



UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO  
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA

Tesis para acceder al título de  
Magister en Producción Equina

**“CIERRE RADIOLÓGICO DEL CARTÍLAGO DE CRECIMIENTO DE  
LOS HUESOS METACARPIANO III, PRIMERA Y SEGUNDA  
FALANGE EN CABALLOS CRIOLLOS”**

Vet. Lucía Victoria Llaver

DIRECTOR: M.V. PhD Luis Losinno

CODIRECTOR: M.V. MSc. Sergio Nicolás Giliberti

Río Cuarto, 16 de mayo de 2023

## METADATOS DE LA TESIS

- Título completo: “Cierre radiológico del cartílago de crecimiento de los huesos metacarpiano III, primera y segunda falange en caballos criollos”
- Autor: Llaver, Lucía Victoria. Veterinaria. Práctica profesional privada.
- Palabras Clave: Cartílago de crecimiento, Caballos criollos, Fisis, Primera falange, Segunda falange, Tercer metacarpiano.
- Resumen en español

El caballo criollo desciende y evoluciona a partir de caballos introducidos al territorio por los españoles en el siglo XVI, pero la vida en silvestría durante cientos de años dio como resultado un caballo rústico y de gran capacidad de supervivencia. A finales del siglo XX se produjo un crecimiento cualitativo de la Raza Criolla, que expandió su horizonte funcional a las competencias deportivas con una consecuente revalorización de la raza. Esto genera un importante impacto económico en la producción agropecuaria en general y en la equina en particular.

La edad cronológica de los equinos no es indicativa de la finalización de la maduración somática; sin embargo el estado madurativo del esqueleto, a través de los centros epifisarios, es un valor de referencia preciso para medir la edad biológica del individuo. Esto resulta de vital importancia tanto para tomar decisiones médicas, como de entrenamiento y manejo.

El objetivo principal de este trabajo fue establecer la edad de cierre radiológico del cartílago de crecimiento de los huesos metacarpiano III, primera falange y segunda falange en una subpoblación de caballos Criollos. Para el estudio se utilizaron 37 potrillos de ambos sexos, de raza Criolla, con edades que variaban entre los 2 y los 13 meses, provenientes de 5 cabañas ubicadas en la provincia de Mendoza, Argentina. Se tomaron radiografías de proyección dorso-palmar de la región distal del miembro anterior cada  $70 \pm 15$  días a partir de los 60 días de vida de los potrillos y hasta los 14 meses o hasta el cierre de la fisis distal del tercer metacarpiano, lo que ocurriese primero. Se evaluó el grado de cierre del cartílago de crecimiento de forma cualitativa utilizando una escala numérica del cero (-0- fisis completamente abierta) al cuatro (-4- fisis completamente cerrada). Para obtener los datos de cierre de cartílago de crecimiento se realizó estadística descriptiva y se construyó una curva según método de Kaplan-Meier. Las comparaciones entre curvas se efectuaron mediante el test Log-rank de Mantel-Cox.

Se determinó que las medianas de los tiempos de cierre observados fueron a los 9,4 meses en proximal de 2° falange; 10,9 meses en proximal de primera falange y 11,6 meses en distal del tercer metacarpiano. Asimismo, se observó que el sexo de los potrillos y las individualidades de cada establecimiento de cría influyeron en el cierre del cartílago de crecimiento.

- Resumen en inglés

Criollo horses are strong animals, with a particular evolution given by 400 years of natural selection by wildlife in Argentina, resulting in a highly adapted and successful breed. Besides this, nowadays they have turned into sport horses, which generates a significant economic impact on Argentinian agriculture and horses breeding.

The chronological age of the equine is not indicative of somatic maturation; however, the skeleton development, through the epiphyseal centers, is a precise reference value of the biological age of the individual. This is important for taking medical decisions, as well as for training and management. There are few scientific works about the growing, development and radiologic closure time of Criollo horses, and none of them has studied the first and second phalanx.

The aim of this study was to know the radiological closure time of 3rd metacarpal, 1st and 2nd phalanx in Criollo foals. Dorso-palmar projections x-rays of the distal feet were taken every  $70 \pm 15$  days to 37 foals, from two to fourteen months of age. The radiographic images were classified according to the closure characteristics of the different growing physis using a numerical scale from zero (-0-physis completely open) to four (-4-physis completely closed). Descriptive statistics and a Kaplan-Meier curve were performed; comparisons between curves were made using the Mantel-Cox Log-rank test.

The median closure times observed were 9.4 months in the proximal 2nd phalanx; 10.9 months in the proximal of the first phalanx and 11.6 months in the distal of the third metacarpal. It was also significant that the sex of the foals and the characteristics of each breeding farm influenced the closure time of the growth plate.

- Evaluado por pares: **SI**
- Fecha: 16/05/2023

- Formato: pdf
- Idioma: español
- Financiamiento: Propio del tesista
- Condiciones de uso: CC BY-NC-SA

“Informo que, de acuerdo a lo que prescribe la Ley 26.899/13, su Reglamento Operativo (Resolución 753-E/2016) y la Política Institucional de Acceso Abierto de la Universidad Nacional de Río Cuarto (Resolución Consejo Superior N°2020/2021), este documento es resultado del financiamiento total o parcial otorgado por el Estado Nacional , por lo tanto queda sujeto al cumplimiento de la Ley 26.899 y la Política Institucional de Acceso Abierto de la Universidad Nacional de Río Cuarto”.

## JURADOS

Montañez, Julián; MV, MSc. Práctica privada.

Firma:..... Aclaración:.....

Orlando, Marcelo; MV, MSc. Profesor titular, Producción Equina, Facultad de Veterinaria  
Universidad Católica de Cuyo, San Luis, Argentina.

Firma:..... Aclaración:.....

Losinno, Santiago; MV, MSc. Profesor Clínica de Grandes Animales, Facultad de  
Agronomía y Veterinaria, Universidad Nacional de Río Cuarto, Río Cuarto, Córdoba,  
Argentina.

Firma:..... Aclaración:.....

## DEFENSA ORAL Y PÚBLICA

Lugar y fecha.....

Calificación.....

## AGRADECIMIENTOS

Voy a comenzar diciendo que estaba en duda si escribir este apartado o no, pero luego recapacité debido a que no es para nada fácil encarar una carrera de posgrado cuando uno ya tiene una vida armada fuera del ámbito académico, con pacientes y clientes que demandan tiempo y dedicación, y con demás obligaciones diarias para cumplir. Entonces es más que pertinente ser consciente y agradecida con las personas y circunstancias que hicieron posible que este hoy acá defendiendo esta tesis.

Agradezco a mis padres María del Rosario Berca y José María Llaver haberme inculcado la importancia de la educación y de siempre superarme y perseguir mis metas. A mi mamá por ser la persona que desde chiquita me enseñó a amar la naturaleza y a todos y cada uno de los animales que habitan esta tierra, y por acompañarme en cada paso y decisión que he tomado durante mi carrera.

Agradezco profundamente a mi pareja, colega y socio, Gastón Baigorria, por el apoyo incondicional en cada paso de la gestación de este trabajo. Desde las tomas de muestra a campo, los días de trabajo perdidos y hasta las madrugadas de escritura.

Mi codirector Sergio Giliberti, que se puso la camiseta y me ayudó siempre que lo necesité, primero interpretando lo que yo quería transmitir y ayudándome a aclarar las ideas para que cualquiera pudiera entenderlas. Decirte gracias es poco.

También quiero agradecer a Luis Losinno, director de esta maestría y de mi tesis. Lo conocí cuando estaba en tercer año de la universidad en Mendoza y vine a un ENEV a Río Cuarto, él se tomó el trabajo de hacernos una visita guiada por el laboratorio. Y desde ese momento no solo hizo que quisiera dedicarme a a trabajar con caballos, y específicamente a la reproducción equina, sino que también siempre me abrió las puertas y ayudó a crecer como profesional y como persona.

No me alcanzarían las palabras para darle las gracias a todos y cada uno de mis compañeros de maestría que hicieron que cursar este posgrado fuera más que formativo, que fuera divertido, y odié que eso se interrumpiera por la pandemia. Aunque incluso las cursadas online eran entretenidas con ustedes. Estoy feliz de llevarme amigos entrañables y fuentes de conocimiento inagotable que siempre puedo consultar en el whats app. Los adoro.

También tengo que mencionar y reconocer la colaboración de los propietarios de las cabañas Sierra Pintada, Santa Rosa, Las Leales, Arraigado y El Coirón, que desinteresadamente brindaron sus animales para este estudio. Y también a todo el personal sin el cual hubiese sido imposible llevar adelante los muestreos, a Darío, Ricardo, Nico, Don Quincha, Roberto y Facu.

Agradezco al colega y amigo Juan Francisco Sandes, por brindarme desinteresadamente los equipos de rayos con los que se pudo llevar a cabo este trabajo.

Finalmente queda por agradecer a cualquier persona que se vio involucrada directa o indirectamente en este proyecto y en todo mi recorrido personal para llegar acá, y que por falta de memoria, y no por ser desagradecida, no han sido mencionados específicamente en este apartado.

Parafraseando a un grande... “Gracias Totales!!!!”

## RESUMEN

El caballo criollo desciende y evoluciona a partir de caballos introducidos al territorio por los españoles en el siglo XVI, pero la vida en silvestría durante cientos de años dio como resultado un caballo rústico y de gran capacidad de supervivencia. A finales del siglo XX se produjo un crecimiento cualitativo de la Raza Criolla, que expandió su horizonte funcional a las competencias deportivas con una consecuente revalorización de la raza. Esto genera un importante impacto económico en la producción agropecuaria en general y en la equina en particular.

La edad cronológica de los equinos no es indicativa de la finalización de la maduración somática; sin embargo el estado madurativo del esqueleto, a través de los centros epifisarios, es un valor de referencia preciso para medir la edad biológica del individuo. Esto resulta de vital importancia tanto para tomar decisiones médicas, como de entrenamiento y manejo.

El objetivo principal de este trabajo fue establecer la edad de cierre radiológico del cartílago de crecimiento de los huesos metacarpiano III, primera falange y segunda falange en una subpoblación de caballos Criollos. Para el estudio se utilizaron 37 potrillos de ambos sexos, de raza Criolla, con edades que variaban entre los 2 y los 13 meses, provenientes de 5 cabañas ubicadas en la provincia de Mendoza, Argentina. Se tomaron radiografías de proyección dorso-palmar de la región distal del miembro anterior cada  $70 \pm 15$  días a partir de los 60 días de vida de los potrillos y hasta los 14 meses o hasta el cierre de la fisis distal del tercer metacarpiano, lo que ocurriese primero. Se evaluó el grado de cierre del cartílago de crecimiento de forma cualitativa utilizando una escala numérica del cero (-0- fisis completamente abierta) al cuatro (-4- fisis completamente cerrada). Para obtener los datos de cierre de cartílago de crecimiento se realizó estadística descriptiva y se construyó una curva según método de Kaplan-Meier. Las comparaciones entre curvas se efectuaron mediante el test Log-rank de Mantel-Cox.

Se determinó que las medianas de los tiempos de cierre observados fueron a los 9,4 meses en proximal de 2° falange; 10,9 meses en proximal de primera falange y 11,6 meses en distal del tercer metacarpiano. Asimismo, se observó que el sexo de los potrillos y las individualidades de cada establecimiento de cría influyeron en el cierre del cartílago de crecimiento.

## ABSTRACT

Criollo horses are strong animals, with a particular evolution given by 400 years of natural selection by wildlife in Argentina, resulting in a highly adapted and successful breed. Besides this, nowadays they have turned into sport horses, which generates a significant economic impact on Argentinian agriculture and horses breeding.

The chronological age of the equine is not indicative of somatic maturation; however, the skeleton development, through the epiphyseal centers, is a precise reference value of the biological age of the individual. This is important for taking medical decisions, as well as for training and management. There are few scientific works about the growing, development and radiologic closure time of Criollo horses, and none of them has studied the first and second phalanx.

The aim of this study was to know the radiological closure time of 3rd metacarpal, 1st and 2nd phalanx in Criollo foals. Dorso-palmar projections x-rays of the distal feet were taken every  $70\pm 15$  days to 37 foals, from two to fourteen months of age. The radiographic images were classified according to the closure characteristics of the different growing physis using a numerical scale from zero (0-physis completely open) to four (4-physis completely closed). Descriptive statistics and a Kaplan-Meier curve were performed; comparisons between curves were made using the Mantel-Cox Log-rank test.

The median closure times observed were 9.4 months in the proximal 2nd phalanx; 10.9 months in the proximal of the first phalanx and 11.6 months in the distal of the third metacarpal. It was also significant that the sex of the foals and the characteristics of each breeding farm influenced the closure time of the growth plate.

## ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN .....	1
1.1	El caballo criollo .....	1
1.2	Fisiología de la osificación.....	2
1.3	Factores que afectan el desarrollo óseo.....	4
1.4	Fisis de crecimiento utilizada como parámetro del desarrollo óseo .....	7
2.	HIPÓTESIS.....	11
3.	OBJETIVOS .....	12
4.	METODOLOGÍA .....	13
5.	RESULTADOS.....	16
6.	DISCUSIÓN .....	21
7.	CONCLUSIONES .....	25

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Tiempos de cierre radiológico reportados para las fisis distales del miembro anterior, expresados en meses.....	10
Tabla 2: Descripción de la edad (en meses) según grado de cierre.....	16
Tabla 3: Momento de cierre de cada fisis de crecimiento (expresado en meses) en los diferentes sexos y su comparación con el test Log-rank Mantel-Cox. $p \leq 0,05$ indica que las curvas son diferentes.....	17
Tabla 4: Establecimientos muestreados y los manejos productivos implementados en ellos.....	19
Tabla 5: Momento de cierre de cada fisis de crecimiento (expresado en meses) en los diferentes establecimientos y su comparación con el test Log-rank Mantel-Cox. $p \leq 0,05$ indica que las curvas son diferentes. *no se encontró definición para ese parámetro. ....	19
Tabla 6: Momento de cierre de cada fisis de crecimiento (expresado en meses) según la ganancia de peso y su comparación con el test Log-rank Mantel-Cox. $p \leq 0,05$ indica que las curvas son diferentes. *no se encontró definición para ese parámetro. ....	20

## ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1: Arriba a la derecha se encuentra el mapa de la República Argentina, con la provincia de Mendoza resaltada en color rojo. En el centro, mapa físico de la provincia de Mendoza con la ubicación geográfica de las cabañas donde se realizaron los muestreos, con su correspondiente identificación numérica... 13
- Figura 2: Radiografías de potrillos muestreados, con diferentes grados de cierre del cartílagos de crecimiento. A: todas las fisis de crecimiento se encuentran abiertas (0). B: La fisis proximal de 2° falange se encuentra un 75% cerrada (3), la proximal de 1° falange se encuentra un 50% cerrada (2) y la distal de metacarpiano III está un 25% cerrada (1). C: Todas las fisis se encuentran completamente cerradas (4). ..... 15
- Figura 3: Se observan las curvas de Kaplan-Meyer con el cierre de las fisis de crecimiento proximal de 2° falange, proximal de 1° falange y distal de metacarpiano III. En el eje X, el porcentaje representa a la población que ha alcanzado el cierre completo del cartílago de crecimiento. .... 17
- Figura 4 y Figura 5: Curvas de cierre de cartílago de crecimiento proximal de 2° falange (izquierda) y 1° falange (derecha) para machos y hembras. En el eje X, el porcentaje representa a la población que ha alcanzado el cierre completo del cartílago de crecimiento. .... 18
- Figura 6 Curvas de cierre de cartílago de crecimiento distal del hueso metacarpiano III para machos y hembras. En el eje X, el porcentaje representa a la población que ha alcanzado el cierre completo del cartílago de crecimiento..... 18
- Figura 7 y Figura 8: Curvas de cierre de cartílago de crecimiento proximal de 2° falange (izquierda) y 1° falange (derecha) según categorización de ganancia de peso. En el eje X, el porcentaje representa a la población que ha alcanzado el cierre completo del cartílago de crecimiento. .... 20
- Figura 9: Curvas de cierre de cartílago de crecimiento distal del hueso metacarpiano III según categorización de ganancia de peso. En el eje X, el porcentaje representa a la población que ha alcanzado el cierre completo del cartílago de crecimiento. .... 20

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1 EL CABALLO CRIOLLO

El caballo criollo descende de diversos linajes de caballos españoles, introducidos durante la colonización de América en el siglo XVI. La vida en silvestría durante 400 años produjo, como en muchas otras razas, una fuerte selección natural y una interacción genotipo-ambiente, que en conjunto con su facilidad para adaptarse a circunstancias ambientales variadas y extremas, dio como resultado un caballo rustico y de gran capacidad de supervivencia (Paz *et al*, 2009; Llaver *et al*, 2020).

Por lo mencionado anteriormente, es de esperar que el caballo Criollo estuviese genéticamente relacionado con razas andaluzas, celtas, berberiscas y árabes. Pero por el contrario, en estudios de caracterización genética, la raza criolla mostró un alto nivel de subestructuración poblacional (Giovambattista *et al*, 2010; Corbi-Botto *et al*, 2019). Esto lleva a pensar que debido a esa diversidad genética, ciertos procesos fisiológicos en la raza Criolla puedan diferir con respecto a los establecidos en las razas equinas ancestrales.

El criollo se caracteriza por ser un animal eumétrico y mesoformo, su tipo se corresponde con el de un caballo de silla, equilibrado y armónico; debe ser bien musculado y de fuerte constitución, con su centro de gravedad bajo (Asociación de Criadores de Caballos Criollos, 2019). Es fundamental identificar los patrones de la anatomía equina para la raza, ya que estos pueden ser útiles para “predecir” o estimar las probabilidades de éxito del animal en las diferentes disciplinas deportivas para las que es criado y para establecer patrones de selección (Komosa *et al*, 2013).

En las últimas décadas del siglo XX se evidenció un crecimiento cualitativo de la Raza Criolla, que expandió su horizonte funcional a actividades de competencias deportivas, esto incrementó las inscripciones de registro genealógico de la Sociedad Rural Argentina (Paz *et al*, 2009). Según la Asociación de Criadores de Caballos Criollos se inscribieron 7841 potrillos nacidos durante el año 2021 (datos no publicados), este es un número importante de productos si se compara con el SPC, una de las razas productivas

por excelencia, que posee 6361 ejemplares inscriptos en esa misma temporada (Stud Book Argentino, 2021). Así como ocurrió en otras razas, en los Caballos Criollos también ha habido una revalorización de la raza debido a las competencias deportivas (Luiz *et al*, 2007).

Este crecimiento y revalorización del caballo Criollo se traduce en un importante impacto económico de la producción agropecuaria en general y en la equina en particular. En Brasil, por ejemplo, el circuito económico de los caballos de deporte y ocio genera 5840 millones de reales anuales y 125.700 empleos efectivos, conformando los caballos Criollos el 60,5% de estos animales (Cintra y Lima, 2016). Esto refleja la importancia socioeconómica que está tomando la raza criolla en toda la región, aunque no se han reportado datos de este impacto económico específico en Argentina.

## **1.2 FISIOLÓGÍA DE LA OSIFICACIÓN**

Durante el desarrollo fetal los huesos largos del equino poseen dos centros de osificación. El centro de osificación primario se desarrolla primero y forma la diáfisis y la metafisis del hueso, mientras que el centro de osificación secundario va a formar la epífisis. Entre estos dos centros de osificación se encuentra una región celular altamente especializada, la fisis o disco de crecimiento. Durante la etapa de crecimiento, la mayoría de los huesos largos poseen una fisis en cada extremo, mientras que algunos (como la primera y segunda falange y los huesos metatarsiano/metacarpiano) poseen solo una (Tatarniuk *et al*, 2020).

El crecimiento longitudinal de los huesos es consecuencia de los acontecimientos que se producen en las fisis (Baxter y Turner, 2004). Este se produce por el modelo de osificación endocondral en el centro de osificación primario, que contribuye con el aumento de la longitud y el ancho de los huesos hacia la diáfisis (Farrow, 2006).

El proceso de osificación endocondral es muy activo durante la etapa temprana de vida del animal; esta actividad disminuye gradualmente durante el desarrollo y se detiene cuando se osifican las placas fisiarias y termina el crecimiento (Vidal *et al*, 2011). A medida que cesa el crecimiento del hueso la fisis se vuelve progresivamente más delgada,

y finalmente, la epífisis y la metáfisis se fusionan mediante la sustitución de la placa de crecimiento cartilaginosa por hueso trabecular (Baxter y Turner, 2004).

Se ha observado que el inicio de la fusión entre la metáfisis y la epífisis, tomando el ejemplo del hueso metacarpiano III, comienza en la intersección del tercio medio y el tercio medial o lateral de la fisis de crecimiento. Aquí sucede una adelgazamiento gradual de la fisis de crecimiento o el surgimiento de espículas óseas epifisiarias que forman puentes en el cartílago (Brown y Mc Callum, 1976 ).

En los caballos, al igual que en los humanos, se presentan 4 etapas del crecimiento hasta la llegada de la madurez. La primera es la etapa de crecimiento rápido, equivalente a la etapa infantil, va desde el nacimiento hasta el destete (4-6 meses); durante este periodo se produce un rápido aumento longitudinal, mediante crecimiento distal de los miembros, y aumento de peso con ganancia de masa muscular. El equivalente a la fase de la niñez se da post-destete hasta los 10-11 meses, caracterizado por una disminución de la tasa de crecimiento y de la ganancia diaria de peso. El comienzo de la pubertad puede ocurrir entre los 8 y los 11 meses, donde ocurre una segunda fase de crecimiento rápido. Finalmente, se considera la etapa de post-pubertad a partir de los 24 meses, donde los caballos suelen alcanzar el 98% de su altura final, ya que se reduce el crecimiento longitudinal pero hay sutiles incrementos en el crecimiento del esqueleto axial (Rogers *et al*, 2021).

El crecimiento longitudinal de los huesos en distal de los miembros aumenta sólo un 5-7% desde el destete hasta los tres años, y presumiblemente se completa antes del año. Muchas medidas biométricas aumentan entre los 0-1 años y 1-2 años, pero no se perciben cambios entre los 2-3 años. Esto indica que a esa edad la tasa de crecimiento se ralentiza o incluso llega a una meseta (Anderson y McIlwraith, 2004).

Raub (2010) afirma que, en general, a los 6 meses de edad el caballo debe obtener el 83% de su altura y el 43% del peso adulto, a los 12 meses el 90% y 67% y a los 18 meses el 95% y 80% respectivamente. Se demostró que los potrillos Criollos al nacimiento poseían el 62,1% de su altura mínima estipulada (1,38cm), a los 12 meses alcanzaban el 89,3%, a los 24 meses el 95,7% y finalmente a los 36 meses el 98,57% (Pimentel *et al*, 2017).

### 1.3 FACTORES QUE AFECTAN EL DESARROLLO ÓSEO

#### Edad, Nutrición y Tasa de Crecimiento

El peso y la altura a la cruz son los parámetros más utilizados por los investigadores para evaluar el crecimiento y desarrollo de los equinos, que al igual que en otros mamíferos, sigue la típica curva de crecimiento sigmoidea (Rogers *et al*, 2021). Aunque la tasa de crecimiento también puede ser evaluada de forma más específica si se utiliza el peso corporal y la altura en conjunto con exámenes radiológicos de las fisis de crecimiento (Moraes *et al*, 2017).

La tasa de crecimiento óseo es mayor en animales más jóvenes que en los de más edad, también en machos que en hembras. Sin embargo, no se estableció ninguna correlación estadística significativa entre la ganancia de peso y la tasa de crecimiento óseo (Goyal *et al*, 1981). Similares Resultados fueron descritos por Colares Luiz *et al*. (2007), que no pudo demostrar influencia del régimen alimentario de diferentes establecimientos sobre el cierre del disco de crecimiento.

Se ha observado que el peso al nacimiento, que está influenciado por el tamaño materno y el crecimiento intra-uterino, sí afecta la tasa de crecimiento y las diferentes medidas biométricas durante el desarrollo del potrillo (Allen *et al*, 2004; Peugnet *et al*, 2016). La altura es un carácter altamente heredable, sin embargo, periodos de déficits nutricionales pueden resultar en una inhibición temporaria del crecimiento, lo cual puede demorar la altura final esperada (Rogers *et al*, 2021).

Una nutrición inadecuada o desbalanceada puede producir múltiples consecuencias en el crecimiento. La falta de vitamina D genera un retraso en el cierre epifisario junto con engrosamiento, irregularidad y falta de definición de los discos (El Shorafa *et al*, 1979).

La restricción alimentaria durante la lactancia genera una demora significativa en el cierre del cartílago de crecimiento de las falanges y el tercer metacarpiano. Sin embargo, cuando se compararon los tiempos de cierre en potrillos suplementados durante la lactancia versus no suplementados, ambos se encontraban dentro de los rangos de tiempo previamente descritos en la bibliografía (Rezend *et al*, 2000).

Según Porte (2000), en caballos Criollos chilenos, la altura mínima deseada puede ser alcanzada a los 3 años con una alimentación adecuada. Pero con una restricción alimenticia moderada los animales pueden no llegar a la altura mínima hasta los 5 años, o no alcanzarla nunca. Por lo que, en estas razas con un estándar mínimo de altura, él sugiere utilizar programas de alimentación adecuados antes del período de finalización del crecimiento óseo, sobre todo entre los 3 y los 12 meses.

Asimismo, en un estudio donde se suplementaron potrancas Cuarto de Milla con cultivos vivos de levadura *Saccharomyces cerevisiae*, el autor observó una tendencia hacia la reducción del tiempos de cierre de los cartílagos de crecimiento de distal de radio (Cortada, 2012).

Con respecto a las posibles diferencias entre el desarrollo de los miembros anteriores y posteriores, se ha documentado que el miembro posterior tiene un crecimiento, observado a través del cierre del cartílago, más acelerado que el miembro anterior (Goyal *et al*, 1981; Raub, 2010).

## **Ejercicio**

La tensión y compresión de la fisis, dentro de un rango biológico, es esencial para el desarrollo y crecimiento del hueso. Dentro de este rango, el aumento de estos parámetros incrementará el crecimiento, mientras que una disminución lo reducirá. Este fenómeno se conoce como Ley de Heuter-Volkman del crecimiento fisiario, y tiene una importante aplicación en el tratamiento de potrillos con desvíos angulares, donde el propio cuerpo reconoce la asimetría de cargas sobre la fisis y va corrigiendo las desviaciones (Baxter y Turner, 2004; Tatarniuk *et al*, 2020).

Takeuchi (2000) asevera que el stress mecánico es un factor que acelera el crecimiento circunferencial del hueso largo, pero no tiene mucha influencia sobre el largo total. Además, sugiere que la presión física en dirección longitudinal inhibe el crecimiento en largo del hueso, mientras que el stress mecánico es importante para una correcta morfología y función de estos.

En humanos se ha reportado que el entrenamiento rutinario de baja intensidad desde la infancia estimula el crecimiento en longitud del hueso; pero si los entrenamientos son de alta intensidad pueden, incluso, llegar a inhibirlo (García de la Rubia *et al*, 1998).

Ejercicios exigentes y altamente concusivos pueden dañar potencialmente los discos de crecimiento primarios, o más específicamente su irrigación. Es por esto que muchos entrenadores evitan cierto tipo de ejercicio en el entrenamiento hasta que los discos de crecimiento centinela, como el presente en el radio distal, están totalmente osificados (Farrow, 2006).

El ejercicio también ejerce influencia sobre el cartílago articular. La característica de heterogeneidad topográfica de la matriz extracelular del cartílago articular, se ve estimulada por las cargas biomecánicas del ejercicio que el potro realiza en un período temprano (Van Weeren, 2012).

Muchos de los problemas que se desarrollan en los caballos que comienzan a con el entrenamiento a una edad temprana se pueden atribuir a inmadurez, exceso de ejercicio, conformación defectuosa o una combinación de estos factores (Mason y Bourke, 1973).

### **Factores Varios (sexo, padrillo, temporada de nacimiento)**

Se ha observado en caballos de raza Sangre Pura de Carrera (SPC) que nacieron en primavera el tiempo de osificación es más corto que en los nacidos en invierno. También existe una influencia significativa del año de nacimiento, el padrillo y el criador. Sin embargo, en ese mismo estudio no se halló diferencia estadística entre los diferentes sexos (Łuszczynski y Pieszka, 2011). Por otra parte Gabel, Spencer y Pipers (1977), en caballos de raza Standardbred trotadores), no encontraron diferencia estadística entre lo observado en el sexo de los potrillos y padrillo utilizado.

En un estudio realizado en Brasil sobre caballos Criollos se demostró la influencia del sexo, donde los machos cierran más tarde que las hembras (Luiz *et al*, 2007). Sin embargo, Llaver (2021) no encontró diferencias estadísticamente significativa entre sexos al momento de cierre de la fisis distal del radio; y Pimentel (2017) no encontró diferencias entre sexos en la curva de crecimiento de altura y perímetro torácico, ambos estudios realizados también en caballos Criollos.

### **Castración**

En caninos machos la castración prepuberal demora el cierre de la fisis de crecimiento y en consecuencia se aumenta el largo de los huesos. Pero no se han encontrado diferencias en el momento de cierre de la fisis distal del radio entre potrillos,

potrancas y castrados (Gabel, 1977; Nath, 2014). Por el contrario Cable (2001) afirma que en los equinos machos la castración temprana puede retrasar el cierre de las fisis de crecimiento.

#### **1.4 FISIS DE CRECIMIENTO UTILIZADA COMO PARÁMETRO DEL DESARROLLO ÓSEO**

##### **Relevancia del momento de cierre de la fisis en la conformación y el futuro deportivo del potrillo**

La edad cronológica no es suficiente indicativo de que el proceso de maduración somática ha finalizado (Łuszczynski y Pieszka, 2011). En cambio, el estado madurativo del esqueleto es un valor de referencia bastante preciso para medir la edad biológica del individuo, siendo la medición de los centros epifisarios el aspecto más fácilmente mensurable (García de la Rubia *et al*, 1998).

La fisis es considerada un importante punto de referencia radiográfico, debido a que se observa como una línea transparente (radiolúcida) que se diferencia claramente del osteoide mineralizado de la epífisis y la metáfisis. Esta se ve especialmente pronunciada durante los primeros meses de desarrollo esquelético del potrillo, pero a medida que la fisis cierra, la hendidura radiolúcida entre la metáfisis y la epífisis se estrecha y se vuelve inexistente. En un primer momento se genera una línea radiopaca llamada cicatriz fisiaria, que a medida que el animal envejece esta cicatriz sufre remodelación y desaparece (Ferrel *et al*, 2009).

Asimismo, la conformación de los miembros de los potrillos, futuros atletas, ha comenzado a suscitar más atención por parte de veterinarios y criadores en los últimos años, debido a la contribución de una conformación deficiente en la incidencia de lesiones músculoesqueléticas (Santschi, 2003; Love *et al*, 2006).

Debemos tener en cuenta que la tasa de crecimiento ósea es mayor y más prolongada en el tiempo en las fisis que se unen de forma más tardía (Goyal *et al*, 1981), y mientras más a distal del miembro está localizada la fisis de crecimiento, más temprano es su cierre, con la consecuente suspensión del crecimiento longitudinal (Tatarniuk *et al*, 2020).

Los tiempos de cierre radiológico suelen ser anteriores a los tiempos de cierre anatómicos o reales (Myers y Emmerson, 1966), pero el cierre funcional de la fisis de crecimiento ocurre antes del cierre radiológico, por lo que es importante tener esto en cuenta a la hora de corregir desvíos angulares de los miembros (Tatarniuk *et al*, 2020).

Con respecto a los defectos en los aplomos, en potrillos de raza Polo Argentino se observó una prevalencia general de 42,2%, independientemente de la edad a la que fueron evaluados. Los potrillos con defectos en la articulación metacarpo-falángica (estevado o izquierdo) son los que más esfuerzos exigen para su control debido a la ineficacia de los tratamientos, a una fuerte tendencia intrínseca de los animales a manifestar estos desvíos, a la alta prevalencia asociada a estos defectos y a los tiempos de cierre de las placas de crecimiento que caracterizan a cada articulación (Giliberti, 2016; Giliberti y Losinno, 2020). No se han realizado estudios de los aplomos en caballos Criollos en Argentina, sin embargo en caballos Criollos brasileros se observó que durante los primeros cuatro meses de vida la desviación angular más común era el carpo valgo y en menor medida los estevados; pero entre los cuatro y ocho meses de edad el porcentaje de carpo valgo bajaba aunque el de estevados aumentaba (Paz *et al.*, 2008; Paganella *et al.*, 2010). En otro estudio llevado a cabo en potros de raza Pura Sangre de Carrera, Trotador Francés y Silla Francés también se reportó que las desviaciones angulares de la articulación metacarpo-falángica eran las más frecuentes al destete, y afirma que un entendimiento de las peculiaridades específicas de cada raza es trascendental para la evaluación individual de la conformación de los potrillos (Robert *et al*, 2013).

### **Tiempos de cierre de la fisis de crecimiento en diferentes especies y razas de équidos**

Según Casteljins (2008) los tiempos de cierre radiológico establecidos en los equinos en general para las diferentes fisis de crecimiento son: distal de metacarpiano III entre los 6-15 meses, proximal de 1° falange entre los 12 y 15 meses y proximal de 2° falange entre los 8-12 meses. Otros reportes de cierre generales, no específicos de raza, son: distal de metacarpiano III entre los 4-7,5 meses, proximal de 1° falange entre los 7,5-8,8 meses y proximal de 2° falange entre los 7,5-7,9 meses (Tatarniuk *et al*, 2020).

En los caballos Islándicos se observó que a los 47 días de edad las fisis de crecimiento distales de 1° y 2° falange y proximales de 3° falange y metacarpiano III ya se encontraban cerradas. De las fisis distales del miembro que encontraron abiertas al momento de realizar el estudio pudieron determinar que la ubicada en proximal de 2°

falange cierra a los 8,1 meses, la de proximal de 1° falange y distal de metacarpiano III cierra entre los 8,1-8,5 meses (Strand *et al*, 2007).

Myers y Emmerson (1966) estudiaron el cierre de todas las fisis de crecimiento del esqueleto apendicular en caballos de raza Árabe. Al nacimiento no se observaron signos de cartílago de crecimiento en 3° falange, sesamoideos, huesos metacarpiano accesorios ni distal de 2° falange; en distal de 1° falange se observó cicatriz fisiaria. De las fisis relevantes para este estudio, determinaron que el cierre se producía entre los 7,5-8 meses en proximal de la 2° falange, entre los 7,5-9 meses en proximal de la 1° falange y finalmente entre los 7-7,5 en distal del metacarpiano III.

En un estudio transversal realizado en potrancas cuarto de milla se observó que a los 6 meses la fisis de crecimiento de metacarpiano III ya había comenzado su cierre, y a los 9 meses ya se encontraba completamente cerrada en otros individuos (Perrone *et al*, 2009; Cortada, 2012). Esto coincide con las observaciones, también en caballos Cuarto de Milla, de Reynolds *et al*. (1992) donde a los 6 meses la fisis distal del tercer metacarpiano ya había comenzado su cierre en la mitad de los animales muestreados y estaba completamente cerrada a los 9 meses; mientras que la fisis proximal de 1° falange también comenzaba su cierre poco antes de los 6 meses, pero lo finaliza después de los 9.

En caballos Mangalarga Marchador se reportó que el momento de cierre, tanto para la fisis proximal de 1° falange como para la distal del tercer metacarpiano, se produce entre los 5,7 y los 9 meses de edad (Rezende *et al*, 2000).

Yoshida, Ueda, & Masumitso (1982), en Sangre Pura de Carrera, estudiaron las dos fisis de crecimiento (distal de tercer metacarpiano y proximal de primera falange) vinculadas a la articulación del nudo. Así observaron que a los 12 meses el 70% de los potrillos estudiados habían cerrado ambas fisis y a los 14 meses ya se encontraban cerradas en el 100% de la muestra.

En caballos Criollos de Brasil se observó que en distal del hueso metacarpiano III el cierre se produce entre los 6 y 7 meses de edad, y en distal de radio a los 26 meses de edad (Luiz *et al*, 2007). Por el contrario, Llaver (2021) en caballos Criollos de Argentina reporta un cierre fisiario para distal del radio de  $53 \pm 3,31$  meses de edad.

Por otra parte, en burros domésticos (*Equus africanus asinus*) se ha observado que el cierre radiológico de las fisis es considerablemente más tardío. La fisis distal del tercer

metacarpiano cierra a una edad media de 18,8 meses, la fisis proximal de 1° falange a los 15,5 meses y la fisis distal, normalmente no visible en los caballos al nacimiento, a los 14 días. Finalmente la fisis proximal de la 2° falange cierra a una edad media de 10,7 meses (Van Thielen *et al*, 2018).

No se han encontrado en la bibliografía trabajos que estudien de forma conjunta las diferentes fisis ubicadas en la zona distal del miembro anterior en caballos Criollos. Disponer de esta información es trascendente para la corrección de eventuales desvíos angulares de los aplomos de los miembros, y para establecer condiciones de manejo y entrenamiento que no perjudiquen el futuro deportivo de los potrillos.

AUTOR	ESPECIE	RAZA	Proximal 2°Falange	Proximal 1°Falange	Distal Mc III
Castelijns, 2008	<i>Equus ferus caballus</i>	-	8-12	12-15	6-15
Tatarniuk et al., 2020		-	7,5-7,9	7,5-8,8	4-7,5
Strand et al., 2007		Islándico	8,1	8,1-8,5	8,1-8,5
Myers, 1966		Árabe	7,5-8	7,5-9	7-7,5
Perrone et al., 2009		Cuarto de Milla	-	-	8-9
Reynolds et al., 1992		Cuarto de Milla	-	11	9
Yoshida et al., 1982		SPC	-	8	12-14
Luiz et al., 2007		Criollo	-	-	6-7
Rezende et al., 2000		Manga Larga Marchador	-	5,7-9	5,7-9
Van Thielen et al., 2018		<i>Equus africanus asinus</i>	Cruzas	15,5-17,5	15,5-21

**Tabla 1:** Tiempos de cierre radiológico reportados para las fisis distales del miembro anterior, expresados en meses.

## **2. HIPÓTESIS**

- “La fisis de crecimiento proximal de Segunda Falange en potrillos raza Criolla cierra después de los 8 meses de vida”
- “La fisis de crecimiento proximal de Primera Falange en potrillos raza Criolla cierra después de los 9 meses de vida”
- “La fisis de crecimiento distal del hueso Metacarpiano III en potrillos raza Criolla cierra después de los 10 meses de vida”

### **3. OBJETIVOS**

#### **OBJETIVO GENERAL**

Establecer la edad de cierre radiológico del cartílago de crecimiento de los huesos metacarpiano III, primera falange y segunda falange en potrillos de raza Criolla de Argentina.

#### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar si el sexo afecta los tiempos de cierre de los cartílagos de crecimiento de los huesos metacarpiano III, primera y segunda falange de potrillos de raza Criollas.
- Obtener, a través de una encuesta, los datos específicos sobre la alimentación y el manejo específico de cada establecimiento.
- Determinar si la alimentación y el manejo específico de cada establecimiento ejercen influencia sobre el tiempo de cierre de los cartílagos de crecimiento de los huesos metacarpiano III, primera falange y segunda falange en potrillos de raza Criolla.
- Determinar si la tasa de crecimiento afecta los tiempos de cierre de los cartílagos de crecimiento de los huesos metacarpiano III, primera y segunda falange en potrillos de raza Criolla.
- Determinar si los tiempos de cierre de los cartílagos de crecimiento de los huesos metacarpiano III, primera y segunda falange de potrillos de raza Criolla difieren con los reportados en otras especies y razas de équidos.

#### 4. METODOLOGÍA

Para el estudio se utilizaron 37 potrillos de ambos sexos, de raza Criolla, con edades entre los 2 y los 13 meses, provenientes de cinco cabañas de cría de caballos Criollos en Mendoza, Argentina. Se estudiaron entre 7 y 9 animales en cada cabaña. Solo se consideraron aptos para el estudio aquellos potrillos cuyos progenitores tienen su pedigree certificado por análisis de ADN. Los datos de cada individuo se recolectaron de forma protocolizada en una ficha (Anexo 1).

Las cabañas de cría están ubicadas en diferentes zonas geográficas de la provincia de Mendoza, Argentina, y poseen variadas condiciones de manejo y alimentación de los equinos. Se las va a identificar en el presente estudio con números del 1 al 5. Dos de ellas se sitúan en el departamento de Lavalle (1:  $32^{\circ}46'16''S$   $68^{\circ}40'04''W$  y 2:  $32^{\circ}39'20''S$   $68^{\circ}33'06''W$ ), una en Santa Rosa (3:  $32^{\circ}59'49''S$   $68^{\circ}04'49''W$ ), una en San Martín (4:  $33^{\circ}07'33.6''S$   $68^{\circ}22'23.4''W$ ) y la última en el departamento de San Rafael (5:  $34^{\circ}39'40.2''S$   $68^{\circ}31'18.0''W$ ). La ubicación espacial de los establecimientos se puede apreciar en la figura 1. Se realizó una ficha (Anexo 2) para recaudar los datos de manejo productivo de cada establecimiento.



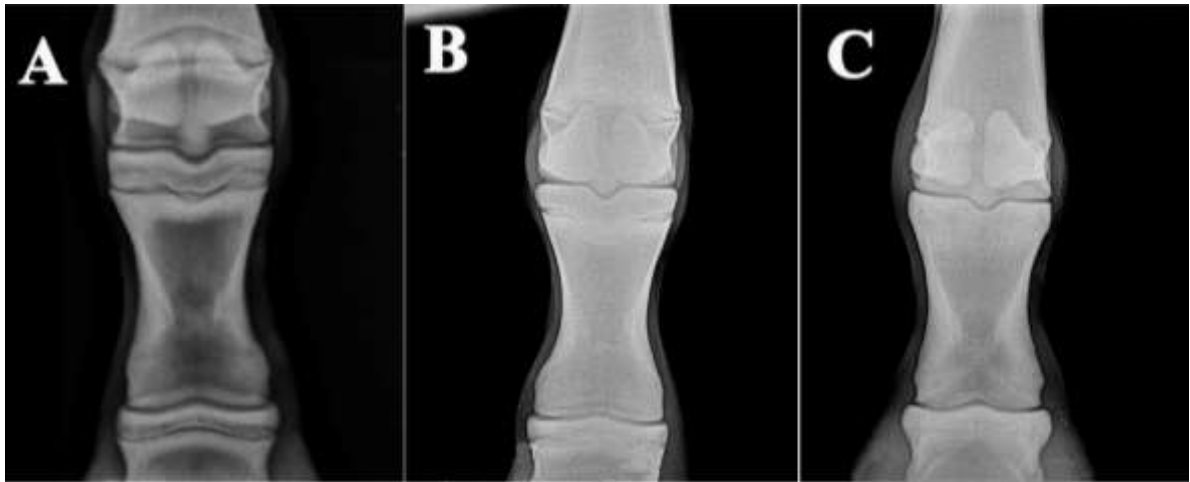
**Figura 1:** Arriba a la derecha se encuentra el mapa de la República Argentina, con la provincia de Mendoza resaltada en color rojo. En el centro, mapa físico de la provincia de Mendoza con la ubicación geográfica de las cabañas donde se realizaron los muestreos, con su correspondiente identificación numérica.

La planicie mendocina se caracteriza por un clima árido con precipitaciones muy escasas, inferiores a los 250 milímetros anuales, de régimen pluvio-estival torrencial y temperatura media anual entre los 12°C y 16° C. Los suelos son arenosos a franco arenosos, profundos y muy permeables, con alta salinidad en algunas zonas. Estas condiciones naturales determinan el predominio de dos biomas principales: el monte al norte y este, con predominio de arbustos y bosques xerófilos marginales principalmente de los géneros *Larrea*, *Prosopis* y *Atriplex* y bioma de estepa patagónica hacia el sur, con formaciones discontinuas de arbustos bajos de géneros *Mulinum*, *Schinus* y *Larrea* entre otros. Ambos poseen un denso con piso de gramíneas xerófilas, halófilas y psammofilas como *Aristida mendocina*, *Distichlis spicata*, *Panicum urvilleanum*, *Pappophorum philippianum*, *Paspalum dilatatum*, *Festuca argentina* y *Trichloris crinita*. (Cabrera, 1951; Quarleri, 1985). Solo el 2% de la superficie provincia se encuentra irrigada artificialmente, y en consecuencia bajo uso intensivo, principalmente por cursos de agua de régimen nival (Torres *et al*, 2003).

Para tomar las radiografías se utilizó un equipo de rayos X portátil marca POSKOM® de 90kV- 20mAs y chasis digital directo marca CareRay 750Cw de 10"x12" y marca JPI ExamVue Wireless de 10"x12". Se utilizaron las medidas de bioseguridad correspondiente como delantal con cubre tiroides y colimador en el equipo.

Los potrillos fueron radiografiados en estación, sobre una superficie plana. Se tomaron radiografías proyección dorso-palmar de la región distal del miembro anterior, que incluían las articulaciones metacarpo-falángica e interfalángica proximal. El miembro (izquierdo o derecho) se seleccionó al azar al momento del primer examen y siempre se utilizó el mismo en las evaluaciones sucesivas. Las radiografías se realizaron cada  $70 \pm 15$  días a partir de los 60 días de vida de los potrillos y hasta los 14 meses o hasta el cierre de la fisis distal del tercer metacarpiano, lo que ocurriese antes.

Se evaluó el grado de cierre del cartílago de crecimiento de forma cualitativa utilizando una escala similar a la de El Shorafa (1979). En la cual 0 (cero) corresponde a una fisis o cartílago de crecimiento completamente abierta, 1 (uno) una fisis que ha comenzado el cierre en su centro (25% cerrada), 2 (dos) una fisis 50% cerrada, 3 (tres) una fisis 75% cerrada y 4(cuatro) corresponde a una fisis completamente cerrada (Fig. 2).



**Figura 2:** Radiografías de potrillos muestreados, con diferentes grados de cierre del cartílagos de crecimiento. A: todas las fisis de crecimiento se encuentran abiertas (0). B: La fisis proximal de 2° falange se encuentra un 75% cerrada (3), la proximal de 1° falange se encuentra un 50% cerrada (2) y la distal de metacarpiano III está un 25% cerrada (1). C: Todas las fisis se encuentran completamente cerradas (4).

Al momento de la evaluación radiográfica de los potrillos se tomaron datos de circunferencia torácica y peso con cinta comercial marca Easy-Measure®, y altura a la cruz (alzada) con hipómetro comercial, graduado de aluminio. También se les efectuó una inspección clínica para evaluar presencia de claudicación o efusión articular.

La tasa de crecimiento, estimada a través de la ganancia diaria de peso, se realizó en base a las tablas del National Research Council para caballos de hasta 400kg de peso vivo en su madurez (NRC, 1989).

Para el análisis estadístico se utilizó el programa GraphPad Prism 7.0. Para obtener los datos generales de cierre de cartílago de crecimiento se realizó estadística descriptiva para los grados de cierre 0 a 4. También para evaluar el momento de cierre de la fisis, se construyó una curva según método de Kaplan-Meier, cuyos resultados se expresan como la mediana de cada curva. Las comparaciones entre curvas se efectuaron mediante el test Log-rank de Mantel-Cox con el fin de evaluar si son distintas ( $p < 0,05$ ) o similares ( $p > 0,05$ ). Se correlacionó el crecimiento en cm con el cambio en la categoría de grado de cierre en el mismo período de observación, mediante coeficiente de correlación de Spearman.

## 5. RESULTADOS

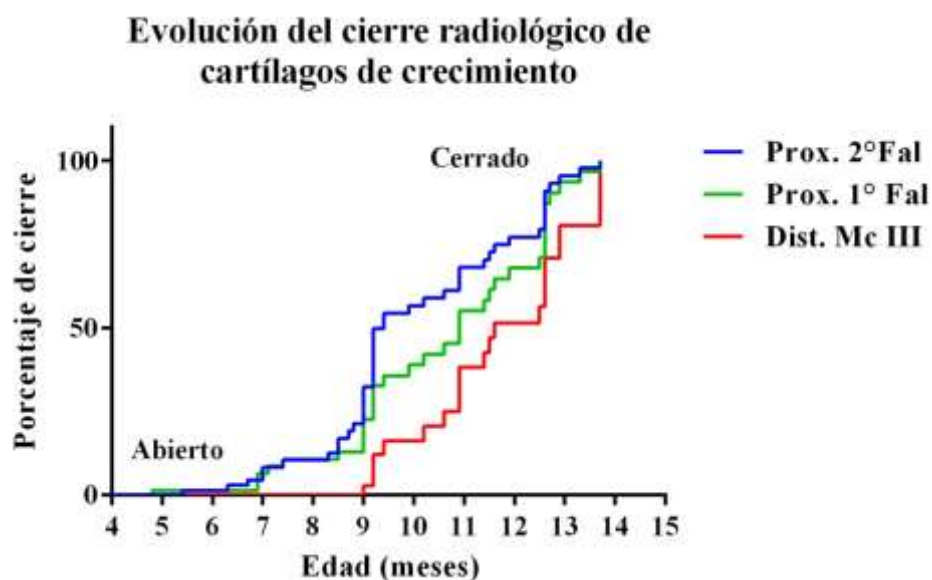
Al momento de los muestreos, ninguno de los animales presentó efusiones articulares y sólo uno presentó claudicación leve en uno solo de sus exámenes, consecuencia de una herida superficial en la región de la cuartilla. El potrillo recibió el tratamiento adecuado y al siguiente examen no presentaba anomalía alguna, por lo cual todas las radiografías de este animal fueron incluidas en el estudio.

Según las fórmulas de estadística descriptiva, se encontró que la fisis de crecimiento proximal de 2° falange cierra completamente a una edad media de  $8,73 \pm 0,59$  meses, la fisis proximal de 1° falange a los  $10,13 \pm 1,06$  meses y finalmente, en distal del tercer metacarpiano la fisis cierra a los  $11,06 \pm 0,85$ . En la tabla 2 se pueden observar los resultados obtenidos para los diferentes grados de cierre observados en la fisis de crecimiento.

<b>Grado de Cierre</b>	<b>Estadísticos</b>		<b>Prox. 2° Fal.</b>	<b>Prox. 1° Fal.</b>	<b>Dist. Mc III</b>
<b>0</b>	Media		3,15	3,11	4,25
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	2,66	2,53	3,76
		Límite superior	3,64	3,69	4,74
	Mediana		3,20	3,15	4,30
<b>1</b>	Media		4,28	4,56	6,97
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	3,66	3,96	6,60
		Límite superior	4,90	5,16	7,34
	Mediana		4,30	4,30	6,90
<b>2</b>	Media		5,83	6,54	7,25
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	5,07	6,02	6,34
		Límite superior	6,58	7,07	8,16
	Mediana		6,50	6,70	6,95
<b>3</b>	Media		6,71	8,09	9,67
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	6,21	7,31	8,72
		Límite superior	7,21	8,87	10,62
	Mediana		6,90	8,70	9,20
<b>4</b>	Media		8,73	10,13	11,06
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	8,14	9,07	10,21
		Límite superior	9,31	11,19	11,90
	Mediana		9,00	10,20	10,90

**Tabla 2:** Descripción de la edad (en meses) según grado de cierre.

Utilizando el análisis de supervivencia de Kaplan-Meyer, las medianas de los tiempos de cierre observados para las diferentes fisis de crecimientos fueron a los 9,4 meses en proximal de 2° falange; 10,9 meses en proximal de primera falange y 11,6 meses en distal del tercer metacarpiano (Fig. 1).

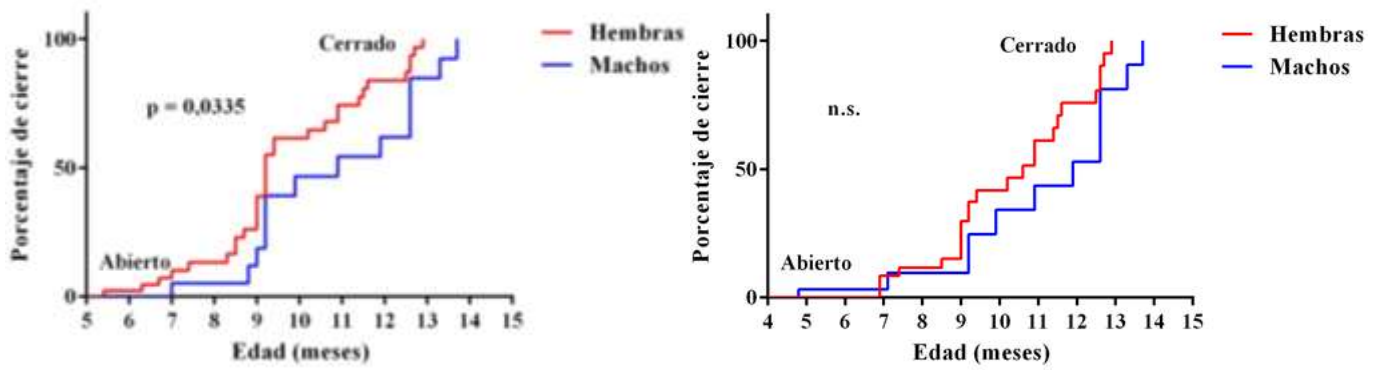


**Figura 3:** Se observan las curvas de Kaplan-Meyer con el cierre de las fisis de crecimiento proximal de 2° falange, proximal de 1°falange y distal de metacarpiano III. En el eje X, el porcentaje representa a la población que ha alcanzado el cierre completo del cartílago de crecimiento.

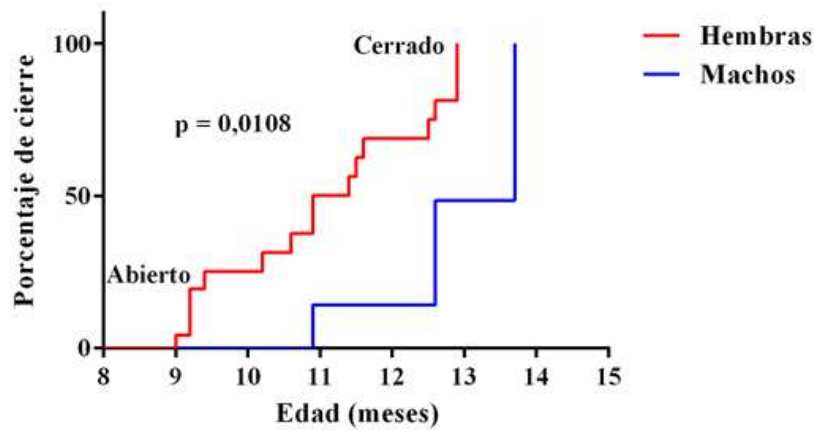
La muestra estudiada se compuso por un 54% de hembras (20 individuos) y un 46% de machos (17 individuos). Según lo observado, los tiempos de cierre se ven significativamente influidos por el sexo del potrillo en la fisis proximal de 2° falange (Fig.2) y distal de metacarpiano III (Fig.4), y se observa la misma tendencia en proximal de 1° falange (Fig.3), aunque esta no resultó estadísticamente significativa. Siendo las hembras más precoces que los machos en las tres fisis analizadas. Los tiempos se detallan en la tabla a continuación.

	HEMBRAS	MACHOS	COMPARACIÓN
Proximal 2°Falange	9,2	10,9	p = 0,0335
Proximal 1°Falange	10,6	11,9	p = 0,0819
Distal Metacarpiano III	10,9	13,7	p = 0,0108

**Tabla 3:** Momento de cierre de cada fisis de crecimiento (expresado en meses) en los diferentes sexos y su comparación con el test Log-rank Mantel-Cox.  $p \leq 0,05$  indica que las curvas son diferentes.



**Figura 4 y Figura 5:** Curvas de cierre de cartílago de crecimiento proximal de 2º falange (izquierda) y 1º falange (derecha) para machos y hembras. En el eje X, el porcentaje representa a la población que ha alcanzado el cierre completo del cartílago de crecimiento.



**Figura 6** Curvas de cierre de cartílago de crecimiento distal del hueso metacarpiano III para machos y hembras. En el eje X, el porcentaje representa a la población que ha alcanzado el cierre completo del cartílago de crecimiento.

A través de la encuesta realizada al inicio de los muestreos se pudieron obtener los datos de manejo de las diferentes cabañas, resumidos en la siguiente tabla:

	<b>Tipo de Manejo</b>	<b>Alimentación</b>
Cabaña 1	Mixto	Pastura implantada, verdeos de invierno/verano. En corral (noche) rollo de alfalfa <i>ad libitum</i> y suplementación con mezcla de rebacillo de trigo, maíz partido y avena.
Cabaña 2	Mixto	Vestigios de pastura de alfalfa con malezas. Solo destetes se suplementan con balanceado comercial (Conecar® mezcla para caballos)

Cabaña 3	Extensivo	Pastizal natural
Cabaña 4	a- Intensivo en yeguas preñadas y potrillos lactantes b- Mixto en destetes (6-7 meses)	a- Rollo de alfalfa y subproductos de la chacra (zapallo y zanahoria) <i>ad libitum</i> , suplementado con maíz y rebacillo b- Pastura implantada de alfalfa en pastoreo directo, suplementado con balanceado comercial (Equidiet Haras®).
Cabaña 5	Extensivo	Pastura implantada consociada como único alimento, o pastizal natural con suplementación de alimento balanceado comercial (Derby Entrenamiento® o Corrector® según categoría) y rollo de alfalfa <i>ad libitum</i> en caso de ser necesario.

**Tabla 4:** Establecimientos muestreados y los manejos productivos implementados en ellos.

Se observó que las características y el manejo específicos de cada establecimiento, entre ellos la estabulación y alimentación, sí afectan los tiempos de cierre de las fisis de crecimiento estudiadas (Tabla 5). Siendo los establecimientos 1, 4 y 5 donde más temprano cierran.

FISIS	ESTABLECIMIENTO					COMPARACIÓN
	1	2	3	4	5	
Proximal 2°Falange	8,7	10,75	10,9	9	10,4	p = 0,0250
Proximal 1°Falange	11,6	12,7	12,6	9	10,9	p < 0,0001
Distal Metacarpiano III	11,6	*	12,6	*	10,9	p = 0,0097

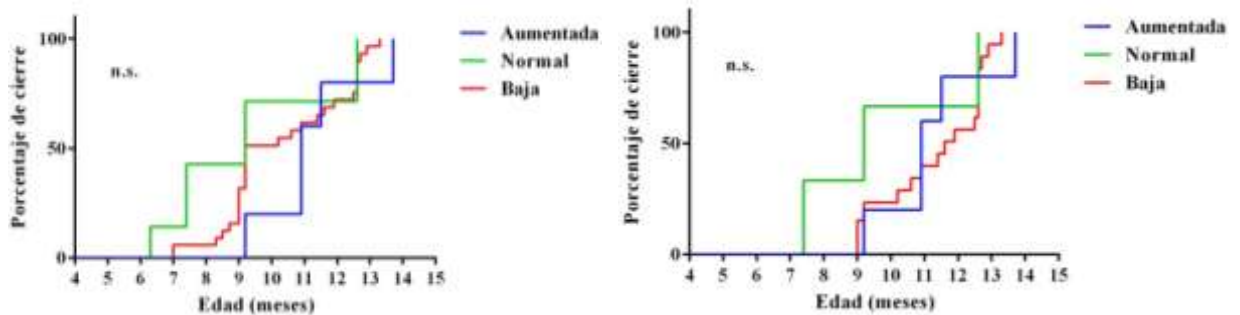
**Tabla 5:** Momento de cierre de cada fisis de crecimiento (expresado en meses) en los diferentes establecimientos y su comparación con el test Log-rank Mantel-Cox.  $p \leq 0,05$  indica que las curvas son diferentes. \*no se encontró definición para ese parámetro.

Por otro lado, no se encontraron correlaciones significativas entre el crecimiento en centímetros de la alzada con el grado de cierre del cartílago de crecimiento. Tampoco se encontró diferencias en las curvas de cierre de las diferentes fisis de crecimiento según la tasa de crecimiento de los animales, estimada por la ganancia de peso. Aunque, como se observa en la tabla 4, se pudo apreciar una tendencia en la cual los animales con una

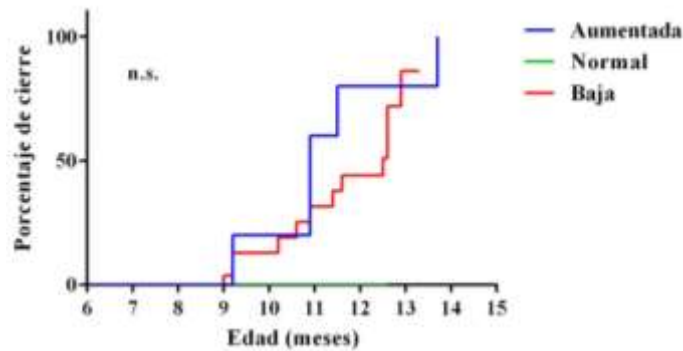
ganancia de peso dentro de los valores y rangos considerados normales para la edad cierran sus cartílagos a de forma más temprana.

	GANANCIA DE PESO			COMPARACIÓN
	Aumentada	Normal	Baja	
Proximal 2°Falange	10,9	9,2	9,5	p = 0,3655
Proximal 1°Falange	10,9	9,2	11,6	p = 0,5983
Distal Metacarpiano III	10,9	*	12,5	p = 0,4093

**Tabla 6:** Momento de cierre de cada fisis de crecimiento (expresado en meses) según la ganancia de peso y su comparación con el test Log-rank Mantel-Cox.  $p \leq 0,05$  indica que las curvas son diferentes. \*no se encontró definición para ese parámetro.



**Figura 7 y Figura 8:** Curvas de cierre de cartílago de crecimiento proximal de 2° falange (izquierda) y 1° falange (derecha) según categorización de ganancia de peso. En el eje X, el porcentaje representa a la población que ha alcanzado el cierre completo del cartílago de crecimiento.



**Figura 9:** Curvas de cierre de cartílago de crecimiento distal del hueso metacarpiano III según categorización de ganancia de peso. En el eje X, el porcentaje representa a la población que ha alcanzado el cierre completo del cartílago de crecimiento.

## 6. DISCUSIÓN

De acuerdo a nuestros resultados de búsqueda bibliográfica, este es el primer trabajo realizado en caballos Criollos donde se estudian de forma simultánea las fisis de crecimiento distales del miembro anterior. Los estudios realizados hasta ahora en la raza Criolla prácticamente se centraron en la fisis distal del radio, y obtuvieron, a través de una metodología similar, resultados muy diferentes. Por un lado Llaver et al. (2021) informó el cierre a los  $53 \pm 3,3$  meses de edad, mientras que para Luiz et al. (2007) esto ocurre a los 26 meses de edad. Habiendo una diferencia tan grande entre dos trabajos realizados en la misma raza, cobran mayor relevancia los resultados obtenidos en este estudio, pudiendo aportar nuevos datos, visiones e interpretaciones del tema.

Los tiempos de cierre del cartílago de crecimiento se calcularon utilizando dos métodos estadísticos diferentes. El primero fue a través de la estadística descriptiva, de forma similar a la utilizada en la mayoría de la bibliografía consultada, y el segundo método fue a través del análisis de sobrevida utilizando el modelo de Kaplan-Meier. Los métodos no son comparables entre sí, pero se pudo apreciar escasa diferencia entre los resultados obtenidos en la media aritmética con su intervalo de confianza y en la mediana del análisis de Kaplan-Meier.

Se considera que el modelo estadístico de Kaplan-Meier y el test de Log-Rank (Mantel Cox) es el más adecuado para evaluar y comparar el momento de cierre de las fisis de crecimiento, debido a que se intenta establecer el tiempo de ocurrencia de un evento específico, es un diseño antes-después. Además es un método estadístico útil cuando se estudia un pequeño número de pacientes, y tiene en cuenta los datos censurados (Arribalzaga, 2007), muy comunes en este tipo de trabajos longitudinales.

Con respecto a los tiempos de cierre del cartílago de crecimiento, Myers & Emmerson (1966), Strand et al. (2007) y Tatarniuk et al. (2020) reportaron tiempos de cierre para la fisis proximal de 2° falange que van entre los 7,5 y los 8,1 meses, siendo en el caballo Criollo llamativamente más tardío ya que cierra a los 9,4 meses. Aunque sí se encuentra dentro de lo establecido por Castelijns (2008), con rango entre los 8-12 meses, pero este autor aclara que el período de crecimiento rápido de esta fisis, y también de la fisis proximal de 1° falange, finaliza a los dos o tres meses de edad.

En la fisis proximal de 1° falange se observó la mediana del cierre radiológico a los 10,9 meses, y también se encuentra dentro de lo establecido por Castelijns (2008), con rango establecido los 12-15 meses. Pero si lo comparamos con los estudios que se encontraron del tiempo de cierre de esta fisis para diferentes razas de caballos (Myers & Emmerson, 1966; Yoshida et al., 1982; Reynolds et al., 1992; Rezende, Sampaio, Legorreta, & Moreira, 2000; Strand et al., 2007; Tatarniuk et al., 2020), son más tardíos.

El cartílago de crecimiento distal del tercer metacarpiano sigue el mismo patrón observado en las falanges, ya que la mediana de cierre ocurre a los 11,6 meses y se encuentra dentro del rango de cierre radiológico establecido por Castelijns (2008) entre los 6-15 meses, con el período de crecimiento rápido a los 3-4 meses; y también por Yoshida et al. (1982) que en SPC informó un cierre entre los 12-14 meses. Sin embargo es más tardío que los tiempos de cierre reportados por Tatarniuk et al. (2020), y que lo observado en caballos raza Árabe (Myers & Emmerson, 1966), Islándico (Strand et al., 2007), Cuarto de Milla (Reynolds et al., 1992; Perrone et al., 2009) y Mangalarga Marchador (Rezende et al., 2000).

Si comparamos los resultados de este trabajo con las observaciones realizadas en burros domésticos (*Equus ferus asinus*) (Van Thielen et al., 2018), se puede advertir que para las tres fisis de crecimiento estudiadas los burros son los que poseen un cierre radiológico más lento.

En el único antecedente bibliográfico que estudia en caballos Criollos alguna de las fisis abordadas en este trabajo, se evidencian resultados muy diferentes a los aquí reportados. Mientras que en este trabajo se observó un cierre definitivo todos de los discos de crecimiento a edades avanzadas, Luiz et al. (2007) reportó que la fisis de crecimiento distal del metacarpiano III ya se encuentra completamente cerrada a los 7 meses de edad. Esta pronunciada diferencia también fue observada por Llaver et al. (2021) en un estudio de la fisis de crecimiento distal del radio.

Con respecto a la diferencia en los tiempos de cierre de las fisis según el sexo, en este trabajo se detectó un cierre más precoz en hembras que en machos en proximal de 2° falange y distal del tercer metacarpiano, esto coincide con lo observado por Luiz et al. (2007), Yoshida et al. (1982) y Van Thielen et al. (2018). Este fenómeno también es una tendencia en proximal de la 1° falange, aunque el resultado no sea estadísticamente significativo, lo cual concuerda con lo reportado por Łuszczynski & Pieszka (2011). Por el

contrario, Llaver et al. (2020) no encontraron diferencias estadísticamente significativas para el cierre de la fisis de radio distal entre machos y hembras raza Criolla, aunque es importante resaltar que la proporción cada sexo en ese estudio fue muy diferente; estas observaciones coinciden con lo reportado por Gabel (1977).

Este trabajo no pretende realizar un análisis de la alimentación y nutrición de los potrillos estudiados, por lo que no se tiene conocimiento de las características nutricionales de la base forrajera ofertada, ya sea pastizal natural o pastura implantada. Lo que se planteó como objetivo fue evidenciar si el manejo propio de cada establecimiento podría influir en los tiempos de cierre de las fisis de crecimiento, y esto incluye alimento se les brindaba y la forma de ofertar ese alimento (intensivo o extensivo). Se tenía en cuenta que este parámetro no había resultado significativo en un estudio previo realizado en caballos Criollos de Brasil (Luiz et al., 2007), aunque el mismo autor relata que este resultado puede ser consecuencia de la diferencia entre animales de cada régimen en la muestra. Cuando se compararon las curvas de cierre entre las cabañas de cría de este estudio se observó una diferencia significativa en las tres fisis estudiadas, aunque se considera que sería de utilidad expandir la muestra, ya que para la fisis de tercer metacarpiano no se obtuvieron datos en dos cabañas.

Asimismo, a través de la encuesta realizada a los propietarios/encargados de las cabañas se obtuvieron datos relevantes para relacionar con la diferencia entre las curvas de cierre de cartílago de crecimiento de los diferentes establecimientos. En los manejos observados, mixto o extensivo, no se pudo establecer una relación con la diferencia. En los establecimientos donde se suministró a todas las categorías alguna suplementación con concentrado o una base forrajera de buena calidad (establecimientos 1, 4 y 5) los cartílagos cerraron más precozmente que los que se suplementaba solo al destete y/o tenían una base forrajera pobre con pastizal natural o restos de pasturas implantadas (establecimientos 2 y 3). La cabaña 3, donde el manejo era extensivo y sólo a base de pastizal natural fue donde se observó un cierre más tardío de las fisis de crecimiento distales del miembro anterior.

Otras referencias bibliográficas también sostienen que la suplementación nutricional puede disminuir los tiempos de las fisis de crecimiento, o en su defecto, que la restricción alimentaria puede demorarlos. Cortada (2012) sugiere que la suplementación con levaduras (*Saccharomyces cerevisiae* cepa 1026) aceleró el tiempo de cierre de la fisis distal del radio en potrancas Cuarto de Milla; aunque estos resultados son observados

como tendencia ya que no resultaron estadísticamente significativos, además la población estudiada es pequeña y sólo eran hembras. Por otra parte, Rezende *et al.* (2000) demostró en potrillos de raza Manga Larga Marchador que la suplementación nutricional para alcanzar los requerimientos de la NRC, incluso previa al destete puede adelantar el cierre de las fisis en comparación a animales con déficits nutricionales.

Sin embargo, Llaver (2014) plantea que no hay diferencia entre el cierre de la fisis distal de radio en caballos alimentados en pastizal natural o pastura implantada durante su recría, pero no hace referencia si se suplementaban o no con concentrados, la alimentación de los caballos cuando pasaron de categoría ni a qué zona geográfica correspondía el pastizal.

Cuando se correlacionó el crecimiento en centímetros con el grado de cierre de la fisis y se compararon las curvas de cierre según la tasa de crecimiento estimada por la ganancia de peso de los animales no se encontraron resultados significativos, esto coincide con lo ya reportado por Goyal *et al.* (1981). Asimismo, se observa una tendencia a un cierre demorado en los animales con una ganancia de peso extrema (aumentada o baja) con respecto a los que tenían una ganancia de peso dentro de la normalidad, aunque sería interesante ampliar la muestra para poder obtener más datos sobre este parámetro.

## 7. CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos en este estudio es posible contribuir a establecer la edad de cierre aproximada de las fisis de crecimiento distales del miembro en caballos criollos de Argentina en las condiciones que han sido definidas. Esto eventualmente puede resultar relevante para la cría, ya que con esta información se podrían tratar o prevenir desviaciones angulares, pudiendo quizás mejorar la salud y el desempeño individual de los animales y el de la producción en general.

Se comprobaron las tres hipótesis planteadas al inicio de la investigación, confirmando así un cierre retardado en comparación con la mayoría de las razas ya estudiadas. Por tanto, la fisis de crecimiento proximal de 2° falange cierra aproximadamente a los 9,4 meses, la fisis proximal de 1° falange lo hace a los 10,9 meses y finalmente la fisis distal del hueso metacarpiano tercero cierra a los 11,6 meses.

También se estableció que el modelo estadístico de Kaplan-Meier y el test de Log-Rank (Mantel Cox), que no habían utilizado en trabajos similares, son adecuados para evaluar y comparar el momento de cierre de las fisis de crecimiento.

Se observó que el sexo de los potrillos influye en el cierre del cartílago de crecimiento, siendo las hembras más precoces que los machos. También se demostró la influencia del establecimiento de cría, caracterizado por tipo de manejo y alimentación, que estableció un cierre retrasado en las cabañas donde no se brindaba ningún tipo de suplemento alimenticio y poseían una base forrajera inadecuada.

No se pudo demostrar una influencia directa de la tasa de crecimiento, ya sea como ganancia diaria de peso o crecimiento en centímetros. Aunque se observó una tendencia en los animales con una ganancia de peso normal, que cierran sus cartílagos a una edad más temprana en comparación con los que poseían una ganancia de peso aumentada o disminuida.

Finalmente, se considera que serían de utilidad futuras investigaciones con ampliación de la muestra, tanto en número de animales como en establecimientos, para obtener resultados estadísticos con más peso en algunas de las variables estudiadas en este trabajo. También sería importante vincular los resultados de este trabajo con un estudio de desviaciones angulares y de nutrición en potrillos de raza Criolla.

## BIBLIOGRAFÍA

- Asociación de Criadores de Caballos Criollos. (2019). *Estándar o Modelo Racial de la Raza Criolla*. Recuperado el 27 de julio de 2020, de Asociación de Criadores de Caballos Criollos: <https://www.caballoscriollos.com/sitio/noticia.html?n=25>
- Allen, W. R., Wilsher, S., Tiplady, C., & Butterfield, R. M. (2004). The influence of maternal size on pre- and postnatal growth in the horse: III postnatal growth. *Reproduction*, 127(1), 67-77. <https://doi.org/10.1530/rep.1.00024>
- Anderson, T. M., & McIlwraith, C. W. (2004). Longitudinal development of equine conformation from weanling to age 3 years in the Thoroughbred. *Equine Veterinary Journal*, 36(7), 563-570. <https://doi.org/10.2746/0425164044864507>
- Arribalzaga, E. B. (2007). Interpretación de las curvas de supervivencia. *Revista chilena de cirugía*, 59(1). <https://doi.org/10.4067/s0718-40262007000100013>
- Brown, M., & Mc Callum, F. (1976). Observations in growth plates in limbs of foals. *Veterinary Record*, 98, 443-446.
- Cable, C. S. (2001). Castration In The Horse. Recuperado 23 de julio de 2013, de The Horse website: [www.thehorse.com/articles/10024/castration-in-the-horse](http://www.thehorse.com/articles/10024/castration-in-the-horse)
- Cabrera, A. L. (1951). Territorios fitogeográficos de la República Argentina. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, 4(1 y 2), 21-65.
- Castelijns, H. (2008). Proceeding of the SEVC Southern European Veterinary Conference Foal Development : Angular and Rotational Deformities Around the. *Growth (Lakeland)*.
- Corbi-Botto, C. M., Morales-Durand, H., Zappa, M. E., Sadaba, S. A., Peral-García, P., Giovambattista, G., & Díaz, S. (2019). Genomic structural diversity in Criollo Argentino horses: Analysis of copy number variations. *Gene*, 695(October 2018), 26-31. <https://doi.org/10.1016/j.gene.2018.12.067>
- Cortada, M. S. (2012). *Efecto de la suplementación con cultivos vivos de levaduras (Saccharomyces cerevisiae cepa 1026) (Yea-Sacc® 1026) en el cierre de los cartílagos epifisarios de crecimiento en potrillos Cuarto de Milla* (Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Católica Argentina. Disponible). Recuperado de <http://bibliotecadigital.uca.edu.ar/repositorio/tesis/efecto-suplementacion-cultivos-vivos-levaduras.pdf>
- Gabel, A. (1977). A study of correlation of closure of the distal radial physis with performance and injury in the Standardbred. *the New Englands Journal of Medicine*, 170(1933), 259-260.
- García de la Rubia, S., Santoja Medina, F., & Pastor Clemente, A. (1998). Valoración de la Edad Ósea. *Acta Médica Colombiana*, 43(2S), 176. <https://doi.org/10.36104/amc.2018.1400>
- Giliberti, S. N. (2016). *PREVALENCIA DE ALTERACIONES DE APLOMOS RELACIONADOS A LA EDAD, EN POTRILLOS DE RAZA POLO ARGENTINO*. UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO.
- Giliberti Sergio., & Losinno Luis. (2020). *Prevalencia y control precoz de aplomos en potrillos de raza deportiva*. 7(4), 142-156. Recuperado de <https://revistafcaunlz.gramaweb.com.ar/wp-content/uploads/2020/11/Giliberti-y-Losinno.pdf>
- Giovambattista, G., Rogberg Muñoz, A., Ripoli, M. V., Villegas Castagnasso, E. E., Díaz, S., Posik, D. M., ... Peral García, P. (2010). La genética molecular de bovinos y equinos criollos en los albores del siglo XXI. *BAG - Journal of Basic and Applied Genetics*, 21(2).

- Goyal, H. O., MacCallum, F. J., Brown, M. P., & Delack, J. B. (1981). Growth rates at the extremities of limb bones in young horses. *Canadian Veterinary Journal*, 22(2), 31-33.
- Komosa, M., Frackowiak, H., Purzyc, H., Wojnowska, M., Gramacki, A., & Gramacki, J. (2013). Differences in exterior conformation between primitive, Half-bred, and Thoroughbred horses: Anatomic-breeding approach. *Journal of Animal Science*, 91(4), 1660-1668. <https://doi.org/10.2527/jas.2012-5367>
- Lima, R. A. S., & Cintra, A. G. (2016). Estudo do complexo do Agronegócio do cavalo. En *Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*. Recuperado de <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/camaras-setoriais-tematicas/documentos/camaras-setoriais/equideocultura/anos-anteriores/revisao-do-estudo-do-complexo-do-agronegocio-do-cavalo>
- Llaver, L. V. (2014). *Hallazgos daiológicos vinculados a la fisis de crecimiento distal del radio en Caballos Criollos*. Juan Agustín Maza.
- Llaver, L. V., Sandes, J. F., & Losinno, L. (2020). Cierre radiológico tardío del cartílago de crecimiento distal del radio en caballos criollos de Argentina. *Revista de Divulgación Técnica Agropecuaria, Agroindustrial y Ambiental*, 7(4), 41-50.
- Luiz, R. C., De La Corte, F. D., & Brass, K. E. (2007). Fechamento das placas epifisárias do metacarpião principal, do rádio e da tibia em potros Crioulos. *Ciência Rural*, 37(4), 1052-1055. <https://doi.org/10.1590/s0103-84782007000400021>
- Luszczynski, J., & Pieszka, M. (2011). The effect of year and season of birth, sex, sire, and breeder on ossification of the distal epiphyseal cartilage of the radial bone in thoroughbred horses. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 35(6), 413-420. <https://doi.org/10.3906/vet-1003-306>
- Mason, T. A., & Bourke, J. M. (1973). Closure of the Distal Radial Epiphysis and Its Relationship To Unsoundness in Two Year Old Thoroughbreds. *Australian Veterinary Journal*, 49(7), 346-346. <https://doi.org/10.1111/j.1751-0813.1973.tb06829.x>
- Moraes, B. dos S. S., Amaral, L. A., Finger, I. S., Mazzini, A. R. A., Pazinato, F. M., Curcio, B. R., & Nogueira, C. E. W. (2017). Growth Curve of Crioulo Foals from Birth until 24 Months of Age. *Acta Scientiae Veterinariae*, 45(August), 1-7.
- Myers, V. S., & Emmerson, M. A. (1966). The Age and Manner of Epiphyseal Closure in the Forelegs of Two Arabian Foals. *Veterinary Radiology*, 7(1), 39-47. <https://doi.org/10.1111/j.1740-8261.1966.tb01062.x>
- Nath, L. C. (2014). Reproductive management of athletic horse. En K. W. Hinchcliff, A. J. Kaneps, & R. J. Geor (Eds.), *Equine Sport Medicine and Surgery* (2nd Editio, p. 1775). Saunders Elsevier.
- NRC. (1989). *Nutrient Requirements Horses* (Fifth Revi). Washington DC: The National Academy Press.
- Paganela, J. C., Dos Santos, C. A., Ripoll, P. K., Paz, C. D. R., Nogueira, C. E. W., & González, D. A. (2010). DESVIOS ANGULARES EM POTROS DA RAÇA CRIOLA NA REGIÃO SUL DO RS DO PRIMEIRO AO OITAVO MÊS DE VIDA SOB MANEJO EXTENSIVO DE CRIAÇÃO. *Ciência Animal Brasileira*, 11(3). <https://doi.org/10.5216/cab.v11i3.6361>
- Paz, C. F. R., Ripoll, P. K., Dos Santos, C. A., Paganela, J. C., & Nogueira, C. E. W. (2008). AVALIAÇÃO DE APRUMOS DOS POTROS DA RAÇA CRIOLA NA REGIÃO SUL DO RIO GRANDE DO SUL DO PRIMEIRO AO OITAVO MÊS DE VIDA. *XVII Congresso de Iniciação Científica - X Endentro de Pos-graduacao*.
- Paz, S., Rojas, C., Sosa, M., Flores, M., Casal Gomez, L., Quinn, C., ... Genero, E. (2009). Evolución productiva de la RAZA CRIOLLA ARGENTINA. *BOLETÍN INFORMATIVO DE LA ASOCIACIÓN CRIADORES DE CABALLOS CRIOLLOS*, 8-10.
- Perrone, G., Caviglia, J., Hary, M. J., Álvarez, E., & Chiappe Barbará, A. (2009). CIERRE TEMPRANO DEL CARTÍLAGO DE CRECIMIENTO DEL TERCER METACARPIANO EN POTRILLOS

CUARTO DE MILLA EARLY. *Revista Complutense de Ciencias Veterinarias*, 3(2), 360-367.  
Recuperado de  
<http://www.ucm.es/BUCM/revistasBUC/portal/modulos.php?name=Revistas2&id=RCCV&col=1>

- Peugnet, P., Mendoza, L., Wimel, L., Duchamp, G., Dubois, C., Reigner, F., ... Chavatte-Palmer, P. (2016). Longitudinal Study of Growth and Osteoarticular Status in Foals Born to Between-Breed Embryo Transfers. *Journal of Equine Veterinary Science*, 37, 24-38. <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2015.11.008>
- Pimentel, A. M. H., Rodrigues, W. B., Martins, C. F., Montanez, N. R., Boligon, A. A., & Souza, J. R. M. de. (2017). Gender on the growth of Criollo foals from birth to three years of age. *Ciência Rural*, 47(1), 1-6. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20150989>
- Porte, E. E. (2000). Crecimiento y desarrollo del caballo criollo chileno. *Avances en Producción Animal*, 25(1-2), 167-174.
- Raub, R. H. (2010). Growing more durable equine athletes. *Comparative Exercise Physiology*, 7(2), 49-56. <https://doi.org/10.1017/S175525401000019X>
- Reynolds, J. A., Morris, E. L., Senor, D. M., Frey, K. S., Reagan, D., Weir, V. A., ... Potter, G. D. (1992). The incidence of bone lesions in the carpal and tarsal regions and the rate of physeal closure in weanling quarter horses. *Journal of Equine Veterinary Science*, 12(2), 114-117. [https://doi.org/10.1016/S0737-0806\(06\)81292-X](https://doi.org/10.1016/S0737-0806(06)81292-X)
- Rezende, A. S. C., Sampaio, I. B. M., Legorreta, G. L., & Moreira, D. C. A. (2000). Effect of two different nutritional programs on orthopedic alterations in Mangalarga Marchador foals. *Journal of Equine Veterinary Science*, 20(10), 651-656. [https://doi.org/10.1016/S0737-0806\(00\)80434-7](https://doi.org/10.1016/S0737-0806(00)80434-7)
- Robert, C., Valette, J. P., & Denoix, J. M. (2013). Longitudinal development of equine forelimb conformation from birth to weaning in three different horse breeds. *Veterinary Journal*, 198(SUPPL1), e75-e80. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2013.09.037>
- Rogers, C. W., Gee, E. K., & Dittmer, K. E. (2021). Growth and bone development in the horse: When is a horse skeletally mature? *Animals*, 11(12), 1-14. <https://doi.org/10.3390/ani11123402>
- Shorafa, W. El. (1979). *Effects of Vitamin D and Sunlight on Bone Growth*. 882-886.
- Strand, E., Braathen, L. C., Hellsten, M. C., Huse-Olsen, L., & Bjornsdottir, S. (2007). Radiographic closure time of appendicular growth plates in the Icelandic horse. *Acta Veterinaria Scandinavica*, 49(1), 1-7. <https://doi.org/10.1186/1751-0147-49-19>
- Takeuchi, S. (2000). Morphological transformation of limb bones with growth. *Kaibogaku Zasshi*, 75(2), 207-214.
- Tatarniuk, D. M., Trumble, T. N., & Baxter, G. M. (2020). Lameness in the Young Horse. The physis/physeal fracture/physitis. En G. M. Baxter (Ed.), *Adams and Stashak's Lameness in the Horse* (7th Editio, pp. 1033-1047). Hoboken: Wiley Blackwell.
- Torres, E., Abraham, E., Montaña, E., Salomón, M., Torres, L., Urbina, S., & Fusaria, M. (2003). Mendoza y el uso del agua. En A. Fernandez & E. Abraham (Eds.), *El agua en Iberoamérica: Aspectos de la problemática de las tierras secas* (pp. 17-34). Mendoza: CYTED XVII . IADIZA.
- Van Thielen, B., Willekens, I., Van der Schicht, A., Pestieau, P., Verhelle, F., Goossens, P., ... Murray, R. (2018). Radiography of the distal extremity of the manus in the donkey foal: Normal images and quantitative characterization from birth to 2 years of age: A pilot study. *Journal of Veterinary Medicine Series C: Anatomia Histologia Embryologia*, 47(1), 71-83. <https://doi.org/10.1111/ahc.12326>
- Vidal, G. H., Mora Valdez, F. A., Rodríguez Tovar, L. E., & Romero, R. R. (2011). Etiología, patogénesis, diagnóstico y tratamiento de osteocondrosis (OC). *Veterinaria Mexico*, 42(4), 311-329.
- Yoshida, K., Ueda, Y., & Masumitsu, H. (1982). Radiographical Studies on Ossification in the Thoroughbred

2. Closure Process in the Distal Epiphyseal Lines of the Radius and the 3rd Metacarpal Proximal Phalanx, Bone and the Proximal Epiphyseal Line of the and an Assessment System of Bone Maturity. *Bull. Equine rES. iNST.*, 19, 18-29.

## ANEXO I

### Ficha de Datos de Potrillos

#### FICHA DE MUESTREO

**POTRILLO N°:**

Padre (nombre y RP):

Madre (nombre y RP):

Sexo:

Fecha de Nacimiento:

Pelaje:

CABAÑA:

**MIEMBRO MUESTREADO:**

izquierdo

derecho

FECHA	Rx. N°	EDAD (meses)	Diente	Alzada (cm)	Circunf. Torácica (cm)	Peso (kg)	C. C.	Aplomos	Claudicación	Efusiones Articulares	Prox. 2° Fal	Prox. 1° Fal	Dist. Mc II

## ANEXO II

### Ficha de Datos de Establecimiento

#### FICHA DE ESTABLECIMIENTO

NOMBRE:

UBICACIÓN (Ciudad y Provincia):

GEOLOCALIZACIÓN (en la tranquera):

	TIPO DE MANEJO (Intensivo, Extensivo o Mixto)	ALIMENTACIÓN Pasturas, verdeos, pastizal natural, henificados, concentrados, suplementos, etc.	VACUNAS	DESPARASITACIONES
Yeguas último tercio de gestación				
Yeguas lactando				
Potrillos lactantes				
Potrillos de destete				