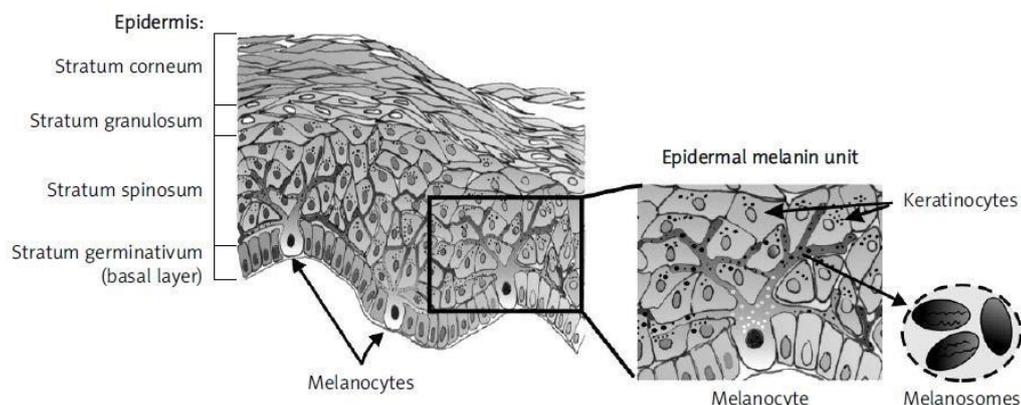
especializados en la producción del pigmento (Costin & Hearing, 2007; Delevoye et al., 2011; Seiji & Fitzpatrick, 1961).

Como se menciona anteriormente, en la epidermis hay mayor abundancia de queratinocitos que melanocitos. Sin embargo, estos últimos, presentan una forma alargada dendríticas lo que permite que, a través de sus ramificaciones, cada célula entre en contacto con aproximadamente 30 a 40 queratinocitos vecinos (Costin & Hearing, 2007; Tsatmali et al., 2002).

En la Figura 4 se puede apreciar un acercamiento del complejo melano-epidérmico con sus respectivos componentes (López Cadena & Victoria Chaparro, 2019).

Figura 4

Estratos de la epidermis y acercamiento del complejo melano-epidérmico



Nota. Tomado de López Cadena y Victoria Chaparro (2019).

Según López Cadena y Victoria Chaparro (2019), los melanocitos son células derivadas de la cresta neural, la cual a su vez es parte del neuroectodermo.

Las células precursoras de los melanocitos se denominan melanoblastos. Estos migran, proliferan y se diferencian a medida que se trasladan a sus destinos finales en la epidermis basal y folículos pilosos. La distribución precisa varía entre especies (Costin & Hearing, 2007; Tsatmali et al., 2002).

El ciclo de vida de los melanocitos consiste en varias etapas que incluyen: la especialización de las células de la cresta neural embrionarias (melanoblastos); la migración y proliferación de los melanoblastos; diferenciación de melanoblastos en melanocitos; maduración de melanocitos (producción de melanina en organelas

especiales llamadas melanosomas); adquirir su morfología dendrítica; el transporte de los melanosomas maduros a los queratinocitos; y, su eventual muerte celular (Ernfors, 2010; O'Rahilly & Müller, 2007; citados en López Cadena & Victoria Chaparro, 2019).

Según Linn y Fisher (2007), en el proceso de migración de los melanocitos, participan varias vías de señalización y factores de transcripción estrechamente ligados. Las mutaciones en genes que codifican dichos factores pueden originar alteraciones en la pigmentación, como por ejemplo la hipopigmentación (manchas blancas).

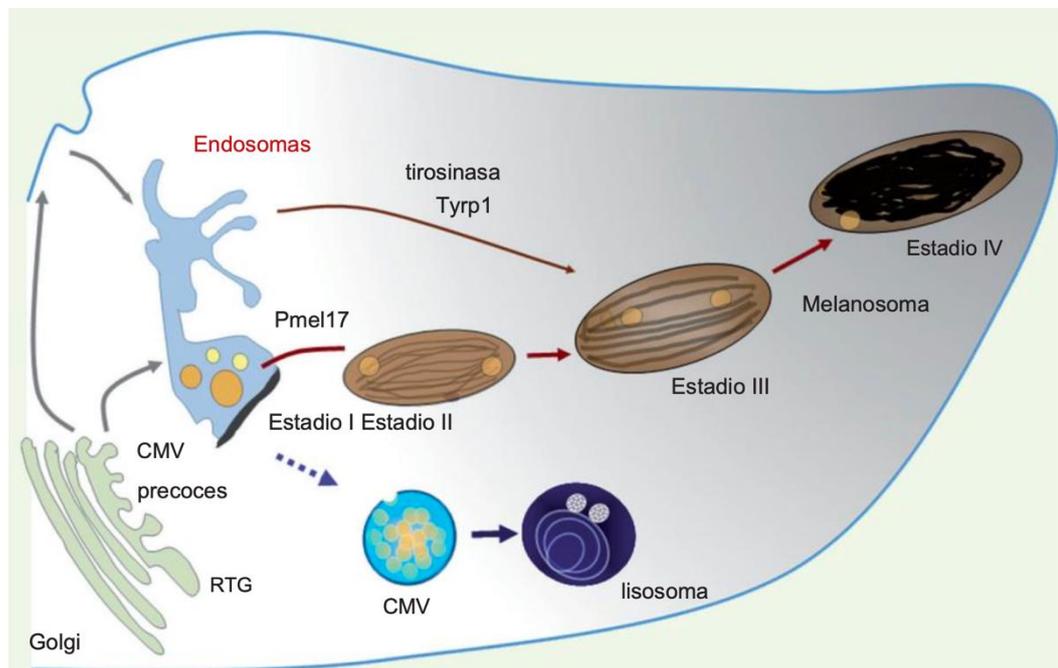
Melanogénesis

Una vez que los melanocitos alcanzan su destino (desde la cresta neural) comienza el desarrollo de melanosomas y producción de melanina a través de un proceso complejo denominado melanogénesis (Costin & Hearing, 2007; López Cadena & Victoria Chaparro, 2019).

La melanogénesis consta de cuatro estadios de maduración del melanosoma, como se puede observar en la Figura 5. En los estadios I y II se genera una estructura inmadura no pigmentada (premelanosoma), que sigue desarrollándose a melanosomas pigmentados en los estadios III y IV. Posteriormente son transferidos a los queratinocitos (Delevoye et al., 2011).

Figura 5

Esquema general de las cuatro etapas de la melanogénesis



Nota: Tomado de Delevoye et al. (2011).

Etapa I. En la etapa I, según Costin y Hearing (2007) los melanosomas nacientes se ensamblan en la región perinuclear cerca del aparato de Golgi, donde reciben todas las proteínas enzimáticas y estructurales necesarias para la melanogénesis. En este punto, los melanosomas son una vesícula redondeada con matriz amorfa (López Cadena & Victoria Chaparro, 2019).

Sobre este punto, no existe actividad de la tirosinasa (TYR), principal enzima de la melanogénesis, ni componentes estructurales internos. La presencia y el correcto procesamiento de Pmel17, una importante proteína estructural melanosomal, determinan la transformación de la melacina en estadio I (Costin & Hearing, 2007).

Etapa II. Si bien las proteínas TYR y dopacromo tautomerasa (DCT) se clasifican en la etapa anterior, es este momento donde se halla la actividad de las mismas (Kushimoto et al., 2001).

Si bien se hay actividad de la TYR, la síntesis de pigmento no inicia aún. Para la maduración completa de los melanosomas se necesita un aumento del pH intra melanosómico de 5 a 6,8, el cual depende de la proteína “q” que actúa como bomba

de protones en la membrana. En esta etapa, los melanosomas presentan una matriz fibrilar estructural (López Cadena & Victoria Chaparro, 2019).

Etapa III. Según Costin y Hearing (2007), en esta etapa comienza la síntesis de melanina y el pigmento se deposita de forma uniforme en las fibras internas.

Etapa IV. Por último, los melanosomas alcanzan una forma elíptica o elipsoidal, y se encuentran altamente pigmentados (Costin & Hearing, 2007). En esta etapa, alcanzan la madurez, se pierde la actividad de la TYR y finalmente es transportado a los queratinocitos vecinos (López Cadena & Victoria Chaparro, 2019).

Estudios realizados por Brenner y Hearing (2008) determinaron que los genes TYR (Tirosina), TYRP1 (proteína 1 relacionada con la tirosinasa) y TYRP2 o DCT (DOPAcromo tautomerasa), codifican enzimas que intervienen en la calidad y cantidad de la producción de melanina.

Según Costin y Hearing (2007) la tirosinasa es responsable de los pasos fundamentales de la melanogénesis, factor limitante de la velocidad del proceso de hidroxilación de tirosina a dopaquinona; mientras que, TYRP1 y DCT, participan en la modificación de melanina en sus diferentes tipos.

Según Solano (2014), las melaninas animales eumelanina y feomelanina se sintetizan a partir del mismo precursor, el aminoácido L-tirosina, catalizado por la enzima tirosinasa.

La hidroxilación de tirosina a dopaquinona, representa un paso clave en el proceso y, es compartido en la formación de ambos tipos de melanina. Cualquier problema en este paso, puede representar alteraciones en la coloración (Linn & Fisher, 2007).

A partir de la dopaquinona, las rutas de la eumelanogénesis y feomelanogénesis divergen. Por un lado, TYRP1 y TYRP2 catalizan la síntesis de eumelanina (Delevoe et al., 2011). Mientras que la feomelanina se deriva de la conjugación de cisteína o glutatión.

Según Linn y Fisher (2007), la feomelanina es más foto lábil y puede producir, entre sus subproductos, peróxido de hidrogeno, superóxido, entre otros, que pueden causar más daños en el ADN.

Según Linn y Fisher (2007), la ausencia o difusión de tirosinasa y otras enzimas pigmentarias, pueden determinar albinismo oculocutáneo, es decir, que el melanocito se encuentra intacto, pero es incapaz de producir pigmento.

Mutaciones en las enzimas TYRP1, TYRP2 y DCT provocan cambios abruptos en la cantidad y calidad de melanina sintetizada. Cualquier mutación que afecte la función de la TYR puede provocar albinismo (Brenner & Hearing, 2008). Según Toyofoku et al. (2001), la TYRP1 participa en el transporte de tirosinasa a los melanosomas; por otra parte, Urabe et al. (1994), indican que la enzima DCT, parece ser relevante en la detoxificación dentro de los melanosomas. Por ello, mutaciones en estas enzimas provocan cambios importantes en la cantidad y calidad de melanina sintetizada (Brenner & Hearing, 2008).

Según Toyofoku et al. (2001), la TYRP1 participa en el transporte de tirosinasa a los melanosomas; por otra parte, Urabe et al. (1994), indican que la enzima DCT, parece ser relevante en la detoxificación dentro de los melanosomas. Por ello, mutaciones en estas enzimas provocan cambios importantes en la cantidad y calidad de melanina sintetizada (Brenner & Hearing, 2008).

Según Nordlund et al. (2006) mutaciones ocurridas en proteínas que están relacionados con la clasificación y tránsito a los melanosomas dan lugar a alteraciones hipopigmentarias hereditarios.

En resumen, durante las diferentes etapas de la melanogénesis pueden ocurrir alteraciones que generan defectos en la pigmentación, conocidas como hipopigmentación o hiperpigmentación. Estas pueden implicar o no cambios en el número de melanocitos (Linn & Fisher, 2007).

Heredabilidad de la Pigmentación Ocular

La heredabilidad es una medida que ayuda a entender cuánto de la variabilidad de una característica en una población, se debe a las diferencias genéticas entre individuos. Este parámetro permite entender hasta qué punto las diferencias en una característica observada en la población se debe a diferencias en los genes en comparación con otros factores ambientales, generalmente se expresa en el rango de 0 a 1 (Cardellino & Rovira, 1987).

En cuanto a la pigmentación ocular, se sabe que es influenciada por factores genéticos, así como también factores ambientales (Jara et al., 2020).

En el trabajo de Anderson et al. (1957), llevado a cabo en Oklahoma (EE.UU.), en bovinos Hereford, estudiaron la heredabilidad de la pigmentación ocular. Sus estimaciones arrojan valores que oscilan entre 0,44 y 0,46. Su trabajo evidencia que, las diferencias individuales en la característica mencionada, está condicionada por efectos genéticos aditivos en un 45%. Mientras que, el 55% puede estar explicado por otro tipo de efectos genéticos (epístasis, dominancia), ambientales o errores experimentales.

Por otro parte, García (2012) realiza una revisión bibliográfica con el objetivo de encontrar tratamientos para resolver el carcinoma de células escamosas en el ojo del bovino. En su trabajo resume que, seleccionar animales con pigmentación ocular representa una ventaja ante la enfermedad ya que, la heredabilidad de esta característica es de 0,44.

Trabajos realizados por Jara et al. (2022) busca profundizar en la base genética de la pigmentación ocular en ganado Hereford. El mismo se realizó en San José (Uruguay) en cuatro años consecutivos. Estimaron una heredabilidad de esta característica de 0,41 (moderadamente heredable). Estos hallazgos sugieren un margen importante para aumentar la pigmentación de los párpados a través de la selección genética.

Reimann et al. (2018) en Brasil realizaron un estudio en donde estimaron distintos parámetros genéticos utilizando pedigrí y fenotipo, en ganado Hereford y Braford.

Según el valor genético aditivo y la heredabilidad estimada en dicho trabajo, indican que existe la posibilidad de aumentar la pigmentación de los ojos por selección y, de esta manera, minimizar las pérdidas ocasionadas por enfermedades asociadas a la falta de este rasgo. (p. 46)

Razas con Despimentación Ocular

Según García (2012), los animales de cara blanca (no pigmentados), como las razas Hereford, son más susceptibles al carcinoma de células escamosas en el ojo. Sin embargo, sus cruza suelen ser menos susceptibles. Por otra parte, las razas que presentan pigmentación completa (Aberdeen Angus, por ejemplo) raramente presentan esta enfermedad.

Por otra parte, Jara et al. (2022), profundizan la asociación entre pigmentación ocular e incidencia de enfermedades como cáncer de ojo y queratoconjuntivitis

infecciosa bovina. En su investigación buscan identificar genes involucrados en la pigmentación en animales Hereford, como herramienta para la selección genética. Revelan que la pigmentación es hereditaria e influenciada por muchos loci.

Según Carvalho et al. (2012) citado en Cedeño et al. (2020) “dadas las características fenotípicas de la piel hipopigmentada del párpado y la zona esclerocorneal se describen razas con mayor predisposición a desarrollar carcinoma, entre ellas, Hereford, Holstein, Simmental, Ayrshire y Charolais” (p. 9).

Snowder et al. (2005) determinaron que el ganado Hereford ha mostrado mayor incidencia de queratoconjuntivitis infecciosa, a comparación de otras razas, atribuible a la despigmentación de los párpados.

En su tesis de grado, Tardiz y Rodons (2017) estudiaron “el grado de pigmentación de los tarsos oculares y cantos nasales de 1017 animales Hereford de distintas categorías en dos establecimientos” (p.7).

Además, relacionaron estadísticamente el grado de pigmentación con incidencia de lesiones en estructuras del globo ocular y anexos, hallando que el porcentaje de animales con lesiones fue de 22,8 %. Por otro lado, para estudiar la posible relación entre el porcentaje de pigmentación y la ocurrencia de lesiones, estimaron la correlación de Spearman y realizaron test de chi cuadrado, resultando en un coeficiente de -0.14 ($p < 0,001$). Este valor indica una relación significativamente diferente de cero, baja y negativa, lo que significa que, a mayor grado de pigmentación, menor es la incidencia de lesiones. En la tesis mencionada, se evaluó la relación a partir del test de chi cuadrado, donde la hipótesis nula establecida es que no existe relación entre grado de pigmentación y lesiones oculares. El resultado del test fue de 30,6 (4 g.l., $p < 0,001$), distinto de 0, es decir, se rechaza la hipótesis nula, por lo que la pigmentación y la ocurrencia de lesiones no serían variables independientes (Tardiz & Rodons, 2017).

Por otra parte, Nishimura y Frish (1977) trabajaron en la relación entre el origen de las razas bovinas (*Bos t. taurus* vs *Bos t. indicus*), el grado de pigmentación ocular e incidencia de enfermedades oculares. Estos autores observaron que las razas *Bos taurus* presentaron mayor proporción de área no pigmentada (o parcialmente pigmentada) e incidencia de cáncer ocular. Sería posible hipotetizar que los

cruzamientos de las razas taurinas con índicas generarían individuos con mayor área ocular pigmentada, disminuyendo así la incidencia de la enfermedad.

Consecuencias de la No Pigmentación

Se ha relacionado la baja pigmentación de la piel con enfermedades oculares, sin embargo, no existen evidencias genéticas ni biológicas de dicha relación. Por este motivo Jara et al. (2020), investigaron el transcriptoma de la piel de los párpados de ganado Hereford. En dicha investigación se evaluaron dos grupos: novillos 100% pigmentados versus novillos 100% no pigmentados, de la Central de Pruebas de Toros de Kiyú (San José, Uruguay).

A partir de esta investigación, se pudo determinar que los genes de las muestras pigmentadas están implicados directamente en la melanogénesis y en el desarrollo del melanosoma. En cambio, en las muestras no pigmentadas los genes están implicados en el desarrollo de enfermedades como el cáncer. Estos hallazgos demuestran que la pigmentación del párpado se relaciona con la expresión de muchos genes, no sólo implicados en la pigmentación y el melanosoma, sino también, a la respuesta inflamatoria, la inflamación y tumores (Jara et al., 2020).

Los autores encontraron que los párpados pigmentados, muestran una mayor expresión conjunta de genes y una regulación más estricta, provocando una mayor respuesta ante patógenos. Esto podría explicar por qué animales con mayor pigmentación presentan menor incidencia de enfermedades oculares (Jara et al., 2020).

En el trabajo publicado por Jara et al. (2020), encontraron ocho genes claves para la génesis, almacenamiento y distribución de la melanina, estos son: MC1R, TYR, TYRP1, KIT, DCT, PMEL, MLANA y SLC24A5. Por otra parte, encontraron 94 genes asociados a la baja pigmentación, entre los cuales tres de ellos están relacionados con el sistema inmunitario y cáncer: ARG1, FGF23 y KRT6B.

Según You et al. (2018), el gen ARG1 es una enzima fundamental que cataliza la hidrólisis de L-arginina a L-ornitina y urea. Ambos componentes fundamentales del metabolismo animal.

Según Courbebaisse y Lanske (2018), los niveles altos del factor FGF23 contribuyen, entre otras cosas, a la disminución de defensas del huésped en respuesta a la infección; asociados a mayor riesgo de mortalidad.

Por otra parte, según Kavak et al. (2010) el gen KRT6B, es un gen de queratina que se sobre expresa en cáncer de piel.

Según Grichnik (2006), el gen KIT tiene un rol fundamental en el sistema de melanocito, formando parte de la migración, supervivencia, proliferación y diferenciación de los mismos. Pero, a su vez, este complejo está influenciado por diversas señales ambientales. Existen variaciones de este gen que pueden darse durante el desarrollo embrionario, resultando en una deficiencia en la migración de precursores de melanocitos en la región periocular.

Los trabajos mencionados, demuestran un vínculo entre la pigmentación de párpados y la susceptibilidad al cáncer de ojos como a enfermedades infecciosas.

Enfermedades Asociadas

Como ya se mencionó en el apartado anterior hay enfermedades que comúnmente afectan a los bovinos por la ausencia de pigmentación, las mismas son: el Cáncer de ojos, o Carcinoma ocular de células escamosas, y la queratoconjuntivitis infecciosa.

Carcinoma Ocular de Células Escamosas. Estudios realizados por Kavak et al. (2010), demuestran que el gen KRT6B se ha asociado con el cáncer de piel de células escamosas.

Según Goldschmidt y Hendrick (2002) como se citan en Ramos et al. (2007), el desarrollo de tumor en queratinocitos se asocia a la exposición prolongada a la luz ultravioleta e hipopigmentación de la piel en torno al ojo. Esto es debido a la falta de melanina, la cual, tiene propiedades fotoprotectoras.

Queratoconjuntivitis Infecciosa Bovina. En el ganado raza Hereford se ha demostrado la mayor incidencia de la queratoconjuntivitis infecciosa comparado con otras razas (Snowder et al., 2005).

Es una enfermedad de origen bacteriano, el patógeno es *Moraxella bovis*. La misma es altamente contagiosa e infecciosa en el ganado y ocurre en todo el mundo (McConnell et al., 2007, como se cita en Seid., 2019).

Según Seid (2019), la enfermedad es muy dolorosa, por lo que genera malestar y dificulta la capacidad visual. Consecuentemente se da una disminución del apetito y, por tanto, la ganancia de peso. El bajo rendimiento asociado a los problemas

sanitarios determinan un menor valor del producto. Esta cadena de eventos conllevan a un impacto económico negativo.

Objetivos

Objetivos Generales

Describir la pigmentación ocular en el rodeo de cría Hereford de la Estación Experimental Mario A. Cassinoni, así como determinar el grado de heredabilidad logrado en el rodeo.

Objetivos Específicos

Describir la pigmentación de los párpados en el ganado Hereford, detallando la variabilidad de la pigmentación en diferentes individuos de la raza Hereford.

Describir la pigmentación del pelaje alrededor de los ojos en el rodeo de cría de la Estación Experimental Mario A. Cassinoni, así como de los terneros hijos de las vacas.

Determinar la heredabilidad realizada en la pigmentación de los párpados en las vacas de cría y terneros nacidos en 2022 en la Estación Experimental Mario A. Cassinoni.

Generar una base de datos fenotípicos que permita controlar la evolución en la pigmentación del rodeo de la Estación Experimental Mario A. Cassinoni.

Describir la relación entre pigmentación ocular y del pelaje de los padres y los hijos de la generación 2022, del rodeo de cría de la Estación Experimental Mario A. Cassinoni.

Materiales y Métodos

Muestreo de los Animales

Los animales muestreados pertenecen al rodeo Hereford de la Estación Experimental Mario A. Cassinoni, localizada en Paysandú (km 363 de la ruta 3 Gral. Artigas)

Se evaluaron un total de 225 animales de los cuales 107 eran vacas de cría y 118 terneros nacidos en 2022 y destetados precozmente, tanto las vacas como los terneros permanecen en un sistema pastoril de campo natural. Es importante aclarar que el análisis de datos se efectuó en 102 animales, debido a que solo 51 madres con sus respectivos terneros se correspondían, dados los datos proporcionados por la Estación Experimental.

Para caracterizar a cada individuo se identificó su respectiva caravana y posteriormente se pasó a determinar el grado de pigmentación ocular utilizando la escala de pigmentación ocular diseñada por la Sociedad de Criadores de Hereford del Uruguay. Para registrar los datos de manera ordenada y completa se observó cada ojo por separado, ojo izquierdo y ojo derecho, la escala utilizada divide imaginariamente el ojo en 4 secciones cada sección corresponde a un cuarto (25%), por lo tanto, por cada ojo muestreado se anotó el porcentaje de pigmentación observado, así como el porcentaje de pigmentación del pelo alrededor del ojo.

Posteriormente se pasó a reunir la información en un Excel promediando la pigmentación de ambos ojos, así como la zona alrededor del párpado.

Se tomaron fotografías de algunas vacas muestreadas las cuales son representativas de los datos obtenidos en la observación.

Por otra parte, en la Tabla 1 se detalla las principales características de los padres que fueron utilizados en la inseminación de las vacas de cría en el año 2021. La información que se presenta se extrajo del catálogo de carne 2023 de Gensur, empresa con la que se comercializa el semen.

Como se puede observar, los cuatro toros utilizados presentan 100% de pigmentación ocular en ambos ojos.

Tabla 1*Resumen información de padres*

	EL BICHO	CARDENAL	AY TA!	KEPLER
Nombre	Tabare Sure Bet - 3	Hormiga fuleco 7	Las Lilas X2985 Ya Está! Fanático	CHA ÆAR DOMINO215 Z 2 3814
Raza	Polled Hereford	Polled Hereford	Polled Hereford	Hereford
FN	17/09/2017	16/10/2015	13/03/2018	10/09/2018
PN	34 kg	s/d	31 kg	33 kg
PA	1020 kg	s/d	914 kg	1050 kg
Frame	5.0	5.5	4.9	6.0
CE	41 cm	44 cm	39 cm	44 cm
PO_{id}	100% 100%	100% 100%	100% 100%	100% 100%

Nota. FN: Fecha de Nacimiento. PN: Peso al Nacer. PA: Peso Adulto. CE: Circunferencia Escrotal. PO_{id}: Pigmentación Ocular izquierdo y derecho. s/d: Sin Dato. Elaborado en base a Gensur (2023).

El Bicho es un toro muy balanceado en sus características genéticas, destacando alta facilidad de parto. De correctos aplomos, un animal largo y musculoso (Gensur, 2023).

Por otra parte, Cardenal presenta muy buena característica de grasa dorsal, en sus hijas se destaca una muy buena condición corporal confirmando la correlación fenotípica positiva entre grasa/fertilidad (Gensur, 2023).

En cuanto al toro Ay Ta!, presenta características fenotípicas sobresalientes, siendo considerado uno de los más atractivos por su buen color, pigmentos, aplomos, composición muscular (Gensur, 2023).

Por último, Kepler, gran campeón Expo Prado 2020; presenta muy buena conformación dado su largo y volumen. Se destaca su correcto prepucio y testículos muy bien formados (Gensur, 2023).

Procesamiento y Análisis Estadístico.

Se analizaron un total de 102 animales: 51 terneros y 51 vacas.

Se realizó una caracterización de la población a través de parámetros estadísticos descriptivos como: media, moda y mediana, así como mínimos y máximos valores del rango.

- *Media*: $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{x_1+x_2+x_3+\dots+x_n}{n}$, donde n es el n° de observaciones totales.
- *Moda*: valor con mayor frecuencia en el conjunto de datos
- *Mediana (Me)*: valor de la variable que ocupa la posición central en el conjunto de datos ordenados.
- *Mínimo* = Valor más chico observado según la escala de medición
- *Máximo* = Mayor valor observado según la escala.

Como medidas de dispersión poblacional se calcularon los parámetros de varianza, desvío estándar y coeficiente de variación de forma que:

- *Varianza* $= \sigma^2 = \sum \frac{(x-\mu)^2}{n}$
- *Desvío estándar* $= \sigma = \sqrt{\sigma^2} = \sqrt{\frac{\sum (x-\mu)^2}{(n)}}$
- *Coeficiente de variación*: $CV = \frac{\sigma}{\bar{x}} \times 100$

Para profundizar la caracterización se utilizaron los datos de frecuencia observada, frecuencia relativa y frecuencia relativa acumulada de modo que:

- *Frecuencia observada (F)*: número de observaciones según punto de escala determinado en la observación.
- *Frecuencia relativa (fr)*: relación entre el número de observaciones de cada punto de la escala en relación al número de observaciones totales:

$$fr = \frac{F_i}{n}, \text{ donde } n = \text{n}^\circ \text{ de observaciones totales.}$$

- *Frecuencia relativa acumulada (fa)*: Frecuencias relativas acumuladas en la escala, respecto a la anterior, de modo que:

$$fa = fr_1 + fr_{.1}$$

A su vez, para la distribución de los datos también se estudió la normalidad de distribución de los datos a través de la creación de la función normal. Para esto, se utilizó la fórmula de normalidad:

$$f_x(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{1}{2} \frac{(x-\mu)^2}{\sigma^2}}$$

Finalmente, en cuanto a la relación de la pigmentación de los padres e hijos, fue estimada probando diferentes modelos matemáticos, cuyas expresiones genéricas son:

- Modelo lineal: $y = \sum_{i=0}^1 b_i x^i = b_0 + b_1 x$
- Modelo cuadrático: $\sum_{i=0}^2 b_i x^i = b_0 + b_1 x + b_2 x^2$

Donde:

y es la variable dependiente

x es la variable independiente

b_0 , b_1 y b_2 son los parámetros

En cada caso, se utilizó el r^2 (coeficiente de determinación), como el parámetro utilizado para seleccionar el ajuste de cada modelo. Se seleccionó aquel cuyo r^2 fue mayor, partiendo de la premisa de que: a mayor r^2 , mayor ajuste, es decir, la función que mejor explica la relación entre las variables estudiadas.

Respuesta a la Selección y Heredabilidad Realizada

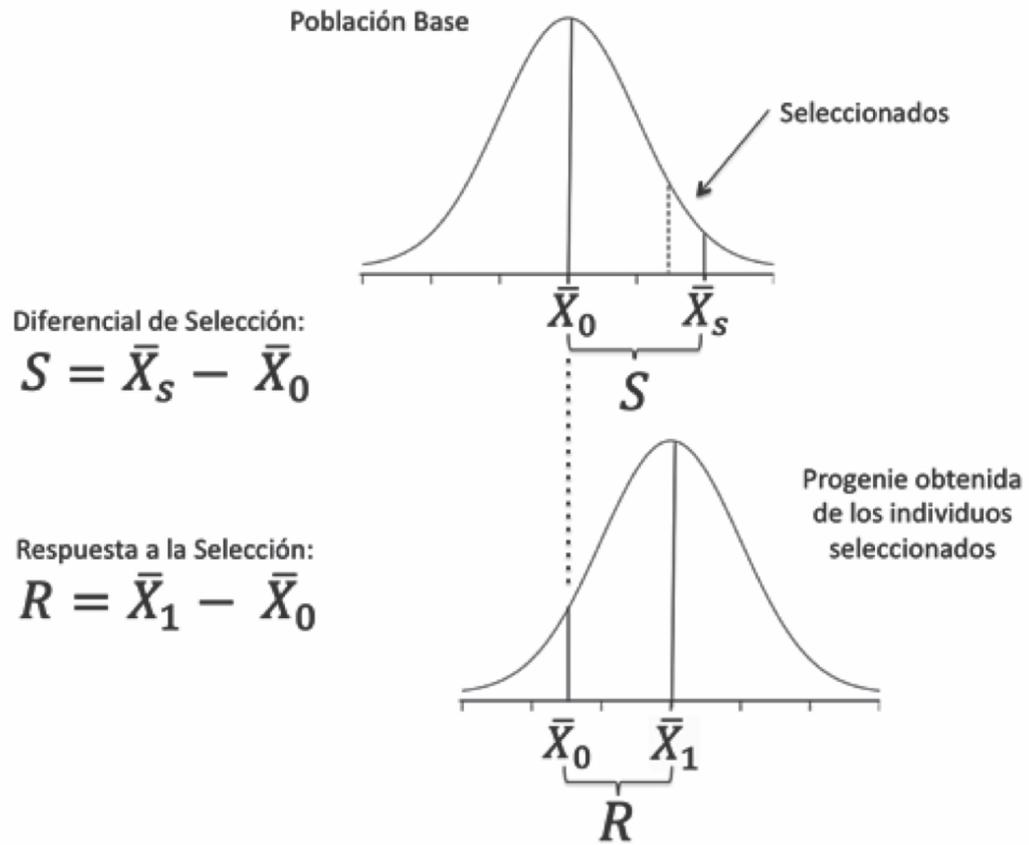
La heredabilidad realizada fue obtenida mediante el cálculo del cociente entre la respuesta a la selección (R) y el diferencial de selección (S):

$$h^2 = R / S$$

El diferencial de selección corresponde a la diferencia entre el valor fenotípico promedio de los individuos seleccionados respecto de la media poblacional ($S = \mu_{\text{sel}} - \mu_0$) de la cual se realiza un promedio entre diferencial de selección de machos y hembras, mientras que la respuesta a la selección es la diferencia entre el valor fenotípico promedio de la progenie (μ_1) respecto de la media poblacional inicial ($R = \mu_1 - \mu_0$). La integración de estos parámetros se presenta en la Figura 6.

Figura 6

Esquema del proceso de selección y los parámetros involucrados en la heredabilidad realizada



Nota. Tomado de Gállego y Araneda (2018).

Resultados y Discusión

Parámetros Estadísticos de Tendencia Central y Dispersión

En la Tabla 2, se presentan los principales parámetros estadísticos descriptivos de la población de terneros y madres muestreadas. Dentro de ellos, se analizaron los parámetros de tendencia central (media, mediana y moda) y los parámetros de dispersión (varianza, desvío estándar y coeficiente de variación). En ambos casos se detallan los valores para la pigmentación de la piel (PO) y el pelo (PP) de la región ocular.

Tabla 2

Descripción estadística de población de terneros y madres

Parámetros	TERNEROS		MADRES	
	PO	PP	PO	PP
Mínimo	25	0	0	0
Máximo	100	100	100	100
Media	90	54	77	38
Moda	100	75	100	25
Mediana	100	50	88	25
Varianza	373	972	731	1141
Desvío estándar	19	31	27	34
CV	22	58	35	89

Nota. PO: Pigmentación ocular; PP: Pigmentación pelo en zona periorcular. CV: Coeficiente de variación.

Los valores de escala mínimos de pigmentación ocular fueron en casi todos los casos igual a 0, a excepción de los datos de pigmentación de la piel en terneros, donde existió un mínimo de 25. En cuanto a los máximos, siempre fueron de 100.

Se observa que la población de terneros Hereford nacidos en 2022, presentan un promedio de pigmentación ocular de 90% y promedio de pigmentación de pelo de 54%.

Por otra parte, los promedios observados y calculados para la población de vacas de cría fueron de 77% para la pigmentación ocular y 38% para pigmentación de pelo.

Comparando los promedios generales de las poblaciones, se puede inferir que, los terneros presentan mayor porcentaje de pigmentación ocular.

La moda se corresponde con el valor más frecuente, se puede apreciar que los terneros presentan valores de 100 y 75 para PO y PP y, las madres, se corresponden a valores de 100 y 25 respectivamente. Esto demuestra entonces, que los valores de 100% de pigmentación ocular son los que más se repiten.

La mediana en cambio representa el 50% de la población. Los datos recabados demuestran que, dentro de la población de terneros, al menos el 50% de la población tiene 100% de pigmentación ocular y 50% de pigmentación del pelo. Por otra parte, las madres presentaron valores de 88% en PO y a un 25% en PP. Esto evidencia que al menos el 50% de la población de terneros presentan mayor grado de pigmentación ocular que las madres, lo mismo se puede observar en la pigmentación del pelo.

En cuanto a los parámetros de dispersión de la población, se observa una elevada varianza. En el caso de terneros, la varianza para PO y PP fue de 373 y 973 respectivamente mientras que en las madres fue de 731 y 1141 respectivamente.

Observando cada población por separado, siempre la varianza de PP fue mayor respecto a la PO. A su vez, comparando entre las poblaciones, las madres presentaron mayor varianza que los terneros o, lo que es lo mismo, la población de madres tiene una distancia respecto a la media mucho mayor que la de los terneros.

Dado que la varianza se encuentra muy por encima de la media, se puede determinar que, esta última, no es representativa de la población.

Por otra parte, el desvío estándar hallado en el caso de los terneros para PO y PP fue de 19 y 31 respectivamente, mientras que en las vacas se encontraron valores mayores (27 y 34).

A partir de lo anterior, podemos decir que, los datos observados en la población de terneros se encuentran menos dispersos en relación a la población de las madres. Los valores de desviación más altos indican que los datos se extienden en un rango de valores más amplio. O lo que es lo mismo, la variabilidad poblacional observada en vacas de cría fue mayor que en los terneros, estos últimos presentaron características más homogéneas.

Por último, en cuanto al coeficiente de variación, se puede apreciar que PP, tanto en terneros (58) como en madres (89), tiene mayor dispersión en relación a PO (22 para terneros y 35 en vacas).

En general, a partir de los tres parámetros estadísticos de dispersión, se puede apreciar que: comparando dentro de cada población, la característica de pigmentación del pelo presenta mayor dispersión que pigmentación de la piel. Mientras que, comparando ambas poblaciones entre sí, la población de vacas es más dispersa respecto a los terneros, dados mayores valores de varianza, desvío estándar y coeficiente de variación.

Frecuencia Observada, Relativa y Relativa Acumulada

En la Tabla 3, se puede observar la caracterización de la población de vacas a través de las distintas frecuencias: frecuencia observada, frecuencia relativa y frecuencia relativa absoluta.

Es posible observar que la mayor cantidad de madres, específicamente 31 contienen 100% de pigmentación ocular promedio; sin embargo, en la pigmentación del pelo la mayor cantidad de individuos presentan un 25% de PP (21 vacas).

Con respecto a la frecuencia relativa, se puede observar que el 60,8% de las madres tienen 100% de PO, en cambio, para PP, solo el 19,6% presentó este mismo grado de pigmentación. Sin embargo, para PP, el 41,2% de las vacas presentaron 25% de la pigmentación, como ya se observó más arriba.

Tabla 3*Frecuencia de pigmentación ocular promedio en vacas de cría*

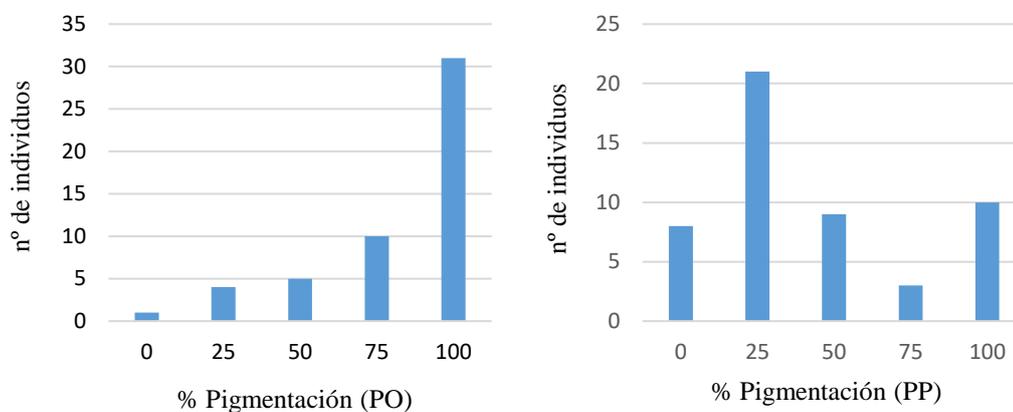
Escala	PO			PP		
	frecuencia	fr	F	frecuencia	fr	F
0	1	0,020	0,020	8	0,157	0,157
25	4	0,078	0,098	21	0,412	0,569
50	5	0,098	0,196	9	0,176	0,745
75	10	0,196	0,392	3	0,059	0,804
100	31	0,608	1,000	10	0,196	1,000
N	51					

Nota. PO: Promedio de pigmentación de ambos ojos, PP: Promedio de pigmentación de pelo ambos ojos. N: n° de observaciones; fr: frecuencia relativa; F: frecuencia relativa acumulada.

A modo ilustrativo se agrega la Figura 7, la cual representa la frecuencia observada de PO y PP en la población de vacas. Las abscisas contienen la escala de medición y las ordenadas la frecuencia observada.

Figura 7

Frecuencia observada pigmentación de piel ocular (izquierda) y pigmentación de pelo en región periocular (derecha) de vacas de cría



Nota. PO: Pigmentación ocular; PP: Pigmentación de pelo. En ambos casos se trabajó en base al promedio de ambos ojos.

Cabe destacar que, para PP, el 41,2% de los animales observados presentaron un grado de pigmentación bajo: 25%.

En la Tabla 4, se detalla la caracterización de la población de terneros a través de las distintas frecuencias mencionadas anteriormente.

Se puede observar que, del total de 51 terneros, 42 de ellos presentaron 100% de PO, lo que representa el 82% de los animales observados.

Sin embargo, observando los datos de la pigmentación del pelo, las observaciones se encuentran mucho más distribuidas en los diferentes intervalos de la escala. Se puede apreciar que, los terneros con grado de pigmentación entre 25 y 100%, se presentaron en valores de frecuencia relativa similar, entre 21,6 a 27,5%.

Tabla 4*Frecuencia de pigmentación ocular promedio en terneros*

Escala	PO			PP		
	frecuencia	fr	F	frecuencia	fr	F
0	0	0,000	0,000	3	0,059	0,059
25	1	0,020	0,020	12	0,235	0,294
50	5	0,098	0,118	11	0,216	0,510
75	3	0,059	0,176	14	0,275	0,784
100	42	0,824	1,000	11	0,216	1,000
N						

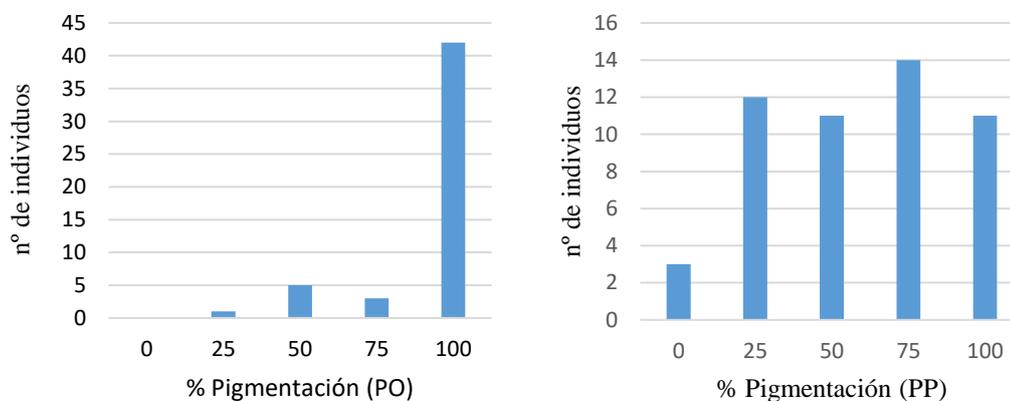
Nota. PO: Promedio de pigmentación de ambos ojos, PP: Promedio de pigmentación de pelo ambos ojos. N: n° de observaciones; fr: frecuencia relativa; F: frecuencia relativa acumulada.

En la Figura 8 se observa en el eje de las abscisas la escala de pigmentación ocular, mientras que en el eje de las ordenadas se aprecia la frecuencia observada de los terneros para PO y PP.

Nuevamente, se observa una clara tendencia hacia la pigmentación total en PO. Por otra parte para PP, las observaciones fueron más distribuidas entre los distintos puntos de escala; a excepción de la despigmentación, donde solamente se observaron 3 animales.

Figura 8

Frecuencia observada pigmentación de piel ocular (izquierda) y pigmentación de pelo en región periocular (derecha) de terneros



Nota. PO: Pigmentación ocular; PP: Pigmentación de pelo. En ambos casos se trabajó en base al promedio de ambos ojos.

Distribución Normal

Para afirmar que la población sigue una distribución normal, debería observarse una campana de Gauss de forma simétrica, donde la media, la moda y la mediana coincidan.

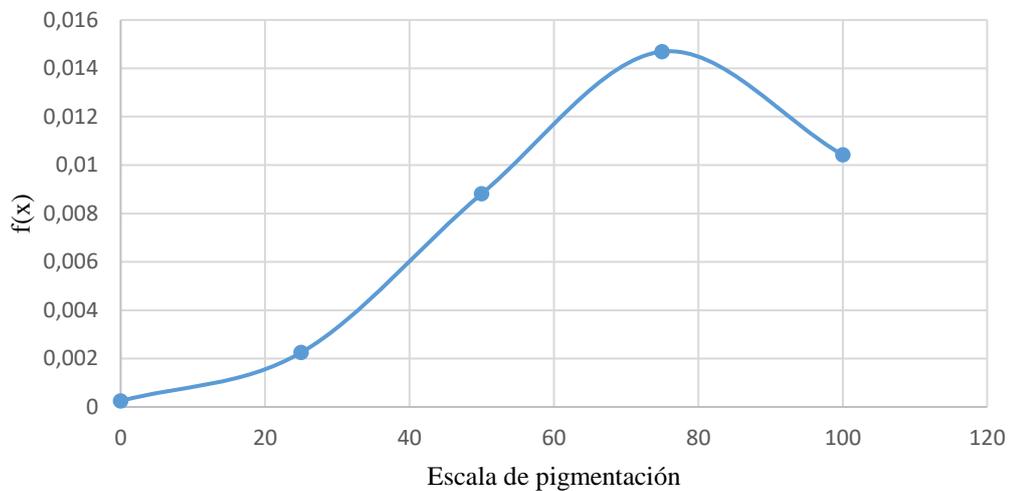
Con el fin de verificar si las poblaciones siguen una distribución normal, se calcula la misma con los valores de media y desvío estándar estudiados en cada caso. En las Figuras 9, 10, 11 y 12 se muestran los resultados arrojados por el modelo.

Como se puede observar, en la Figura 9 y 10 para el caso de pigmentación ocular y de pelo de madres; con una media de 77 y 38 respectivamente y un desvío estándar de 27 y 34; no sigue una distribución normal. Sin embargo, pareciera que no está tan alejada, tiene cierta tendencia de campana de Gauss simétrica.

En el caso de la Figura 11, que representa la variable pigmentación ocular en la población de terneros, efectivamente, no se puede afirmar que exista una distribución normal. Por otra parte, en la Figura 12, para la pigmentación del pelo, se observa cierta tenencia similar a una campana de Gauss.

Figura 9

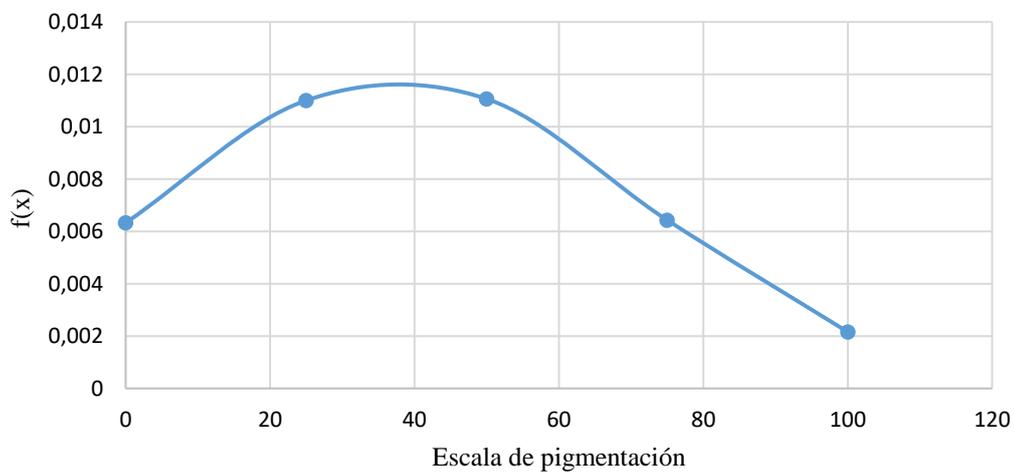
Función de densidad normal de pigmentación ocular de vacas



Nota. Elaborado en base a análisis de datos con herramienta Excel.

Figura 10

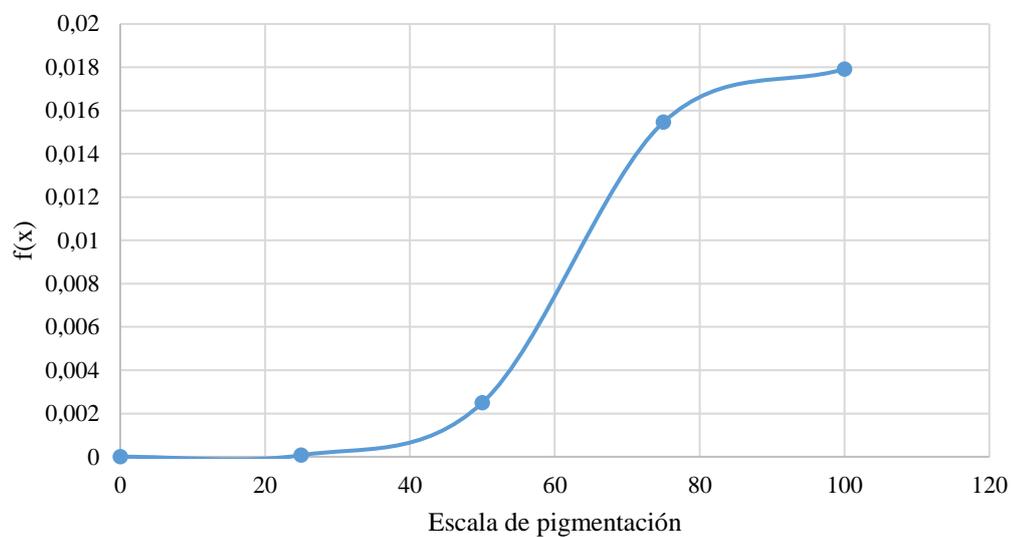
Función de densidad normal de pigmentación de pelo de vacas



Nota. Elaborado en base a análisis de datos con herramienta Excel.

Figura 11

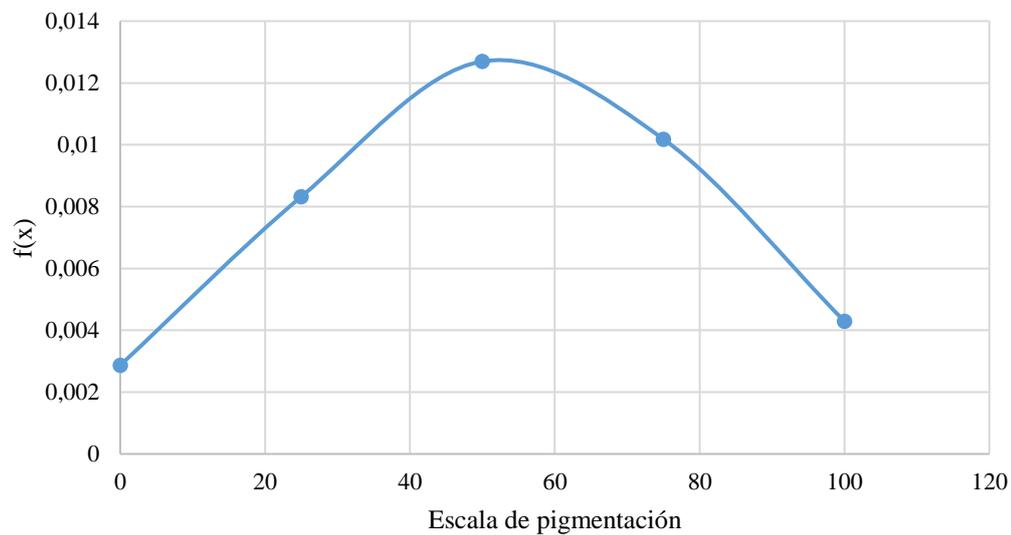
Función de distribución normal para pigmentación ocular de terneros



Nota. Elaborado en base a análisis de datos con herramienta Excel.

Figura 12

Función de distribución normal para pigmentación de pelo de terneros



Nota. Elaborado en base a análisis de datos con herramienta Excel.

Relación Padres e Hijos

En la Figura 13 se presenta la relación de promedios de pigmentación ocular de padres y los hijos. Se buscó el modelo que ajuste mejor, según un mayor valor de R^2 . Mientras que, el modelo lineal arrojó un R^2 de 0,87, el modelo cuadrático ajustó mejor con un R^2 de 0,95.

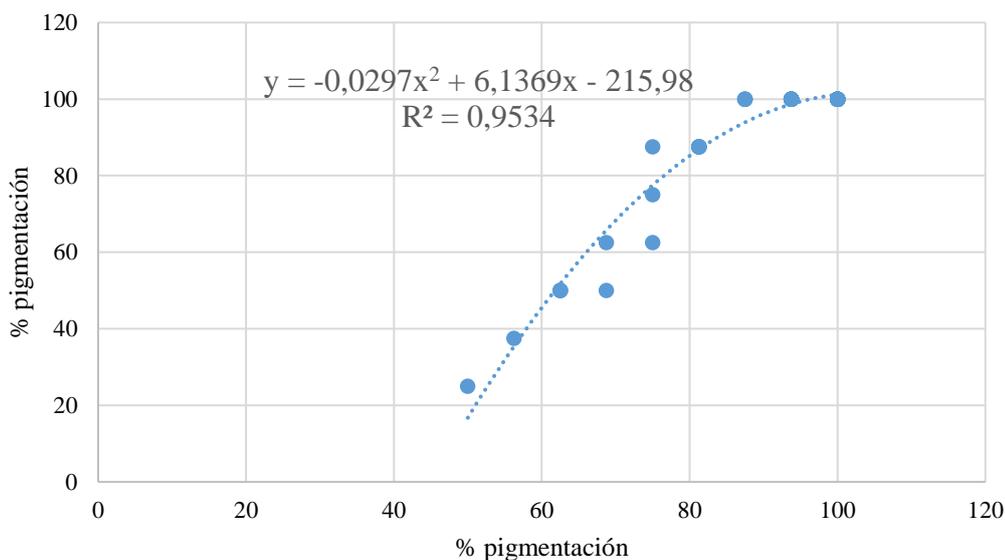
La función toma una forma de:

$$y = -0,0297x^2 + 6,1369x - 215,98.$$

Esto implica que, por cada 25% de aumento de pigmentación en los padres, los hijos aumentan 6,14 veces en la característica. Esto se da hasta aproximadamente entre el 80 y 90%; luego de ese punto, la gráfica muestra crecimientos decrecientes.

Figura 13

Relación entre PO promedio de padres y los hijos

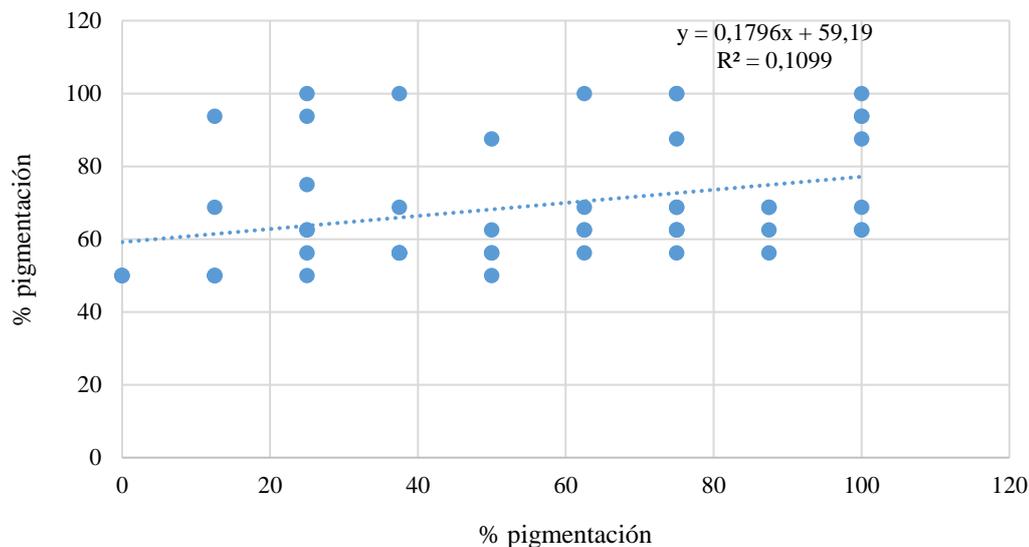


Nota. Modelo cuadrático de forma $y = -ax^2 + bx - c$. R^2 : coeficiente de determinación. El eje x representa los promedios de pigmentación ocular de terneros y en eje y se muestran los promedios de pigmentación ocular de ambos padres. Elaborado con herramienta Excel.

En la Figura 14 presenta la relación entre promedios de pigmentación de pelo de padres y los hijos. Se hicieron varias pruebas con distintos modelos, sin embargo, no se halló un coeficiente de determinación (R^2) que ajustara un modelo.

Figura 14

Relación entre PP promedio de padres y los hijos



Nota. Modelo línea de forma $y = - a x + b$. R^2 : coeficiente de determinación. Eje x: promedios de pigmentación ocular de terneros y en eje y se muestran los promedios de pigmentación ocular de ambos padres. Elaborado con herramienta Excel.

La relación entre los promedios de pigmentación ocular de los padres y los hijos ajusto con un R^2 de 0,95 en un modelo cuadrático. En cambio no se logró ajustar un modelo matemático para la relación entre promedios de padres e hijos para la característica de pigmentación del pelo.

Respuesta a la Selección y Heredabilidad realizada

A partir de los datos obtenidos y las fórmulas detalladas anteriormente, se calcula respuesta a la selección y heredabilidad realizada. De modo que:

Media población base (promedio hembras y machos): $\mu_0 = \frac{100+77}{2} = 88,5$

Media población progenie (terneros): $\mu_1 = 90$

Respuesta a la Selección:

$$R = \mu_1 - \mu_0 = 90 - 88,5 = 1,5\%$$

Diferencial de Selección: $S = \mu_{sel} - \mu_0$

Cabe destacar que:

- Se realiza promedio de diferencial de selección de machos y hembras para obtener diferencial de selección poblacional: $\frac{S_{machos} + S_{hembras}}{2}$

- Se asume $S_{hembras} = 0$, ya que no se realizó selección en las mismas.

$$\text{Por lo tanto, } S_{pob.} = \frac{(100 - 88,5) + 0}{2} = 5,75$$

Heredabilidad realizada:

$$h^2 = 1,5 / 5,75 = 0,26$$

La respuesta a la selección calculada fue de 1,5%, es decir, que el promedio de pigmentación ocular en la población de hijos fue 1,5% superior al promedio observado en la población de las hembras y machos. Por otra parte, el diferencial de selección es de 5,75%. Ambos resultan en una heredabilidad realizada de 0,26. El valor es inferior al hallado en la bibliografía, pero, vale resaltar que el promedio de pigmentación en la población base ya es cercana a 100 por lo que es esperable que la respuesta sea menor. Como se puede ver en el modelo matemático que relaciona el promedio de pigmentación de machos y hembras y promedio de terneros, posterior al 80% el modelo crece con crecimientos decrecientes. Además, resaltar que el resultado responde a un solo año y no una generación como lo establecido en la fórmula.

Implicancias

Comparando los promedios generales de las poblaciones de terneros en relación a las madres, se puede inferir que, los terneros presentan mayor porcentaje de pigmentación ocular.

Dado que el cruzamiento fue a través de padres seleccionados 100% pigmentados, se puede deducir que, la mayor pigmentación de los terneros respecto a la madre responde al aporte paterno. Coincidiendo con los aportes realizados por Anderson et al. (1957) y Costin y Hearing (2007) en cuanto a la propiedad heredable de la característica.

De acuerdo a la descripción y caracterización de las poblaciones estudiadas, y a partir de la literatura consultada, se puede inferir que el alto grado de pigmentación ocular observado permitiría disminuir la incidencia de enfermedades.

Tomando en cuenta la revisión bibliográfica y los resultados obtenidos en este trabajo, se puede decir que existe respuesta a la selección para la característica estudiada, es decir, es un camino que efectivamente se puede seguir recorriendo.

Conclusiones

En los terneros se observó un promedio de 90% de pigmentación ocular (PO), lo que representa un muy buen nivel para esta característica. Sin embargo, para la pigmentación del pelo el promedio fue de 54%, representando un nivel medio, esto quiere decir que comparado con las madres es mayor.

Por otra parte, en la población de vacas el promedio fue de 77% de pigmentación ocular y 38% para pigmentación de pelo. En el primer caso el nivel es de medio a alto, mientras que en el segundo caso el nivel es de medio a bajo.

La heredabilidad realizada obtenido para esta generación fue de 0,26, si bien fue baja en comparación a lo observado en la literatura, se puede apreciar que el promedio de pigmentación ocular de la población ya es cercano a un 100%, entonces es de esperar que la respuesta sea menor.

Referencias Bibliográficas

- Anderson, D., Chambers, D., & Lush, J. (1957). Studies on bovine ocular squamous carcinoma (“cancer eye”): III. Inheritance of eyelid pigmentation. *Journal of Animal Science*, 16(4), 1007-1016.
<https://doi.org/10.2527/jas1957.1641007x>
- Brenner, M., & Hearing, V. (2008). Modifying skin pigmentation: Approaches through intrinsic biochemistry and exogenous agents. *Drug Discovery Today: Disease Mechanisms*, 5(2), 189-199.
<https://doi.org/10.1016/j.ddmec.2008.02.001>
- Cardellino, R., & Rovira, J. (1987). *Mejoramiento genético animal*. Hemisferio Sur.
- Cedeño, D., Calpa, C., Lloyd, N., & Rodríguez, D. (2020). Estudio clínico, histopatológico e inmunohistoquímico del carcinoma de células escamosas ocular bovino en el departamento de Nariño, Colombia. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 31(4), 1-11.
<http://dx.doi.org/10.15381/rivep.v31i4.17382>
- Costin, G., & Hearing, V. (2007). Human skin pigmentation: Melanocytes modulate skin color in response to stress. *The FASEB Journal*, 21, 976-994. <https://faseb.onlinelibrary.wiley.com/doi/ft/10.1096/fj.06-6649rev>
- Courbebaisse, M., & Lanske, B. (2018). Biology of fibroblast growth Factor 23: From physiology to pathology. *Cold Spring Harbor Perspectives in Medicine*, 8(5), a031260. <https://doi.org/10.1101/cshperspect.a031260>
- De Mattos, D. (1997). El ganado Hereford: Programa de evaluación genética. *Revista Plan Agropecuario*, (77), 18-20.
https://www.planagropecuario.org.uy/publicaciones/revista/R77/R_77_18.pdf
- Delevoe, C., Giordano, F., Van Niel, G., & Raposo, G. (2011). La biogénese des mélanosomes: L'échiquier de la pigmentation *Medicine Sciences (Paris)*, 27(2), 153-162. <https://doi.org/10.1051/medsci/2011272153>

- Gállego, A., & Araneda, C. (2018). Genética cuantitativa. En A. Castañeda & R. Rodríguez (Coords.), *Problemas de la genética: Cuaderno de ejercicios* (pp. 351-355). Universidad Autónoma de México.
<https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/173074/Tema-18-Genetica-cuantitativa.pdf?sequence=7>
- García, G. (2012). *Carcinoma de células escamosas en el ojo del bovino y su tratamiento*. Sitio Argentino de Producción Animal.
https://www.produccion-animal.com.ar/sanidad_intoxicaciones_metabolicos/ojo/26-TESIS.pdf
- Gensur. (2023). *Razas de carne: Catálogo 2023*.
<https://www.gensur.com.uy/assets/CatalogoCarne2023.pdf>
- Grichnik, J. (2006). Kit and melanocyte migration. *Journal of Investigative Dermatology*, 126, 945-947. <https://doi.org/10.1038/sj.jid.5700164>
- Hereford Uruguay. (2023). *Referencias históricas de la raza Hereford*.
<https://www.hereford.org.uy/la-raza-3#story>
- Jara, E., Peñagaricano, F., Armstrong, E., Ciappesoni, G., Iriarte, A., & Navajas, E. (2022). Revealing the genetic basis of eyelid pigmentation in Hereford cattle. *Journal of Animal Science*, 100(5), Artículo skac110.
<https://doi.org/10.1093/jas/skac110>
- Jara, E., Peñagaricano, F., Menezes, C., Tardiz, L., Rodons, G., Iriarte, A., & Armstrong, E. (2020). Transcriptomic analysis of eyelid pigmentation in Hereford cattle. *Animal Genetics*, 51(6), 935-939.
<https://doi.org/10.1111/age.13004>
- Kavak, E., Ünlü, M., Nistér, M., & Koman, A. (2010). Meta-analysis of cancer gene expression signatures reveals new cancer genes, SAGE tags and tumor associated regions of co-regulation. *Nucleic Acids Research*, 38(20), 7008-7021. <https://doi.org/10.1093/nar/gkq574>
- Kushimoto, T., Basrur, V., Valencia, J., Matsunaga, J., Vieira, W., Ferrans, V., Muller, J., & Hearing, V. (2001). A model for melanosome biogenesis based on the purification and analysis of early melanosomes. *Proceedings*

- of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 98(19), 10698-10703. <https://doi.org/10.1073/pnas.191184798>
- Linn, J., & Fisher, D. (2007). Melanocyte biology and skin pigmentation. *Nature*, 445(7130), 843-850. <https://doi.org/10.1038/nature05660>
- López Cadena, I., & Victoria Chaparro, J. (2019). Anatomía y fisiología del melanocito: Revisión de tema. *Archivos Argentinos de Dermatología*, 69. <http://www.archivosdermato.org.ar/wp-content/uploads/2020/11/Anatomía-y-Fisiología-del-Melanocito-PDF.pdf>
- Nishimura, H., & Frish, J. (1977). Eye cancer and circumocular pigmentation in Bos taurus, Bos indicus and crossbred cattle. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry*, 17(88), 709-711. <https://doi.org/10.1071/EA9770709>
- Nordlund, J., Raymond, E., Hearing, V., King, R., Oetting, W., & Ortonne, J. P. (2006). *The pigmentary system: Physiology and pathophysiology*. Blackwell Publishing.
- Ramos, A., Norte, D., Elias, F., & Fernandes, C. (2007). Carcinoma de células escamosas em bovinos, ovinos e eqüinos: Estudo do 50 casos no sul do Rio Grande do Sul. *Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science*, 44, 5-13. <https://www.revistas.usp.br/bjvras/article/view/26583/28366>
- Reimann, F., Boligon, A., Campos, G., Cardoso, L., Junqueira, V., & Cardoso, F. (2018). Genetic parameters and accuracy of traditional and genomic breeding values for eye pigmentation, hair coat and breed standard in Hereford and Braford cattle. *Livestock Science*, 213, 44-50. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2018.04.007>
- Seid, A. (2019). Review on infectious bovine keratoconjunctivitis and its economic impacts in cattle. *Journal of Dairy & Veterinary Sciences*, 9(5), 1-8. <http://doi.org/10.19080/JDVS.2019.09.555774>
- Seiji, M., & Fitzpatrick, T. (1961). The reciprocal relationship between melanization and tyrosinase activity in melanosomes (Melanin Granules).

The Journal of Biochemistry, 49(6), 700-706.

<https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.jbchem.a127360>

- Snowder, G., Van Vleck, L., Cundiff, L., & Bennett, G. (2005). Genetic and environmental factors associated with incidence of infectious bovine keratoconjunctivitis in preweaned beef calves. *Journal of Animal Science*, 83(3), 507-518. <https://doi.org/10.2527/2005.833507x>
- Solano, F. (2014). Melanins: Skin pigments and much more types, structural models, biological functions, and formation routes. *New Journal of Science*, 2014, Artículo e498276. <http://dx.doi.org/10.1155/2014/498276>
- Spiazzi, P. (2020). Estimación de determinación del grado de pigmentación periocular. *Hereford*, 677(85), 64-65. <https://www.hereford.org.ar/web/wp-content/uploads/Revista-677-completa.pdf>
- Tardiz, L., & Rodons, G. (2017). *Pigmentación de tarsos y canto nasal en hereford y su posible relación con lesiones oculares* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibri. <https://hdl.handle.net/20.500.12008/25147>
- Toyofoku, K., Wada, I., Valencia, J., Kushimoto, T., Ferrans, V., & Hearing, V. (2001). Oculocutaneous albinism types 1 and 3 are ER retention diseases: Mutation of tyrosinase or Tyrp1 can affect the processing of both mutant and wild-type proteins. *The FASEB Journal*, 15(12), 2149-2161. <https://doi.org/10.1096/fj.01-0216com>
- Tsatmali, M., Ancans, J., & Thody, A. (2002). Melanocyte function and its control by melanocortin peptides. *The Journal of Histochemistry and Cytochemistry*, 50(2), 125-133. <https://doi.org/10.1177/002215540205000201>
- Urabe, K., Aroca, P., Tsukamoto, K., Mascagna, D., Palumbo, A., Prota, G., & Hearing, V. (1994). The inherent cytotoxicity of melanin precursors: A revision. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Molecular Cell Research*, 1221(3), 272-278. [https://doi.org/10.1016/0167-4889\(94\)90250-X](https://doi.org/10.1016/0167-4889(94)90250-X).

Uruguay XXI. (2022). *Sector ganadero en Uruguay*.

<https://www.uruguayxxi.gub.uy/es/centro-informacion/articulo/informe-sector-ganadero/>

You, J., Chen, W., Chen, J., Zheng, Q., Dong, J., & Zhu, Y. (2018). The oncogenic role of ARG1 in progression and metastasis of hepatocellular carcinoma. *BioMed Research International*, 2018, Artículo e2109865.

<https://doi.org/10.1155/2018/2109865>