



ADRIANA INÉS LUCASTEGUI

**EVALUACIÓN DE LA MARCHA A TRAVÉS DE
ACELEROMETRIA EN EQUINOS ADULTOS DE LA RAZA
MANGALARGA MARCHADOR**

**LAVRAS – MG
2025**

ADRIANA INÉS LUCASTEGUI

**“EVALUACIÓN DE LA MARCHA A TRAVÉS DE
ACELEROMETRIA EN EQUINOS ADULTOS DE LA RAZA
MANGALARGA MARCHADOR”**

Disertación presentada a la Universidad Federal de Lavras como parte de los requisitos del Programa de Posgrado en Zootecnia, en el área de concentración de Producción y Nutrición de No Rumiantes, para la obtención del título de Magíster.

Dra. Raquel Silva de Moura

Orientadora

Dra. Sarah Laguna da Conceição Meirelles

Orientadora

**LAVRAS – MG
2025**

**Ficha Catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração
de Ficha Catalográfica da Biblioteca Universitária da UFLA, com
dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Lucastegui, Adriana Inés .

Evaluación de la marcha a través de acelerometría en equinos adultos de la raza
Mangalarga Marchador / Adriana Inés Lucastegui. - 2025.
97 p. : il.

Orientadora: Raquel Silva de Moura

Coorientadora: Sarah Laguna Conceição Meirelles

Dissertação (Mestrado Acadêmico) - Universidade Federal de Lavras, 2025.
Bibliografia.

1. Caballo. 2. Variables cinemáticas. 3. Variables cinéticas. I. Moura, Raquel
Silva de . II. Meirelles, Sarah Laguna Conceição . III. Universidade Federal de Lavras.
IV. Título.

ADRIANA INÉS LUCASTEGUI

**“EVALUACIÓN DE LA MARCHA A TRAVÉS DE ACELEROMETRIA
EN EQUINOS ADULTOS DE LA RAZA MANGALARGA
MARCHADOR”**

**“EVALUATION OF THE MARCHA GAIT THROUGH
ACCELEROMETRY IN ADULT MANGALARGA MARCHADOR
HORSES”**

Disertación presentada a la Universidad Federal de Lavras como parte de los requisitos del Programa de Posgrado en Zootecnia, en el área de concentración de Producción y Nutrición de No Rumiantes, para la obtención del título de Magíster.

APROBADA el 12 de septiembre de 2025

Dra. Sarah Laguna da Conceição Meirelles UFLA

Dr. Alex de Oliveira Ribeiro UFLA

Dr. Álvaro César de Oliveira Penoni UFSJ

Dr. Marcos Germán Muriel UNLP, Argentina

Dra. Raquel Silva de Moura
Orientadora

Dra. Sarah Laguna da Conceição Meirelles
Corientadora

**LAVRAS – MG
2025**

*Dedico este trabajo a mi familia por el
acompañamiento y amor de siempre y a los animales,
por guiarme siempre en el camino correcto.*

AGRADECIMIENTOS

El primer agradecimiento de esta disertación es sin dudas para el origen de todo, mis papás, Rosa y Gonzalo, que siempre han estado ahí levantando el pulgar aunque no todas las veces estuviesen de acuerdo. Gracias por regalarme la libertad de tomar mis decisiones y seguir mi camino!!

A mis hermanos, Ramiro y mi pequeña Daniela, que aunque de pequeña ya tenga poco siempre lo será para mí y a mis sobrinos, Alma y Thiago.

Al resto de mi familia, en especial a mi abuela Cristina, dueña de los más cálidos abrazos y a mi tía-madrina, Gabi, porque desde que tengo uso de la razón me aconsejó y acompañó en cada paso que di. También, por supuesto, al resto del equipo que siempre banca todo y aplaude cada una de las metas alcanzadas, sean pequeñas o grandes, mis tíos y mis queridísimos primos: tío Javi, tío Seba, tío Martin, el negro Diego, Verito, Marina, Mariano, Elías, Pola, el Colo y la Eli.....Y obviamente a la nueva generación de peques que hoy son parte de ella: Giuli, Reni, Juanita, mi ahijado Fran, Feli y Lio! Que suerte es tener la familia que tengo!!

A quienes ya no están en este plano terrenal pero sé que me acompañan y están sonriendo y festejando conmigo este logro, mis abuelos Lía y Celso, mi Chiche, Cristina, y mi queridísima negra!

A mis hermanas por elección, Jor y Mili, y con ellas a mis sobrinas de corazón, Irene, Sarah, Mía y Alma, que han sabido estar entendiendo mis distancias y mis ausencias en tantos momentos importantes de sus vidas pero con las que solo basta un abrazo para reiniciarnos y sentir que el tiempo nunca ha pasado. Gracias hermanas por su incondicional amistad!!!

A mis amigos... esa gran banda que me aguanta y sostiene, los que me dio la vida, la facultad, la vete, los eventos... Compañeros de largas charlas con los más variados temas, de mates, de asados con cervezas y algunos vinitos, compañeros de risas de esas que hacen doler el estómago y dueños de las palabras de aliento justas o de aquellas que nos bajan y nos ponen con los pies en la tierra cuando se nos da por andar volando demasiado. Gracias por recordarme muchas veces lo importante que es disfrutar del camino. Que fortuna tenerlos! Espero que mi frágil memoria no olvide a ninguno, vaya mi agradecimiento profundo a Edu, Fiama, Teresita, la Yesi, el Facu, Paulitaa, Anita, Clari, Barby, Marquitos, Mary, Nico, Brai,

Cele, Flor, Ale, Tati, Nico, Facu, Marito, Nidia, Fran, el Mich, Lucy, Gra, Nati, María Emilia, Malicha, Dani, Nachito, Josecita, Poncho, Mari y Santi.

A mi queridísimo Servicio de Medicina y Cirugía de Grandes Animales de La Plata, mi segunda casa por tantos años, donde me forme profesionalmente pero sobre todo crecí personalmente. A toda la gente que forma parte de él, a sus directores Marcos y Violeta por la oportunidad de pertenecer y por la confianza de siempre. A Ramón, quien fue el que hizo llegar a mis manos esa divulgación que me trajo hasta acá! A todos los residentes que me acompañaron en mis años de pasante y médica de guardia, siendo mis fieles soldaditos en días y noches largas. Gracias por el respeto, por el compañerismo, por las cenas y por tantos mates con bizcochitos. Gracias por permitirme enseñarles pero por sobre todo por aprender con cada uno de ustedes y aportar ese pequeño grano de arena en su paso por la facultad. Especial mención al Cuervo, quien fue mi gran maestro ahí dentro, no solo en cuestiones médicas sino también de la vida, tirándome fuerte las orejas cuando me perdía un poco en el rumbo, un tipo grande con la humildad de pocos, gran amigo que me dio este lugar.

A mis compañeros de NEQUI/CP-UFLA por brindarme un lugar tan lindo estos dos años que compartí con ellos, haciendo que todo sea más fácil de sobrellevar, tratando de entender mi precario lenguaje de señas del inicio y acompañándome en este camino. Y dentro de este equipo, gracias especialmente a quienes fueron más que mis compañeros, mis amigos, compartiendo algo más que sólo trabajo: Alan, Bia, Manu, Ryan e Iarissa. A Bia por dibujar para mí muchos de los esquemas que enriquecen y hacen más linda esta tesis, gracias amiga!

A mi orientadora, Raquel Silva de Moura, por permitirme llegar hasta acá y por el tiempo compartido. A mi co-orientadora, profesora Sarah, por sus consejos y ayuda desinteresada cada vez que la necesite, principalmente en este tramo final.

Al profesor Alex de Oliveira Ribeiro, por su calidez, su infinita paciencia y su ayuda con las estadísticas de este trabajo, un tema en el que realmente me considero floja y poco entendida. Gracias por acercarme un poco más a ese mundo y empezar a amigarme con él.

A la profesora Katia de Oliveira, por su inmensa humildad para transmitir tanto conocimiento, por hacer que mi mente hiciera un clic y cambiara mi forma de ver muchos aspectos relacionados a los equinos. Sin dudas, más allá de su enorme formación, su amor por la especie y su visión, la convierten en la destacada profesional que es. Gracias por permitirme ser parte de HorseMove y compartir momentos que me llevo para siempre!

A Marcos Ferrante, su esposa Sheila y las pequeñas Morita y Maia, quienes me recibieron en Lavras como una más de su familia e hicieron que este choque cultural no fuese tan fuerte al inicio. Gracias Marcos querido por haber sido un faro muchas veces con tus consejos y por tus enormes contribuciones a este trabajo! Sin dudas gané un primo argentino en el Brasil!

Al Programa de Posgrado en Zootecnia y a la UFLA por la oportunidad de pertenecer y formarme en tan destacado programa. Al CNPq por el apoyo financiero recibido durante esta maestría. A la ABCCMM y MAPA por el fundamental respaldo que permitió la formación del banco de datos que dio vida a esta disertación.

A Ovidio, Estrella, Fede, Tanque, Nerón y Calderón por hacer más linda esta vida, por su amor incondicional y por demostrarme que el silencio también nos dice muchas cosas.

Por último, a los caballos, motor desde mi niñez de mi profesión y de todos los retos a los que he decidido enfrentarme a lo largo de mi carrera, gracias noble animalito por tanta motivación.

*“El que se anima tiene la chance de darse un buen golpazo,
pero también tiene la chance de mirar desde arriba”.*

Charly García

*“Después de todo tu eres la única muralla, si no te saltas
nunca darás un solo paso”*

L. A Spinetta

*“Si solo haces lo que ya sabes hacer, no vas a llegar a ser
más de lo que eres hoy”*

Kung Fu Panda

*Donde está el éxito? Ahí.... Un poco después de las
trompadas!*

Charly García

RESUMEN

A lo largo del tiempo, el estudio de la biomecánica en equinos ha sido fundamental para comprender y clasificar los diferentes andamientos. En el caso particular de la raza Mangalarga Marchador, estos estudios se han realizado utilizando principalmente el enfoque cinemático de la biomecánica a través del uso de cámaras de alta resolución. Sin embargo, en la actualidad existen escasos trabajos en esta raza utilizando el enfoque cinético y particularmente empleando acelerómetros. Los objetivos de este estudio fueron describir variables cinemáticas y cinéticas de la marcha de equinos adultos de raza Mangalarga Marchador (MM), explorando la influencia de factores tanto intrínsecos como extrínsecos sobre estas variables. Además, se buscó analizar las correlaciones entre ellas, que reflejan la interdependencia entre ambas dimensiones, para identificar patrones biomecánicos característicos de la marcha. Para esto fueron utilizados datos de 48 caballos adultos registrados de manera definitiva en los libros MM5 y MM6 (con genealogía conocida) de la Asociación Brasileira de Criadores de Caballos Mangalarga Marchador obtenidos a través del uso de Equimetrix® (Centaure Métrix, Fontainebleau, Francia). Estos animales fueron evaluados en tres diferentes ritmos de marcha (corta, media y alargada), sobre una pista de tierra batida, recorriendo una distancia de 60 metros. Fueron evaluadas las variables cinemáticas: velocidad, frecuencia de la pasada, largo de la pasada, regularidad, simetría y desplazamiento dorsoventral y las cinéticas: potencia dorsoventral, fuerza de propulsión y potencia mediolateral. Si bien fueron observadas diferencias en gran parte de las variables analizadas, la frecuencia y el largo de pasada fueron las que mostraron diferencias significativas ($p < 0,05$), independientemente del factor analizado. Además, fueron registradas diferencias en las variables cinéticas, principalmente en la fuerza de propulsión y la potencia dorsoventral, mostrando una fuerte correlación positiva entre estas variables durante los tres ritmos. Los resultados obtenidos marcan un inicio en el estudio de la marcha con mayor precisión y objetividad, aportando información clave en un área todavía poco explorada, como es el área cinética en equinos Mangalarga Marchador, lo que permitirá enriquecer la información disponible tanto para la comunidad científica como para los criadores sobre la selección y entrenamiento de animales para marcha.

Palabras claves: caballo; andares; selección; entrenamiento; variables cinemáticas; variables cinéticas.

GENERAL ABSTRACT

Over time, the study of equine biomechanics has been fundamental for understanding and classifying different gaits. In the specific case of the Mangalarga Marchador breed, these studies have mainly used the kinematic approach to biomechanics through the use of high-resolution cameras. However, to date, there are few studies on this breed using the kinetic approach, particularly involving accelerometers. The objectives of this study were to describe kinematic and kinetic variables of the gait of adult Mangalarga Marchador (MM) horses, exploring the influence of both intrinsic and extrinsic factors on these variables. Data were collected from 48 adult horses definitively registered in the MM5 and MM6 books (with known pedigree) of the Brazilian Association of Mangalarga Marchador Horse Breeders, using the Equimetrix® system (Centaure Métrix, Fontainebleau, France). These animals were evaluated at three different gait speeds (short, medium, and extended) on a compacted dirt track, covering a distance of 60 meters. The following kinematic variables were evaluated: speed, stride frequency, stride length, regularity, symmetry, and dorsoventral displacement; and the kinetic variables: dorsoventral power, propulsion force, and mediolateral power. Although differences were observed in many of the variables analyzed, stride frequency and stride length showed significant differences ($p < 0.05$), regardless of the factor analyzed. Additionally, differences were recorded in the kinetic variables, mainly in propulsive force and dorsoventral power, showing a strong positive correlation between these variables across all three gaits. The results obtained mark a starting point for studying the gait with greater precision and objectivity, providing key information in a still scarcely explored area, such as kinetics in Mangalarga Marchador horses, which will help enrich the available knowledge for both the scientific community and breeders regarding the selection and training of horses for marcha.

Keywords: horse; gait; selection; training; kinematic variables; kinetic variables.

INDICADORES DE IMPACTO

Los resultados del presente estudio aportan información relevante sobre el uso de herramientas tecnológicas en la evaluación biomecánica de la marcha en equinos de la raza Mangalarga Marchador. El uso de acelerometría como método para el análisis biomecánico promueve una mayor objetividad a la hora de seleccionar y entrenar animales, esto se puede traducir en mejoras funcionales, en el bienestar animal y en la valorización de individuos con mayor desempeño locomotor. Los datos fueron obtenidos en colaboración con la Asociación de Criadores de Caballos Mangalarga Marchador (ABCCMM) y el Ministerio de Agricultura, Pecuaria y Abastecimiento (MAPA), lo que posibilitó el vínculo con criadores y técnicos, promoviendo la interacción efectiva entre el área académica y el medio externo. El conocimiento generado puede ser transferido a centros de cría, centros de entrenamiento y de formación técnica, impactando de manera positiva en las decisiones de los profesionales del área, contribuyendo así a una producción de equinos de forma más ética y sustentable. Además, este estudio busca favorecer la integración entre la ciencia y la tradición mediante el aporte de elementos objetivos que complementen a la clásica evaluación subjetiva de la marcha. Este enfoque se alinea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU, especialmente con aquellos vinculados al bienestar animal, la innovación tecnológica y la producción sustentable. Los resultados obtenidos en el presente estudio presentan un alto potencial de aplicabilidad, no solo en el ámbito académico sino también en el ámbito productivo, pudiendo ser extendidos a otras razas equinas, principalmente a otras razas marchadoras. La participación durante el proyecto de numerosos docentes de diversas áreas, estudiantes, técnicos y criadores refuerza el compromiso de la Universidad con la extensión universitaria y con la formación de profesionales calificados para actuar de manera crítica y por sobre todo ética en el sector agropecuario. Este trabajo muestra una destacada contribución al conocimiento técnico-científico sobre el estudio de los andamientos en equinos, particularmente al estudio de la marcha, estableciendo bases para futuras investigaciones y prácticas innovadoras en el área. Este tipo de andamiento reviste especial importancia en el Brasil, debido a que este país posee diversas razas en donde destaca el Mangalarga Marchador, capaces de ejecutarlo de manera natural, lo que refuerza la aplicabilidad de los resultados obtenidos en este trabajo.

IMPACT INDICATORS

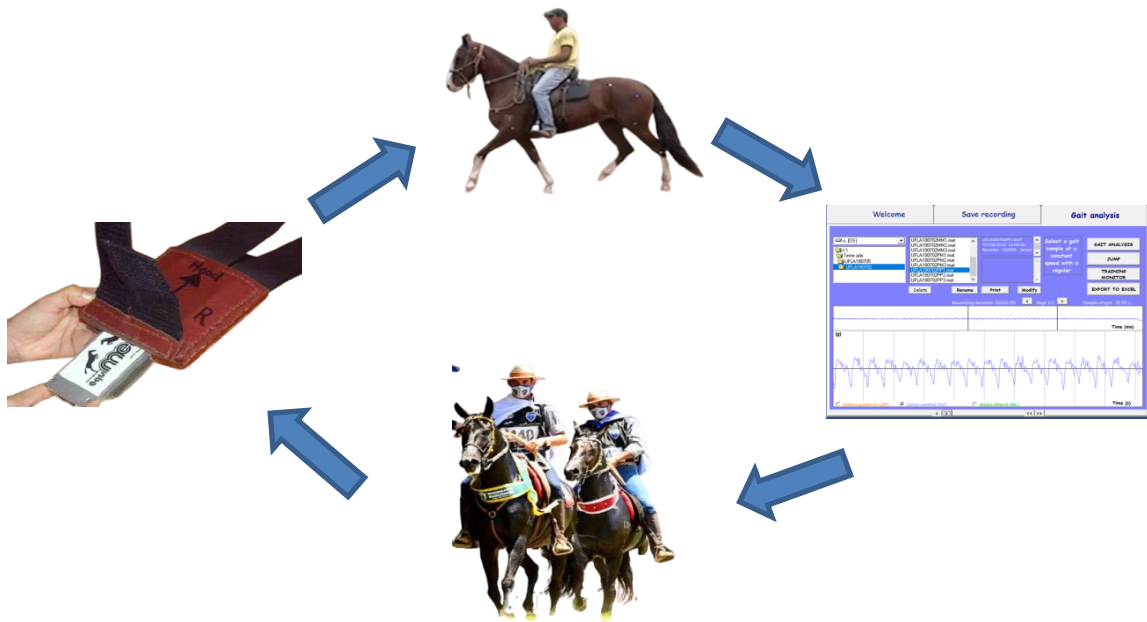
The results of the present study provide relevant information on the use of technological tools in the biomechanical evaluation of gait in Mangalarga Marchador horses. The use of accelerometry as a method for biomechanical analysis promotes greater objectivity in the selection and training of animals. This can translate into functional improvements, enhanced animal welfare, and increased value of individuals with superior locomotor performance. The data were obtained in collaboration with the Brazilian Association of Mangalarga Marchador Horse Breeders (ABCCMM) and the Ministry of Agriculture, Livestock and Food Supply (MAPA), which enabled close interaction with breeders and technicians, fostering effective engagement between academia and the broader community. The knowledge generated can be transferred to breeding centers, training centers, and technical education institutions, positively impacting the decision-making of professionals in the field and contributing to more ethical and sustainable equine production. Furthermore, this study aims to support the integration of science and tradition by providing objective elements that complement the classical subjective evaluation of gait. This approach aligns with the United Nations Sustainable Development Goals, particularly those related to animal welfare, technological innovation, and sustainable production. The results obtained in this study show a high potential for applicability not only in academic contexts but also in productive sectors, and they may be extended to other horse breeds, especially other gaited breeds. The participation of numerous professors from different fields, students, technicians, and breeders throughout the project reinforces the University's commitment to extension activities and the training of professionals qualified to act critically and, above all, ethically in the agricultural sector. This work represents a significant contribution to the technical-scientific knowledge of equine gait analysis, particularly of gaited movement, laying the groundwork for future research and innovative practices in the field. This type of gait is of particular importance in Brazil, as the country is home to several breeds—most notably the Mangalarga Marchador—that naturally perform it, further highlighting the relevance and applicability of the findings of this study.

RESUMEN INTERPRETATIVO

Evaluación de la marcha a través de acelerometría en equinos adultos de la raza Mangalarga Marchador

Elaborado por Adriana Inés Lucastegui y orientado por Raquel Silva de Moura

La marcha es una característica primordial de la raza Mangalarga Marchador, ligada directamente a su patrón morfofuncional y a la identidad genética de la raza. La selección se basa en la evaluación subjetiva por parte de técnicos habilitados de seis requisitos (gesto de marcha, comodidad, adiestramiento, estilo, rendimiento y regularidad). Sin embargo, debido al avance tecnológico, herramientas como la acelerometría permiten la cuantificación de variables cinemáticas y cinéticas de la locomoción. La utilización de la acelerometría en la evaluación de la marcha permite una comprensión más profunda de este andamio y promueve la selección de individuos con mejores características funcionales, mediante criterios objetivos respaldados por evidencia científica.



LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Croquis de la prueba funcional realizada en campeonatos de marcha de la raza.	23
Figura 2: Representación esquemática de las diferentes pisadas	25
Figura 3: Centro de gravedad del equino.....	29
Figura 4: Tipos de apoyos posibles en los equinos.	31
Figura 5: Pasada completa del miembro anterior izquierdo, se puede ver la secuencia completa de apoyo y elevación del mismo.....	32
Figura 6: Fase de apoyo del miembro, donde es posible visualizar los diferentes momentos de la misma (fase de contacto, fase de carga, fase de propulsión).	32
Figura 7: Fase de vuelo del miembro, donde es posible visualizar los diferentes momentos de la misma (punto de despegue, fase de elevación y fase de avance).	33
Figura 8: Diagrama de apoyo del paso	35
Figura 9: Diagrama de apoyo del trote, se observa el apoyo simultáneo de los bípedos diagonales intercalados por un momento de suspensión.	35
Figura 10: Diagrama de apoyo del galope reunido o corto o “canter” a la derecha.....	36
Figura 11: Diagrama de apoyo del galope largo o galope de carrera a la derecha.....	36
Figura 12: Diagrama de apoyo de la marcha, como se puede ver es el mismo que para el paso, por eso es considerada como “un paso acelerado”, dependiendo la proporción de apoyos laterales o diagonales es caracterizada en marcha picada y marcha batida.....	37
Figura 13: Puntos utilizados para la obtención de medidas lineares y angulares en los equinos	44
Figura 14: Marcadores colocados para el análisis a través de videografía.....	48
Figura 15: Esquema de funcionamiento del acelerómetro de masa-resorte.	50
Figura 16: Sitios de colocación de los acelerómetros en estudios de locomoción en equinos	51
Figura 17: Gráfico de correlación entre las variables cinemáticas y cinéticas en la marcha corta.	72
Figura 18: Gráfico de correlación entre las variables cinemáticas y cinéticas en la marcha media.	74
Figura 19: Gráfico de correlación entre las variables cinemáticas y cinéticas en la marcha alargada.....	75

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Principales resultados encontrados en estudios realizados utilizando Equimetrix® en animales de raza Mangalarga Marchador al paso y en la marcha	47
Tabla 2: Variables cinemáticas y cinéticas analizadas por el Software Equimetrix® ...	51
Tabla 3: Resultados medios, desvío estándar y test de Student para las variables cinemáticas y cinéticas en relación al sexo (Machos=13, Hembras=35)	55
Tabla 4: Resultados medios, desvío estándar y test de Student para las variables cinemáticas y cinéticas en relación al tipo de marcha (Marcha batida=42, Marcha picada=6)	58
Tabla 5: Resultados medios, desvío estándar y test de Student para las variables cinemáticas y cinéticas en relación al estado de origen de los animales (Minas Gerais=38, Otros Estados=10)	61
Tabla 6: Resultados medios, desvío estándar y test de Student para las variables cinemáticas y cinéticas en relación al herrado (SI=22, NO=26)	64
Tabla 7: Resultados medios, desvío estándar y test de Student para las variables cinemáticas y cinéticas en relación al entrenamiento (SI=18, NO=30)	67
Tabla 8: Resultados medios, desvío estándar y test de Student para las variables cinemáticas y cinéticas en relación a la participación en eventos oficiales (SI=35, NO=18)	68
Tabla 9: Medias, desvío estándar y test de Kruskal-Wallis para las variables cinemáticas y cinéticas en relación al tipo de cría (Pasto=22, Semiconfinado=16, Confinado=10) ...	70

LISTA DE ABREVIATURAS

ABCCMM: Asociación Brasileira de los Criadores de Caballos Mangalarga Marchador

DVP: Potencia Dorsoventral

DDV: Desplazamiento Dorsoventral

FP: Fuerza de Propulsión

MB: Marcha Batida

MLP: Potencia Medio-lateral

MM: Mangalarga Marchador

MP: Marcha Picada

REG: Regularidad

SF: Frecuencia de Pasada

SYM: Simetría

SL: Largo de Pasada

TP: Potencia Total

ÍNDICE

1- INTRODUCCION GENERAL	17
2- REVISIÓN DE LITERATURA.....	20
2.1- Mangalarga Marchador	20
2.1.1- Origen e importancia de la raza en Brasil	20
2.1.2- Juzgamiento morfológico y de la marcha	21
2.2- Biomecánica en equinos	24
2.2.1- Conceptos básicos.....	24
2.2.2- Andares	28
2.2.3- Tipos de andares progresivos.....	34
2.2.4- Factores que pueden influenciar los andares.....	37
2.2.5- Métodos de evaluación de los andares	43
3- MATERIALES Y MÉTODOS	49
3.1- Diseño del estudio y datos generales de los animales.....	49
3.2- Análisis de la marcha.....	50
3.2.1- Recolección de datos.....	50
3.2.2- Variables medidas.....	50
3.3- Análisis estadísticos	52
4- RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	52
4.1- Sexo	52
4.2- Tipo de marcha	56
4.3- Estado de origen.....	59
4.4- Herrado	62
4.5- Entrenamiento y participación en eventos	65
4.6- Tipo de cría	69
4.7- Correlaciones entre variables	72
5-CONSIDERACIONES FINALES	77
6-CONCLUSIONES	77
REFERENCIAS	79

1- INTRODUCCION GENERAL

La biomecánica es la disciplina encargada de analizar el movimiento y las fuerzas que lo generan, utilizando principios y leyes de la mecánica. Este análisis puede realizarse a través de dos abordajes, el cinético y el cinemático. La cinética, basada en las leyes de Newton, se ocupa del estudio de las fuerzas que provocan o alteran el movimiento, mientras que la cinemática se enfoca en los cambios de posición de los diferentes segmentos corporales en un determinado tiempo y espacio, sin tener en consideración las causas que lo generan (Monina, 2007).

En los últimos años, gracias a los grandes avances tecnológicos, es posible utilizar herramientas que facilitan el análisis de la biomecánica y son capaces de evaluar los andares de los equinos de manera más eficaz que la observación humana, como es el caso de los acelerómetros. Estos dispositivos, de alta precisión y confiabilidad, miden la aceleración del cuerpo del animal en relación al suelo, proporcionando datos objetivos sobre la dinámica del movimiento (Romanzini et al., 2012). Su capacidad para registrar datos bajo diversas condiciones ambientales y durante diferentes actividades hípicas, los convierten en herramientas valiosas tanto en las investigaciones científicas como para ser aplicados en condiciones de campo para la optimización de diversas técnicas de entrenamiento y ayudar a la prevención de lesiones. Esto se debe a su capacidad de detectar de manera temprana asimetrías del movimiento, que pueden posteriormente desencadenar lesiones. Esto último, se vuelve extremadamente relevante en el contexto actual donde la discusión sobre el bienestar de los animales viene cobrando importancia.

El estudio de la biomecánica del Mangalarga Marchador, una raza brasilera declarada patrimonio del país a través de la ley nacional n° 12.975 en 2014, juega un papel fundamental en la selección y mejora de la marcha, un andar característico de esta destacada raza. La marcha se trata de un andar natural, simétrico y a cuatro tiempos, caracterizada por apoyos alternados de bípedos diagonales y laterales que son intercalados por momentos de triples apoyos (ABCCMM, 2025). Dependiendo la proporción de estos apoyos, se conocen dos tipos de marcha, picada y batida. La marcha batida se caracteriza por presentar una mayor proporción de apoyos diagonales mientras que por su parte, la marcha picada, posee una mayor proporción de apoyos laterales.

La selección de animales para marcha, sea de tipo picada o batida, es realizada de manera subjetiva en dos momentos diferentes de la vida del animal por técnicos habilitados por la Asociación Brasileira de Criadores de Caballos Mangalarga Marchador (ABCCMM). En ambos momentos, los animales son evaluados desde el suelo y luego montados por los técnicos, quienes los juzgan en relación a seis requisitos: gesto de marcha, comodidad, adiestramiento, estilo, regularidad y rendimiento. La primera selección es realizada durante el registro genealógico definitivo mientras que el segundo momento, es durante juzgamientos desarrollados durante copas o pruebas de marcha en eventos oficiales de la ABCCMM.

La principal ventaja de la utilización de métodos subjetivos radica en la posibilidad de realizarlos en condiciones de campo, aunque presentan algunas limitaciones relacionadas a la capacidad del ojo humano para procesar movimientos complejos.

Si bien la marcha ha sido objeto de estudios relacionados con la biomecánica, aún son escasos los estudios que incluyan el enfoque cinético y particularmente los que emplean acelerómetros. Esto hace que el conocimiento sobre este tema aún este lejos de ser ideal. Un entendimiento más profundo sobre las características cinemáticas y cinéticas de la marcha puede optimizar los procesos de selección y entrenamiento, además de auxiliar en el mantenimiento del bienestar de esta raza brasileira.

Por lo expuesto anteriormente, los objetivos de este estudio fueron describir variables cinemáticas y cinéticas de la marcha de equinos adultos de raza Mangalarga Marchador (MM), conducidos en tres diferentes ritmos de marcha: marcha corta, marcha media y marcha alargada. Además, se propuso explorar la influencia de factores tanto intrínsecos como extrínsecos sobre estas variables, intentando enriquecer la información disponible para los criadores sobre la selección de animales a través de los andares. También, se planteó identificar la interdependencia entre las variables mediante el análisis de sus correlaciones, con el fin de identificar patrones biomecánicos característicos de la marcha.

Las hipótesis planteadas fueron: 1) El cambio de ritmo puede conducir a posibles alteraciones en la descripción de las variables cinemáticas y cinéticas relacionadas con la marcha del caballo Mangalarga Marchador. 2) Los factores intrínsecos (sexo y tipo de marcha) como los extrínsecos (estado de origen, herrado,

entrenamiento, participación en eventos y tipo de cría) influyen significativamente sobre las variables cinemáticas y cinéticas evaluadas. 3) Las variables cinemáticas y cinéticas se correlacionan de forma significativa, reflejando la interdependencia entre ambas y permitiendo la identificación de patrones biomecánicos característicos de la marcha.

2- REVISIÓN DE LITERATURA

2.1- Mangalarga Marchador

2.1.1- Origen e importancia de la raza en Brasil

El Mangalarga Marchador es una raza brasileira de equinos originada hace unos 200 años en la Comarca de Rio das Mortes, en el sur del Estado de Minas Gerais. Siendo producto del cruzamiento de caballos Pura Sangre Lusitano, traídos desde Portugal, con yeguas seleccionadas por criadores de la mencionada región (ABCCMM, 2024).

La historia del Mangalarga Marchador se inicia en Brasil a principios del siglo XIX, en la hacienda que pertenecía a Gabriel Francisco Junqueira, conocido como el “Barão de Alfenas”, propietario de la hacienda “Campo Alegre”, localizada en Cruzília, en el sur del Estado de Minas Gerais. En este lugar fue donde surgieron los linajes, ligados a uno de los siguientes animales considerados pilares o bases de las razas Mangalarga y Mangalarga Marchador: Fortuna; Joia da Chamusca; Sublime; Gregório; Telegrama y Rosilho o Abismo (Casiuch, 2016).

La raza Mangalarga Marchador fue declarada patrimonio del Brasil por la Ley Nacional nº 12975/2014 del 19 de mayo del año 2014. Esta raza y la cultura generada en torno a su producción ejercen una gran representatividad en el escenario del agronegocio nacional del Brasil, generando empleos tanto directos como indirectos. Según estimaciones del año 2023, sólo la raza Mangalarga Marchador movió el 31% de los aproximadamente 30 mil millones de reales al año que mueve el sector de equinocultura en el país (ABCCMM, 2023).

El Mangalarga Marchador se distribuye por todo el territorio brasileiro, aunque los estados de Minas Gerais, Río de Janeiro y Bahía poseen el 80% de los animales que se encuentran registrados por la ABCCMM (Freire, 2024; Costa et al., 2004).

La Asociación Brasileira de Criadores de Caballo Mangalarga Marchador (ABCCMM) es una asociación civil, acreditada por el Ministerio de Agricultura, Pecuaria y Abastecimiento de Brasil (MAPA) encargada del registro de genealogía oficial de los animales de raza Mangalarga Marchador. Fue fundada el 16 de julio de 1949 en la ciudad de Caxambú, en el Estado de Minas Gerais y actualmente se

encuentra en el Parque de Expositores da Gameleira en la ciudad de Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.

La ABCCMM cuenta con alrededor de 60 núcleos de criadores, responsables del fomento y la promoción de la raza en la región en la que actúan. Tiene más de 25000 asociados en la actualidad y un rebaño de más de 700 mil animales registrados tanto en Brasil como en el exterior, en países como Alemania, Italia, Estados Unidos y Argentina. La asociación realiza por año un aproximado de 300 eventos, entre los que se destacan exposiciones y copas de marcha (ABCCMM, 2025).

2.1.2- Juzgamiento morfológico y de la marcha

Para lograr el registro definitivo, los animales son evaluados tanto en morfología, como en la marcha. El puntaje máximo que pueden obtener es de 200 puntos, correspondiendo 100 puntos para la morfología y 100 puntos para la marcha. Para ser aprobados los animales deben obtener al menos un mínimo de 50% de los puntos atribuidos a la expresión racial y a la marcha. Así, los machos deben alcanzar un mínimo de 140 puntos y las hembras un mínimo de 120 puntos para ser registrados y poder luego competir en los eventos.

La puntuación obtenida para la marcha es determinada mediante la inspección visual y la posterior monta y conducción del animal por parte del técnico habilitado, con el fin de analizar seis criterios definidos por la ABCCMM: gesto de marcha, comodidad, adiestramiento, estilo, rendimiento y regularidad.

Una vez registrados, los animales son seleccionados en función de su desempeño en eventos oficiales de la raza. Existen dos modalidades diferentes de evaluación y selección de la marcha: las copas de marcha, en las cuales los animales solo son evaluados por su desempeño durante la marcha y los campeonatos de marcha, donde además deben ejecutar una prueba funcional y ser evaluados en morfología, tanto estática como dinámica.

Es importante destacar que en los campeonatos convencionales, los animales con una edad entre 15 meses y 39 meses serán evaluados sólo en los requisitos de morfología y marcha, mientras que los animales con edad superior a 39 meses (39 meses + 01 día) serán evaluados en estas categorías pero, además, deberán ejecutar la prueba funcional.

Durante las copas o campeonatos de marcha los animales recorren una pista ovalada o circular durante un tiempo que varía entre 20 a 70 minutos aproximadamente, dependiendo la cantidad de participantes en la categoría. Los animales ejecutan los diferentes ritmos de marcha (corta, media y alargada) que serán solicitados por parte del jurado y que deberán de mantener durante cada una de las fases de evaluación. Esta marcha es evaluada de forma subjetiva y comparativa entre los animales participantes de la prueba por jurados de la ABCCMM. En un primer momento, los jurados se posicionan en el centro de la pista y analizan visualmente a cada uno de los animales, posteriormente montan cada uno de ellos, para concluir la evaluación de los siguientes 6 ítems que en orden de importancia son (ABCCMM, 2025):

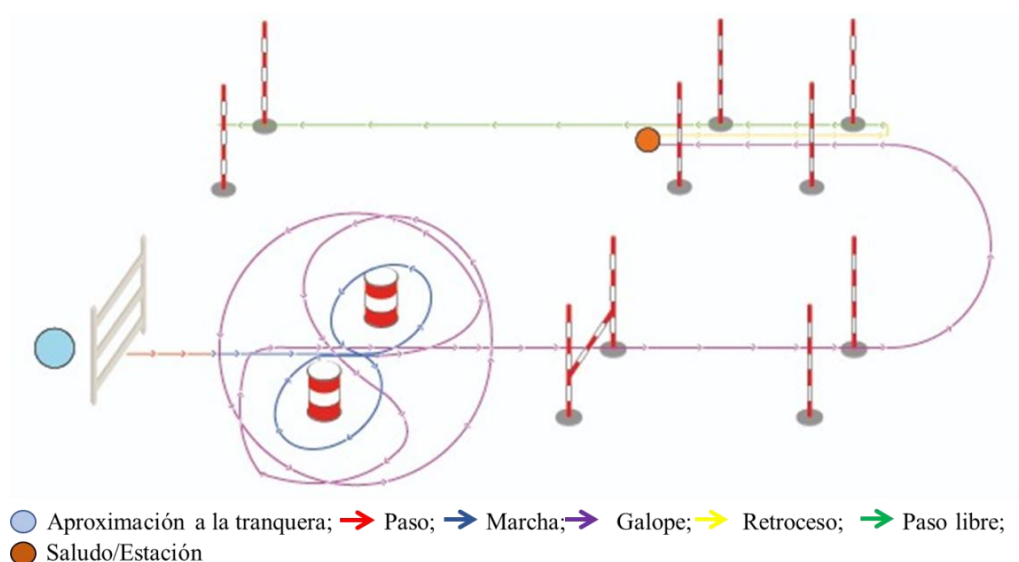
- Gesto de Marcha: Correlación entre la calidad de los movimientos de los miembros anteriores y posteriores del animal y el diagrama de distribución de apoyos característico de la marcha. Los miembros deben moverse de forma coordinada, con buena flexión y extensión. Los miembros anteriores deben formar un semicírculo y los posteriores deben moverse con energía aunque sin elevar demasiado los tarsos.
- Comodidad: Es el resultado de la calidad del movimiento exhibida por el animal; cuanto más estable y libre de oscilaciones mantenga el tronco, mayor confort transmitirá al jinete.
- Adiestramiento: Capacidad que presenta el animal de responder de forma rápida y adecuada a las órdenes impuestas por el jinete.
- Rendimiento: Atributo relacionado con la amplitud y frecuencia de las pasadas; un animal con un buen rendimiento es aquel capaz de recorrer una determinada distancia con la menor frecuencia posible.
- Estilo: Guarda relación con la postura que adopta el caballo durante la marcha, ejecutando este andamiento con armonía, elegancia, manteniendo su tronco estático y moviendo solo sus miembros.
- Regularidad: Es la capacidad de mantener la misma velocidad, gesto de marcha, estilo y comodidad por el tiempo que dura la prueba.

Como se mencionó anteriormente, cada animal es montado por el jurado para la evaluación de los requisitos de comodidad y adiestramiento. La evaluación comienza primero al paso, luego los jurados ejecutan una marcha de baja velocidad (9 km/h) hasta

completar la primera vuelta del trayecto propuesto. A continuación, cambia de mano y ejecuta una marcha a velocidad media (12 km/h) por la mitad del trecho restante. Por último, realiza una marcha de alta velocidad (15 km/h), tras la cual, disminuye la velocidad para evaluar la marcha en rienda libre por un tiempo o distancia que permita la observación del grado de disociación natural del animal que está siendo evaluado (ABCCMM, 2024).

Posteriormente a la evaluación visual y montada por parte del jurado, los animales pasan a ser nuevamente montados por sus presentadores para ejecutar la prueba funcional (ABCCMM, 2025), constituida por 9 figuras secuenciales: tranquera, 8 en la marcha, galope, cambio de mano al galope, salto, estación y saludo, retroceso y paso libre, las cuales son mostradas en la figura 1.

Figura 1: Croquis de la prueba funcional realizada en campeonatos de marcha.



Fuente: Modificado de ABCCMM (2024)

Cada una de las figuras tiene una puntuación máxima de 10 puntos, que se reducen en base a las faltas cometidas en cada una de ellas o a la habilidad del animal para ejecutarla de forma correcta. Durante esta prueba, el conjunto vencedor será aquel que sume el menor número de puntos perdidos en el transcurso de la misma. Si existiese empate entre dos o más conjuntos, existen tres criterios para el desempate: mejor calidad de paso, mejor calidad de galope y menor tiempo de prueba (ABCCMM, 2025).

En todas las pruebas, sean copas o campeonatos de marcha, los animales son distribuidos en diferentes categorías dependiendo de la edad, sexo y tipo de marcha (marcha picada o marcha batida).

2.2- Biomecánica en equinos

2.2.1- Conceptos básicos

Desde que los humanos comenzaron a relacionarse con los equinos y domesticarlos, han buscado comprender los movimientos de este animal para poder optimizar el uso de su fuerza, ya sea para el transporte, tracción o silla. Existen evidencias arqueológicas en Ucrania que sugieren que los caballos fueron domesticados y montados desde aproximadamente el año 4000 a.C. (Barrey, 1999). Durante siglos ese interés ha sido el impulso de un continuo esfuerzo por entender y explotar los procesos locomotores del caballo.

El movimiento que realizan los equinos puede ser explicado a través de leyes de la mecánica. La biomecánica, es la aplicación de esos principios y métodos de la mecánica a la estructura y función del cuerpo del caballo (Clyton, 2016). Esta disciplina a su vez, contempla dos subdisciplinas que son la bioestática y biodinámica. La bioestática, estudia las fuerzas que actúan sobre los animales en reposo, mientras que la biodinámica analiza el movimiento y puede ser a su vez subdividida en biocinemática y biocinética (Monina, 2007).

La biocinemática es la rama que estudia el movimiento de los cuerpos en un tiempo y espacio determinado sin tener en cuenta las causas que lo motivan y las fuerzas que lo producen (Fonseca, 2018; Clyton, 2016; Monina, 2007). La biocinética por su lado, estudia los cambios de ese movimiento a través de las fuerzas que lo componen y se basa en las leyes de Newton (Clyton, 2016; Lypert, 2013; Monina, 2007).

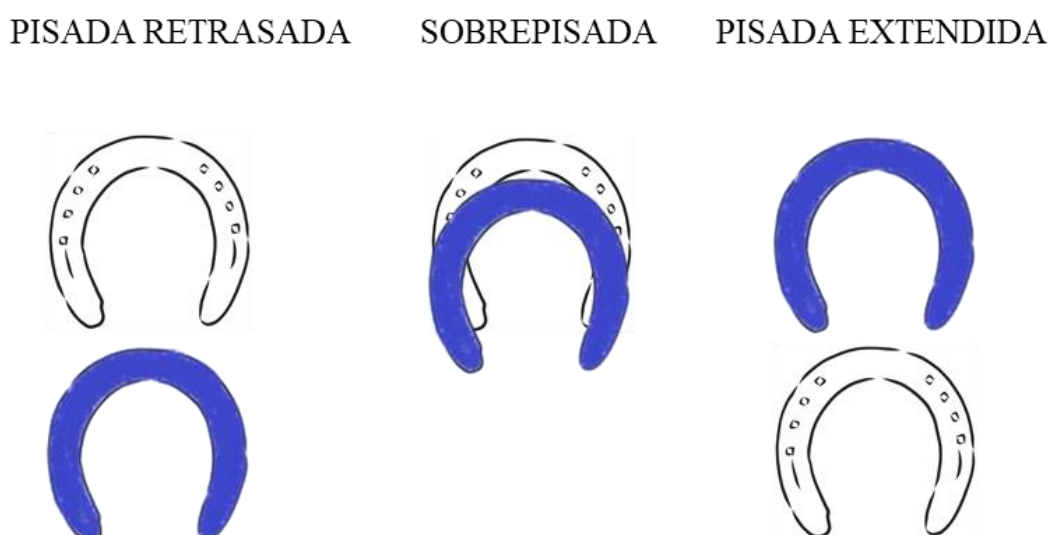
En este sentido, el análisis cinemático permite cuantificar de manera objetiva los componentes del paso de los equinos que tradicionalmente se evalúan de forma subjetiva (Bronwyn, 2014). Puede ser realizado principalmente a través de sistemas de videografía, aunque también se pueden emplear diferentes tipos de acelerómetros. A través de estas herramientas, es posible evaluar diferentes tipos de variables (lineales,

temporales y angulares), cada una de ellas aporta información relevante sobre el movimiento de los equinos.

Las variables lineales describen el desplazamiento en el espacio del movimiento, como la velocidad, el largo de la pasada, la distancia entre pisadas y los desplazamientos en los ejes dorsoventral, longitudinal y mediolateral (Santos, 2023; Fonseca, 2018; Soares, 2017; Nicodemus & Clyton, 2003; Barrey, 1999).

- Velocidad: Razón entre la distancia recorrida y el tiempo empleado para recorrerla, medida en km/h o mts/seg.
- Largo de pasada: Es la distancia que separa a dos apoyos sucesivos del mismo miembro, es expresada en metros.
- Distancia entre pisadas: Distancia comprendida entre las pisadas de los miembros ipsilaterales; siendo las pisadas definidas como las marcas que dejan en el suelo los cascos (Santos, 2023). Cuando la marca del miembro anterior es cubierta por la marca del miembro posterior se dice que es una sobrepisada. Cuando la marca del miembro posterior apoya en frente a la marca del miembro anterior es una pisada extendida y por último cuando la marca del casco del miembro posterior queda por detrás de la marca del miembro anterior se dice que es una pisada retrasada (Santos, 2023; Nascimento, 1999) (Figura 2).

Figura 2: Representación esquemática de las diferentes pisadas



Fuente propia (2025)

Para el caso del Mangalarga Marchador es deseable que presenten un patrón de movimiento con la presencia de sobrepisada o de pisada extendida (ABCCMM, 2025). Esto debido a que animales que presentan una pisada retrasada tienen una menor amplitud y mayor frecuencia de pasada y menor fuerza de propulsión, relacionada con una capacidad menor de remeter los miembros posteriores por debajo del abdomen (Oliveira, 2015).

- Desplazamiento dorsoventral, longitudinal y mediolateral: Miden el desplazamiento del cuerpo del animal en los respectivos ejes, son medidos en centímetros.

Las variables temporales por su parte, miden el tiempo y la coordinación del movimiento de los miembros y comprenden la frecuencia de pasada, regularidad, simetría y duración de la pasada (Scheffer, 2022; Soares, 2021; Oliveira, 2020; Fonseca, 2018).

- Frecuencia de la pasada: Es la cantidad de pasadas por unidad de tiempo, generalmente expresada en número de pasadas/segundo o número de pasadas/minuto o Hertz (Hz).
- Regularidad de la pasada: Mide cuanto se parece una pasada respecto a otra, o sea que tan constante es el movimiento a lo largo del tiempo, es una variable adimensional.
- Simetría de la pasada: Evalúa cuan parecidos son los movimientos de una mitad del cuerpo respecto a los de la contralateral, sólo puede ser medida en andares simétricos. Junto a la regularidad miden el equilibrio del cuerpo del animal durante el desplazamiento, es también una variable adimensional.
- Duración de la pasada: Es el tiempo que separa a dos apoyos sucesivos de un mismo miembro; es decir, comprende la suma de las duraciones de la fase de apoyo y de vuelo, expresada en segundos.

Por último, las variables angulares se encargan de medir la rotación del movimiento centrándose principalmente en los ángulos articulares. Permiten describir la trayectoria de los diferentes segmentos del cuerpo y la variación de los ángulos articulares en el espacio a lo largo del tiempo (Bonwyn, 2014; Procópio, 2007).

El análisis de los parámetros cinéticos puede ser efectuado a través de la utilización de placas de fuerza, herraduras con sensores o a través del uso de

acelerómetros. Utilizando principios neumáticos, Marey (1873) es considerado como uno de los pioneros en el análisis de la cinética en equinos. Desarrolló diversos aparatos que poseían sensores de presión colocados debajo del casco y en distal de las extremidades. Estos sensores eran capaces de medir los cambios de presión durante el contacto del casco con el suelo en diferentes andares (Bronwyn, 2014). Aunque con diversos cambios, este mismo principio es el que en la actualidad se utiliza en diversos métodos para la evaluación de parámetros cinéticos.

Las variables cinéticas están relacionadas con las fuerzas que actúan sobre el cuerpo del animal durante el desplazamiento. A través del análisis cinético es posible obtener parámetros como la fuerza de reacción del suelo, fuerza de propulsión, potencia dorsoventral y potencia mediolateral, entre otras. Estas variables permiten cuantificar de manera objetiva no solo la magnitud de las fuerzas sino también la dirección y distribución de las mismas a lo largo de cada fase del andar bajo análisis (Hobbs & Clyton, 2019; Lyppert, 2013; Hobbs & Clyton, 2013; Weishaupt, 2008; Monina, 2007; Symonds, 2006; Barrey et al., 2002).

- Fuerza de reacción del suelo (Ground Reaction Force-GRF): Es la fuerza ejercida por el suelo sobre el cuerpo del animal en respuesta al impacto generado durante la fase de apoyo de los miembros. Esta variable cumple con la tercera ley de Newton que afirma que toda acción se corresponde con una reacción de igual magnitud pero en el sentido opuesto. Puede ser medida a lo largo de los ejes horizontal, vertical y transversal.
- Potencia dorsoventral: Es la fuerza generada o absorbida por el cuerpo en la dirección vertical. Se asocia al control de los movimientos de elevación y descenso del centro de gravedad durante la locomoción, se expresa en vatios/kilogramos (W/kg).
- Fuerza de propulsión: Fuerza generada en el eje antero-posterior, clave para evaluar la capacidad de los equinos de impulsarse hacia adelante. Esta variable está directamente relacionada con la longitud y frecuencia de pasada, por lo que es utilizado como indicador de rendimiento y eficiencia locomotora, es expresada en vatios/kilogramos (W/Kg) o en Newtons (N).
- Potencia mediolateral: Es la fuerza generada durante el movimiento en el eje medio-lateral, permite evaluar cómo se distribuye la fuerza a lo largo de ese eje durante el andamiento analizado, lo que aporta información sobre posibles

asimetrías o compensaciones en el desplazamiento, se expresa en vatios/kilogramos (W/Kg).

2.2.2- Andares

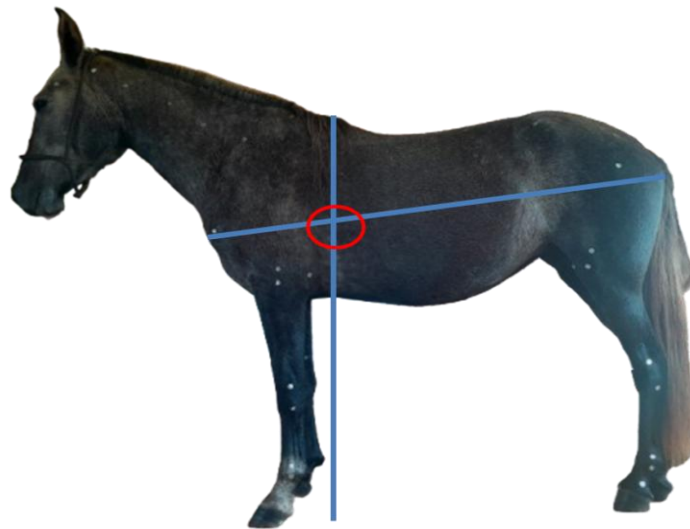
El término “andar” puede ser definido como el movimiento complejo, coordinado, rítmico y automático de los miembros y del cuerpo del animal que resulta en la producción de movimientos progresivos (Barrey, 2013). También puede definirse como el patrón de coordinación de las extremidades utilizado en la locomoción (Leach et.al 1984). Nicodemus y Clayton (2003) lo definen como el patrón cíclico de los movimientos de los miembros que ocurren durante cada zancada.

Una definición más detallada, citada por Leach et.al (1984) fue desarrollada por Uspenskii (1953) en donde definió al andar como un movimiento rítmico complejo y estrictamente coordinado de todo el cuerpo del animal, tratado como un complejo integrado de actos reflejos que ocurren de acuerdo con las condiciones del entorno y que son capaces de producir movimientos progresivos de diferentes tipos inherentes a cada especie animal.

El andar es la forma de locomoción que tiene por objeto desplazar el centro de gravedad hacia adelante, hacia los lados o hacia atrás, permitiendo a los miembros presenten movimientos de elevación, avance, apoyo y propulsión (Hussni et al., 1996).

El centro de gravedad es un punto teórico en el cuerpo alrededor del cual se distribuye equitativamente la masa del animal (Baxter & Stashak, 2020). En los equinos, se localiza en el punto de intersección de una línea vertical trazada desde el punto más alto de la cruz con una línea que se extiende desde la punta del hombro hasta la punta de la nalga (Baxter & Stashak, 2020). Por lo general, se ubica justo por detrás del cartílago xifoides y a dos tercios de distancia hacia abajo desde la línea superior de la espalda (Figura 3).

Figura 3: Centro de gravedad del equino



Fuente propia (2025)

En un primer momento se creía que el centro de gravedad o centro de balance se encontraba en la mitad del animal. Sin embargo, tras numerosas investigaciones llevadas adelante se sabe que tiene una localización más craneal (Chieffi et al., 1939; Sprlglngs et al, 1986), por esta razón el peso es soportado por los miembros anteriores en aproximadamente un 60-65%, mientras que los posteriores soportan un 35-40% del peso total (Roos, 2011).

Es importante comprender que el centro de gravedad en condiciones normales, puede variar dependiendo de la disciplina ecuestre en la que el caballo participe. El ejemplo más claro es el de los caballos de carrera, en donde el centro de gravedad es desplazado hacia craneal debido al peso del jinete, mientras que en las carreras de trote, ese centro de gravedad tiende a desplazarse hacia caudal debido al peso del sulky y del conductor. Una condición anormal en donde el centro de gravedad se desplaza, guarda relación con la presencia de claudicaciones, principalmente de los miembros anteriores (Buchner et al., 2001).

Los andares en los equinos pueden ser clasificados según distintos aspectos como la velocidad, la secuencia y el número de apoyos, la simetría de los movimientos, la presencia de una fase de suspensión o incluso factores genéticos (Clayton & Hobbs, 2019). Cada uno de estos criterios permite caracterizar las particularidades del

desplazamiento equino y su relación con el entrenamiento, el rendimiento deportivo y la selección de animales.

De acuerdo con la simetría o no de los movimientos entre los miembros derechos e izquierdos podemos clasificar a los andares como simétricos (paso, trote, ambladura, paso corrido, trote lento o fox-trot y marcha) o asimétricos (galope corto y de carrera) (Robilliard, 2007; Barrey, 1999). En un aire simétrico, el patrón de coordinación de los miembros de un lado se repite del otro, mientras que en un aire asimétrico el patrón de coordinación de las extremidades de un lado no se repite exactamente igual del otro (Clyton, 2016; Abourachid, 2003; Leach et al. 1984). Sin embargo, hay que considerar que los caballos, rara vez son completamente simétricos, por lo que puede ocurrir que las dos mitades de cada pasada no sean completamente simétricas (Clayton & Hobbs, 2017).

Dependiendo si poseen o no un período de suspensión, es decir una fase en donde todos los miembros se despegan completamente del suelo (Nicodemus & Clyton, 2003; Lage, 2001; Nascimento, 1999; Hussni et al., 1996), los andares pueden ser clasificados también como marchados o saltados. En este sentido, el paso y la marcha son considerados andares marchados mientras que el trote, canter y galope son clasificados como saltados.

Existe otra clasificación para los andares en simultáneos y disociados. Los andares simultáneos son aquellos en los que los movimientos de las extremidades que forman el par diagonal ocurren al mismo tiempo durante la locomoción, como es el caso del trote en donde las extremidades diagonales se mueven al unísono (Clayton & Hobbs, 2017). Por otro lado, los andares disociados, son aquellos en donde las extremidades se encuentran en una fase diferente durante la locomoción del caballo, es decir que uno de los miembros está atrasado o adelantado respecto a su par diagonal al tomar contacto con el suelo o al despegarse del mismo.

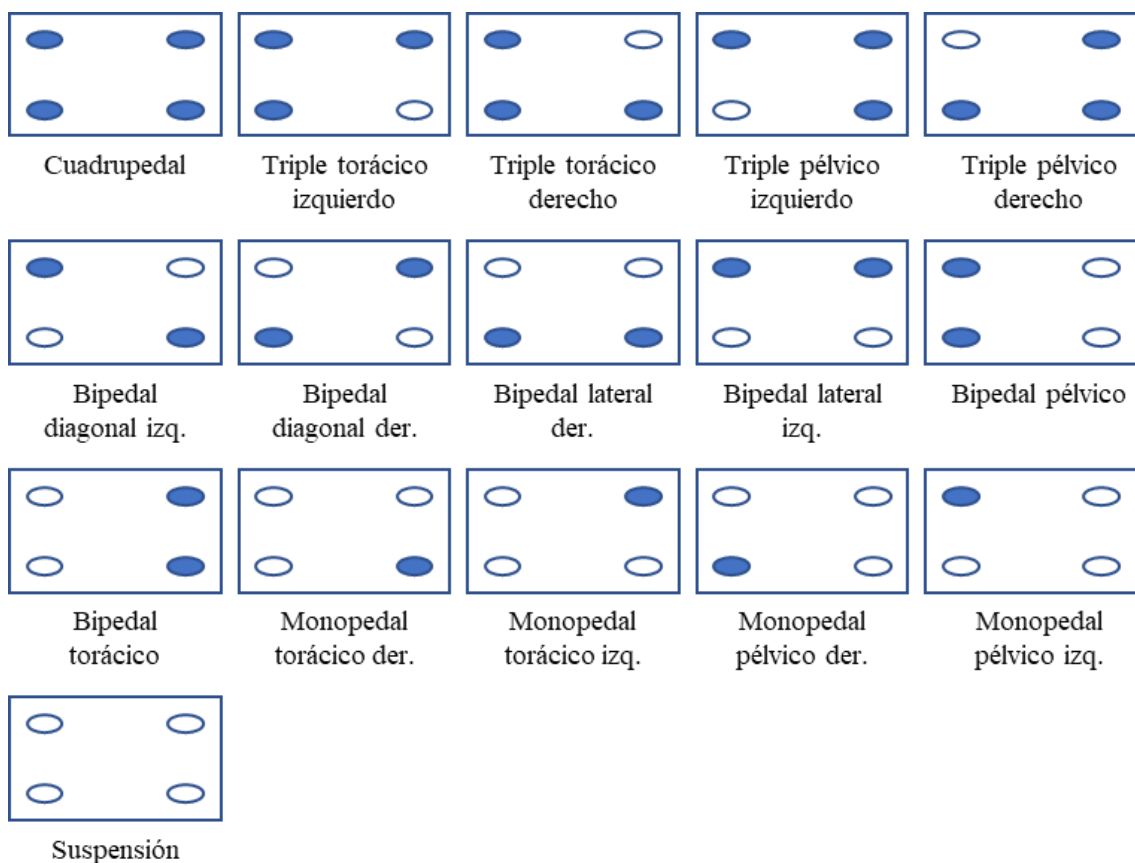
La disociación en el despegue ocurre cuando un miembro deja de tener contacto con el suelo en un momento diferente a su par diagonal (Leach et al., 1984) mientras que la disociación en el contacto o aterrizaje es cuando el casco toma contacto con el suelo en un momento diferente a su par diagonal (Leach et al., 1984). Los andares disociados son importantes en equinos marchadores, ya que gracias a la disociación es posible la ocurrencia de varios tipos de apoyo que caracterizan a los andares marchados.

La disociación genera mayor estabilidad de la columna del animal y por tanto torna un andar más confortable comparado con el trote (Bussiman, 2019).

Cada uno de los andares puede ser evaluado a través de la secuencia característica que muestra el orden de contacto de los miembros con el suelo durante una pasada (Clayton, 2004; Nicodemus y Clayton, 2003).

En el caso de los caballos (Figura 4), al ser cuadrúpedos, son posibles los apoyos cuadrupedal (los cuatro miembros en contacto con el suelo), apoyo tripedal (tres miembros en contacto con el suelo, pueden ser dos torácicos y un pelviano o viceversa), apoyo bipedal (dos miembros en contacto con el suelo, esto puede ser, un miembro anterior y posterior del mismo lado o ser un miembro anterior y su posterior contralateral), apoyo monopedal (solo un miembro en contacto con el suelo) y suspensión (ningún miembro en contacto con el suelo) (Fonseca, 2018).

Figura 4: Tipos de apoyos posibles en los equinos.



Fuente: Modificado de Fonseca (2018)

La unidad elemental de un andar es la pasada o “zancada”, la cual puede ser comprendida como el ciclo completo del movimiento de un miembro (Clyton, 2016), es

decir cuando la extremidad realiza todas las etapas de un paso, llevando a cabo la fase de apoyo (fase de carga) y la fase de elevación (fase sin carga). En condiciones normales estas fases tienen exactamente la misma duración (Figura 5).

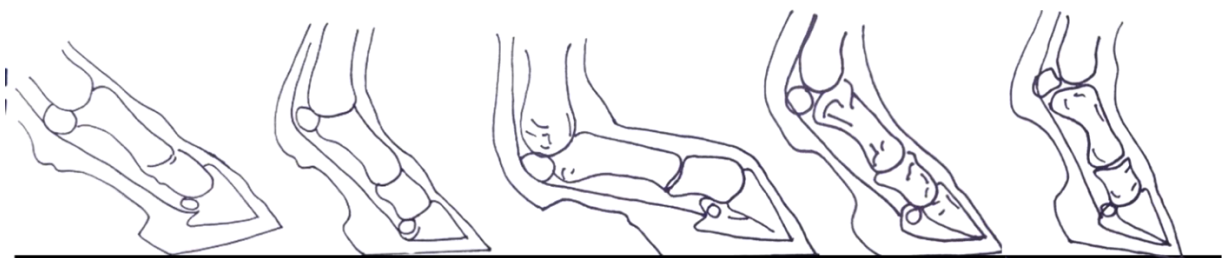
Figura 5: Pasada completa del miembro anterior izquierdo, se puede ver la secuencia completa de apoyo y elevación del mismo.



Fuente propia (2025)

La fase de apoyo o fase de soporte (Figura 6) es la que transcurre mientras el casco permanece en contacto con el suelo y puede ser dividida en tres momentos: contacto, carga y propulsión (Baxter, 2020; Denoix, 2014, Piliner et al., 2002).

Figura 6: Fase de apoyo del miembro, donde es posible visualizar los diferentes momentos de la misma (fase de contacto, fase de carga, fase de propulsión).



Fuente propia (2025)

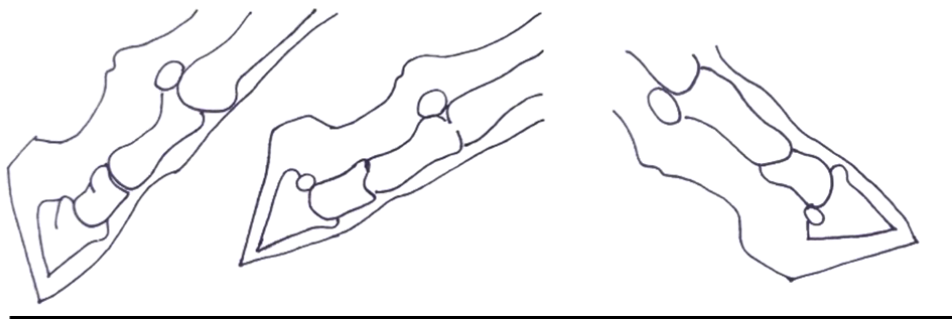
El primero (contacto) es aquel donde el miembro empieza a recibir el impacto del peso del cuerpo (absorbe la carga) y se mantiene hasta que el miembro llega a la vertical y coincide con la línea de aplomo. El segundo (carga) es momento donde se da la carga completa de la extremidad y se produce el mayor descenso del nudo (extensión), pudiendo observarse a la cuartilla casi en posición horizontal respecto a la línea del suelo y se mantiene hasta que el mismo queda levemente por detrás de la

vertical del aplomo (Thomason et al., 2008). Por último, el tercer momento de la fase de apoyo (fase de propulsión) es cuando el cuerpo avanza, el miembro queda cada vez más atrás de la vertical del aplomo y el nudo se eleva hasta que el casco pierde contacto con el suelo.

Existe una división de la fase de apoyo que se ha utilizado en el análisis de los andares propuesta por Drevemo et al (1980) en fase de desaceleración o frenado y fase de propulsión. La primera se extiende desde que el talón toma contacto con el suelo hasta la mitad de la fase de apoyo o carga y la fase de propulsión que se extiende desde la mitad de la fase de carga hasta el despegue del casco del suelo (Leleu et al., 2002).

La fase de elevación también denominada fase de oscilación o fase de balance puede ser dividida en diferentes momentos: punto de despegue, fase posterior y fase anterior del paso (Figura 7). El primer momento es cuando la pinza deja de tener contacto con el suelo, denominado punto de despegue o “*breakover point*” (Thomason et al., 2008; Clyton, 1991). La trayectoria que sigue el pie en movimiento, forma en condiciones normales un arco cuyo centro está definido por el miembro contralateral que se encuentra en fase de apoyo y en posición vertical; de este modo este arco queda dividido en dos hemiarcos iguales (Baxter, 2020).

Figura 7: Fase de vuelo del miembro, donde es posible visualizar los diferentes momentos de la misma (punto de despegue, fase de elevación y fase de avance).



Fuente propia (2025)

Se denomina fase posterior del paso (fase de elevación o fase de retracción) al movimiento que queda demarcado por el primer hemiarco (desde que el casco despegue hasta que alcanza la vertical marcada por el miembro contralateral en apoyo), en la cual las articulaciones se flexionan (Baxter, 2020; Denoix, 2014).

El segundo hemiarco, se denomina fase anterior del paso (fase de avance o fase de protracción) y contempla desde que el pie alcanza la vertical del miembro contralateral hasta que toma contacto con el suelo, por delante del miembro opuesto. En este momento, las articulaciones se extienden preparándose para el aterrizaje e inicio de una siguiente zancada (Baxter, 2020, Denoix, 2014).

2.2.3- Tipos de andares progresivos

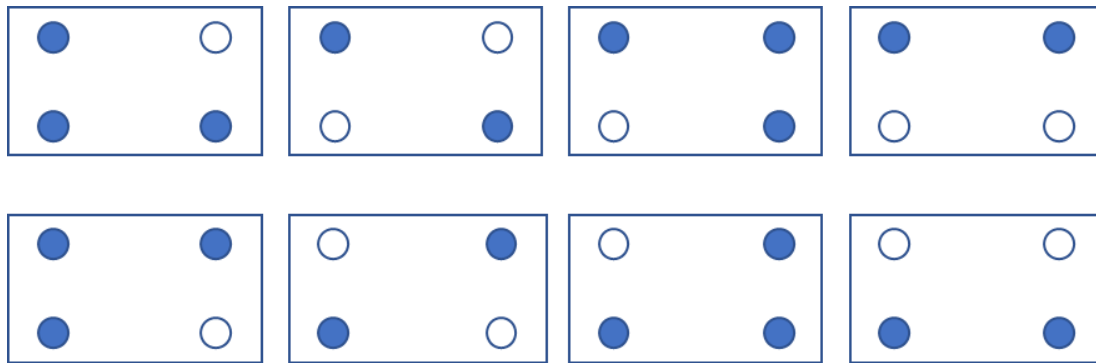
En los equinos, los andares progresivos se definen como secuencias de movimiento coordinado que posibilitan el avance del animal. Estas secuencias de movimientos pueden ser naturales o artificiales. Los andares naturales como el paso, trote, galope y la marcha son aquellos ejecutados por el caballo de forma innata mientras que los artificiales o adquiridos son el resultado del aprendizaje a través del entrenamiento (Monina, 2007; Nascimento, 1999).

Todos los caballos poseen los tres aires naturales, paso, trote y galope, sin embargo, algunas razas de equinos, como el Mangalarga Marchador, no poseen el trote y en su lugar poseen la marcha como andar natural (Soares, 2021; 2017).

El paso es un andar natural, simétrico, recorrido en cuatro tiempos, con apoyos alternados en bipedales (diagonales y laterales) y tripedales. Cada miembro se eleva y toca el suelo en momentos diferentes. Como sus reacciones son suaves produce un leve desplazamiento del centro de gravedad en el sentido dorsoventral (Barrey, 2013; Monina, 2007; Procopio, 2004; Lage, 2001) (Figura 8).

En este andar, no existe momento de suspensión y la velocidad promedio es de 4 a 6 km/hora (1,1-1,6 m/seg), la cual depende de la raza y del entrenamiento del animal. Cada rastro de los miembros anteriores es cubierto por el de los miembros posteriores, salvo cuando el animal camina en subida en donde las marcas de los posteriores no alcanzan a las de los anteriores o en bajada en la cual las marcas de los posteriores ultrapasan a las de los anteriores (Monina, 2007).

Figura 8: Diagrama de apoyo del paso

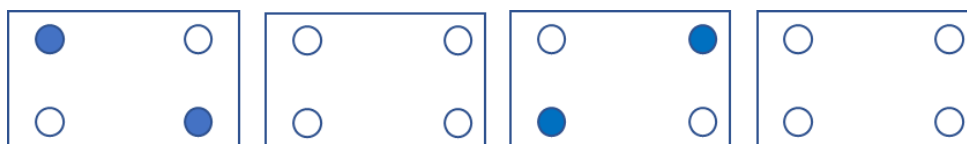


Fuente propia (2025)

El trote es una andar natural, simétrico, recorrido en dos tiempos con apoyos bipedales iguales y en diagonal, separadas por un momento de suspensión absoluta (Figura 9) (Barrey, 2013; Monina, 2007). Uno de los miembros anteriores y el miembro posterior opuesto se elevan y bajan de forma simultánea; este par de miembros diagonales es nombrado a partir del miembro posterior del par (Leach et.al, 1984). Por ejemplo, si tenemos el miembro anterior derecho y el miembro posterior izquierdo, se llama par diagonal izquierdo. Estos movimientos de apoyo diagonal seguidos de suspensión provocan un gran desplazamiento en la vertical del centro de gravedad (Lage, 2001). Los rastros de los miembros anteriores son cubiertos por los de los posteriores (Monina, 2007).

Por ser el andar de mayor equilibrio, es el elegido en medicina veterinaria para la evaluación de claudicaciones (Baxter, 2020). El trote puede alcanzar una velocidad de aproximadamente 12 km/h (3,3 m/seg), con un largo de la pasada de 2,40mts. Para el caso del trote de carrera, las pasadas pueden alcanzar un largo de hasta 6 metros y una velocidad de hasta 40 km/h (11,11 m/seg) (Monina, 2007; Nascimento, 1999).

Figura 9: Diagrama de apoyo del trote, se observa el apoyo simultáneo de los bípedos diagonales intercalados por un momento de suspensión.



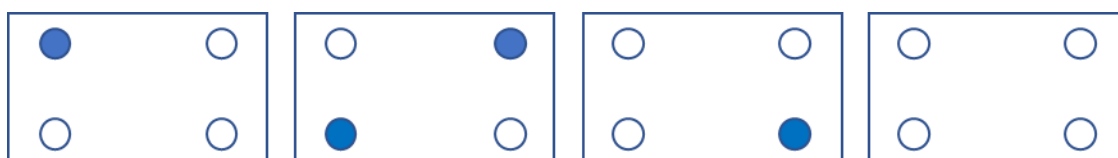
Fuente propia (2025)

El galope es un andar natural, asimétrico, basculado en el que el caballo salta en tres o cuatro tiempos según se trate del galope corto (canter) o del galope de carrera (Clyton & Hobbs, 2019; Monina, 2007). Podemos denominarlo a izquierda o derecha

según el miembro anterior que pierde en última instancia contacto con el suelo. Es un andar que produce un gran desplazamiento del centro de gravedad, principalmente en la vertical (Lage, 2001).

El galope corto o también denominado canter o medio galope es un tipo de andar, corto, reunido, de tres tiempos. La secuencia de apoyo de los miembros para un canter a la derecha es la siguiente (Figura 10): posterior izquierdo, luego el anterior izquierdo y el posterior derecho al mismo tiempo y por último el anterior derecho, seguido por una fase de suspensión. La velocidad puede ser de hasta 20 km/h (5,5 m/seg), con un largo de pasada de aproximadamente 3,70 mts (Nascimento, 1999; Lage, 2001; Monina, 2007).

Figura 10: Diagrama de apoyo del galope reunido o corto o “canter” a la derecha



Fuente propia (2025)

El galope largo o galope de carrera es un andar de cuatro tiempos, en el que los cuatro cascos tocan el suelo por separado. El caballo puede alcanzar velocidades entre 20 y 60 km/h (5,5-16,6 m/seg), con un largo de pasada de hasta 7 mts de largo (Monina, 2007); es el paso cuadrúpedo más rápido. En un galope a derecha, la secuencia de apoyos es la siguiente: miembro posterior izquierdo, miembro posterior derecho, miembro anterior izquierdo y por último el miembro anterior derecho (líder), seguido de un período de suspensión antes de repetir la secuencia (Figura 11).

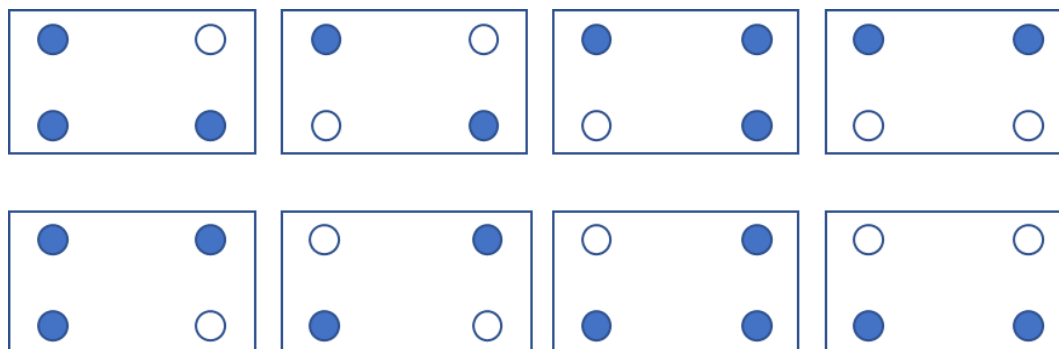
Figura 11: Diagrama de apoyo del galope largo o galope de carrera a la derecha



Fuente propia (2025)

La marcha es un andar natural, marchado, simétrico, a cuatro tiempos con apoyos alternados de los bípedos laterales o diagonales intercalando momentos de triple apoyo, lo que es propiciado por la disociación (ABCCMM, 2025) (Figura 12). La marcha es considerada en la literatura por algunos autores como un “paso acelerado”, ya que presenta el mismo diagrama de apoyos que éste.

Figura 12: Diagrama de apoyo de la marcha, como se puede ver es el mismo que para el paso, por eso es considerada como “un paso acelerado”.



Fuente propia (2025)

Dependiendo la proporción en los tiempos de apoyo diagonales o laterales se conocen dos tipos de marcha: la marcha picada y la marcha batida. La marcha picada tiene mayor proporción de apoyos laterales, aproximándose en sus extremos a la ambladura mientras que, la marcha batida presenta mayor número de apoyos diagonales, aproximándose en sus extremos al trote (Procópio, 2004). Otra característica que las diferencia entre sí es el grado de disociación, siendo mayor en la marcha picada comparándola con la batida (ABCCMM, 2025; Santos, 2023; Fonseca, 2018).

Este tipo de andar, es seleccionado en diferentes razas brasileñas como el Mangalarga Marchador, Mangalarga y Campolina y se destaca en cabalgatas y actividades recreativas, debido a que produce leve desplazamiento del centro de gravedad, lo que brinda una mayor comodidad al jinete (Rezende et al., 2016). El largo de la pasada es de aproximadamente 2 metros, con una velocidad de entre 12 a 14 km/h (33,3- 33,8 m/seg) (Nascimento, 1999; Procópio, 2004).

2.2.4- Factores que pueden influenciar los andares

Cuando realizamos un análisis de la biomecánica es de suma importancia considerar que los andares pueden ser influenciados por diversos factores tanto internos (propios del animal), como externos. Es por esta razón, que se vuelve necesario comprender y considerar estos elementos para poder realizar una interpretación objetiva del movimiento y, en caso de ser necesario, ajustar las condiciones que podrían afectar de forma negativa el desplazamiento del animal.

Como factores propios del animal que pueden influenciar los andares podemos mencionar la genética y la conformación. Un equino se considera bien o mal proporcionado dependiendo de las relaciones existentes entre las diferentes partes del

cuerpo y el conjunto formado por todas ellas (Lesbre, 1930). La conformación es considerada en mayor o menor medida una característica significativa para la salud y el desempeño de los equinos. Se sabe que la misma tiene incidencia sobre las variables cinéticas y cinemáticas de los diversos andares y también que puede influir en el desarrollo de determinadas afecciones del aparato locomotor (Stashak, 2020; Ross, 2011).

En cuestiones de conformación, uno de los aspectos más relevantes y que desempeña un papel fundamental en la evaluación de los andares, es el análisis de los aplomos. Estos, representan la clave del equilibrio y la salud biomecánica de los equinos y son definidos como la dirección que siguen los miembros en relación a dos puntos, uno superior que puede variar según se trate de un miembro torácico o pelviano y un punto inferior que es el suelo. Cuando existen defectos de aplomos, se generan fuerzas anormales en determinados puntos anatómicos que van a producir variaciones en la medición de algunas de las variables biomecánicas y además, pueden predisponer a la aparición de lesiones ortopédicas (Audisio et al., 2013). Animales con el eje podofalángico quebrado hacia atrás presentan un retraso en la elevación de los cascos debido al aumento de la fuerza de palanca para el avance del miembro (Stashak, 2014). Por otro lado, los animales con ejes quebrados hacia adelante provocan una retirada anticipada del casco del suelo, aterrizando en un ángulo muy pronunciado. Esto deriva en un andar más incómodo para el jinete debido al aumento del impacto, lo que puede causar diversas afecciones en la región (Stashak, 2020).

Lage (2001) encontró que existe correlación positiva entre los aplomos evaluados de frente, de perfil y de atrás con atributos evaluados durante la marcha en equinos Mangalarga Marchador, como el tipo de apoyo, gesto de marcha, estilo, comodidad, regularidad, rendimiento, condicionamiento e impulsión.

La edad de los animales puede influenciar los andares y esto se debe a que los animales jóvenes pueden mostrar cambios a medida que desarrollan su esqueleto. Por su parte, los caballos adultos pueden tener andares más armoniosos debido a la experiencia y también al entrenamiento al que han sido sometidos. Santos (2018) comparó usando un acelerómetro variables cinéticas y cinemáticas de potros de raza Mangalarga Marchador, desde el nacimiento hasta los quince días de vida con animales adultos y concluyó que muchas de las diferencias encontradas entre los potros y adultos guardan

relación con el relajamiento de los tendones y ligamentos y al menor desarrollo de la masa muscular de los potros.

Como se mencionó anteriormente, además de factores intrínsecos del animal, existen diversos factores externos que pueden también interferir en los andares. Entre estos factores, se pueden mencionar las condiciones ambientales, el tipo de suelo, el desvasado y herrado, la topografía del terreno, el tipo de entrenamiento y el jinete.

Las condiciones climáticas extremas (lluvia o calor intenso) pueden afectar la comodidad del caballo y de esa manera la forma en la que éste se desplaza. El tipo de terreno puede impactar en el movimiento, ya que superficies irregulares, blandas o duras modifican la forma en que el caballo levanta y coloca sus extremidades en el suelo. La dureza de la superficie está directamente relacionada la duración del impacto, a mayor dureza del suelo, más corto es el tiempo de impacto (Drevemo & Hjertén, 1991). En este contexto, el estado de origen de los animales, probablemente vinculado a factores geográficos y ambientales, podría tener influencias sobre los andares. Las diferencias en el tipo de terreno, la topografía y el tipo de manejo adoptados por cada región pueden impactar en los patrones de locomoción de los equinos (Back & Pille, 2013). Por lo tanto, considerar el factor geográfico como un factor determinante en la evaluación de la biomecánica podría aportar información en la interpretación de resultados de los estudios.

En este sentido, Barrey (1999) encontró que a la misma velocidad, existe un aumento en la duración de la pasada en pistas de fibras de madera cuando fueron comparadas con pistas de césped. Procopio (2004) evaluó diferentes tipos de suelos para escoger el mejor para su estudio posterior y observó que los suelos de tierra batida presentan mucha variación en la adherencia de los cascos debido a las diferencias en la compactación. Por su parte, concluyó que los pisos de cemento si bien son excelentes para la visualización de los andares resultan muy resbaladizos para los animales.

Si bien no hay estudios en donde se correlacione de forma directa los andares con la topografía del ambiente, si existen estudios donde se ha evaluado el efecto del ambiente sobre la morfología y se sabe que la morfología tiene impacto sobre la biomecánica de los andares. En ese sentido, Lage (2001) en un estudio realizado con equinos de raza Mangalarga Marchador, encontró correlación significativa entre el estado de origen y algunas medidas lineales y angulares. Las medidas lineales

comprendieron el largo de húmero, cuartillas torácicas y pélvicas, tarso, metatarso y el perímetro torácico, mientras que, las medidas angulares fueron el ángulo húmero-radial, ángulo del dedo torácico con la horizontal, ángulo fémoro-tibial y el ángulo metatarsofalangeano.

El desvasado y herrado pueden influenciar de manera significativa el movimiento del caballo. Un desequilibrio de los cascos afecta la forma en la que el caballo distribuye su peso y por lo tanto la manera en la que el animal se desplaza (Barrey, 1999). De la misma manera, esto puede ocurrir si el herrado del animal no es el correcto, esto puede ocasionar un mal balance del casco que obligan al animal a adoptar estrategias compensatorias para poder mantenerse en equilibrio.

Chateau et al. (2006), observaron alteraciones en la cinemática de la porción distal de los miembros anteriores en equinos de raza Trotador Francés con herraduras huevo sobre una pista de arena. Los autores pudieron corroborar que estas herraduras causaron una disminución en el hundimiento de los talones durante la fase de aterrizaje y un aumento del hundimiento de la pinza durante la primera mitad de la fase de apoyo. Por su parte, Barrey (1999), verificó que en caballos de carrera a los que se les colocaron herraduras de aluminio presentaron una reducción del impacto comparados con aquellos a los que se les colocaron herraduras de acero y que las vibraciones de alta frecuencia se redujeron hasta en un 75% cuando colocó plantillas viscoelásticas entre el casco y la herradura.

El tipo de entrenamiento al que el animal es sometido puede condicionar la capacidad para moverse de forma equilibrada y coordinada, también es posible que la disciplina que practique inflencie la manera en la que este se desplaza. Drevemo et al. (1980) encontraron en un estudio realizado en Standarbreads, que luego de tres años de entrenamiento, la duración de la pasada, el largo y la fase de elevación aumentaban. Otro estudio realizado en caballos Sangre Pura de Carrera entrenados sobre una cinta de treadmill mostró que después de 8 semanas, los animales redujeron la duración de la fase de apoyo entre un 8 a 20% (Corley & Goodship, 1994).

Si bien se sabe que el entrenamiento puede influenciar la manera en la que los caballos se desplazan, existen escasas investigaciones donde describan los cambios producidos por el entrenamiento sobre la biomecánica de la locomoción en equinos. Un estudio realizado por Cano et al. (2000) evaluó parámetros cinemáticos de caballos

andaluces, antes y después de un período de entrenamiento y concluyó que luego del entrenamiento, los animales presentaron una reducción de los ángulos articulares y una mayor inclinación de la escápula y de la pelvis. Estos resultados ponen en evidencia las adaptaciones que realizan los animales para poder reducir el impacto sobre los miembros torácicos y al mismo tiempo, aumentar la propulsión de los miembros pélvicos.

Cuando se habla de entrenamiento en equinos, se piensa en el trabajo que el animal hace montado, enfocado en el perfeccionamiento de las habilidades específicas que necesitan para una determinada disciplina ecuestre. Sin embargo, en los últimos años existe un enfoque de entrenamiento que viene ganando visibilidad, se trata del entrenamiento funcional. Este tipo de entrenamiento está dirigido al fortalecimiento muscular principalmente y al aumento de la flexibilidad articular, buscando mejorar la postura y el patrón de movimiento, esenciales para el rendimiento y la prevención de lesiones.

En este sentido, Oliveira et al (2020) en un estudio realizado con equinos utilizados para equinoterapia pudieron observar que aquellos animales sometidos a un protocolo de entrenamiento funcional, cuatro veces a la semana durante un período de tres meses mejoraron la calidad del andamiento. Esto se evidenció con el aumento en los valores de simetría y regularidad, manteniendo la frecuencia de pasada. También, concluyeron que los animales que realizaron el protocolo de ejercicios funcionales fueron más capaces de mantener la calidad de andamiento, incluso con jinetes más pesados (25% del peso vivo).

El tipo de cría utilizado (pasto, semiconfinamiento y confinamiento) puede también influenciar la biomecánica de los andares en equinos. Se ha observado que animales criados a box o en pequeñas áreas que limitan el ejercicio, principalmente animales en etapa de crecimiento, están predispuestos al padecimiento de deformaciones angulares (Lepeule et al., 2013). También, animales que permanecen en confinamiento pueden sufrir alteraciones de la función articular, ya que al permanecer durante largos períodos en posición de descanso, los músculos dejan de ejercer su función y sobrecargan las articulaciones. Tal como se mencionó en relación al estado de origen de los animales, no hay hasta el momento estudios que correlacionen de forma directa el tipo de cría con variables cinemáticas o cinéticas. No obstante, Lage (2001)

también evaluó el efecto del tipo de cría (box o pasto) sobre 27 medidas lineales y angulares y encontró que los animales criados a box presentaban un mayor largo de cuartilla torácica, fémur y tarso. Estos resultados sugieren que el tipo de cría puede influir sobre aspectos conformacionales de los animales, lo que a la vez, podría verse reflejado en su desempeño locomotor.

El estado de salud de los animales es importante de chequear antes de realizar una evaluación de andares debido a que problemas en el aparato locomotor que provoquen dolor o alteraciones en la mecánica de los miembros afectan de manera significativa la forma en la que el caballo se desplaza (Weishaupt, 2008).

Por último, es fundamental considerar el papel del jinete sobre los movimientos del caballo. La habilidad y experiencia del mismo determina la forma en la que el caballo distribuye su peso, cómo cambia la velocidad o la longitud de pasada, y cómo adapta esa pasada al realizar giros, detenerse o cambiar de mano (Stashak, 2014). Es por esta razón que, una conducción adecuada del animal influirá positivamente en el movimiento, optimizando su rendimiento y eficiencia en el desplazamiento.

Un jinete inexperto puede desequilibrar al caballo, debido a que puede cometer errores como sentarse hacia un lado de la silla de montar, conducir con un estribo más largo o montar con la pelvis torcida. Todas esas posturas pueden alterar el centro de masa del animal y hacer que el mismo deba realizar adaptaciones para poder mantenerse en equilibrio (Stashak, 2014).

Martin et al. (2017), en un estudio realizado en animales de equitación que fueron montados por un mismo jinete experto, observaron que los movimientos de la columna así como los de los miembros se modificaron por la presencia del jinete y de la silla de montar. Los autores hallaron que el rango de movimiento del segmento vertebral comprendido entre T6 y T12 aumentó al igual que los ángulos de protracción y retracción de las extremidades anteriores y posteriores cuando los animales eran montados.

El jinete también puede influir en el movimiento del equino dependiendo la posición de la cabeza y el cuello que le haga adoptar. En un estudio realizado sobre una cinta de treadmill con caballos de dressage, (Rhodin, 2018) concluyó que, las posiciones de la cabeza y el cuello extendidos hacia adelante y hacia abajo producen un incremento

de la protracción y retracción de los miembros, así como también del rango de movimiento pélvico, en caballos que fueron evaluados al paso. También encontraron que, posiciones de la cabeza como la posición sobreflexionada y otras dos posiciones con el cuello en elevación, generaron importantes modificaciones cinemáticas en comparación con la posición de competencia. Esta investigación permitió comprobar que la posición de la cabeza y cuello afecta todas las variables cinemáticas en caballos de equitación y que algunas posiciones adoptadas no siempre son inofensivas para el animal.

En la raza Mangalarga Marchador, siguiendo esa línea existe un estudio, en donde también se encontró que las posiciones de la cabeza y cuello, controladas por el jinete influyen todas las variables cinemáticas que analizaron (Martins et al., 2025). Los autores concluyeron que la posición de la cabeza y cuello "invertida" presentó mayor porcentaje de disociación, dentro de la cual la disociación en el aterrizaje fue la más elevada en comparación con la disociación de despegue y un menor largo de la pasada. Más allá de que esta postura influye de manera negativa el largo de la pasada, es importante destacar que puede comprometer el bienestar de los animales, por lo que no se recomienda el entrenamiento en esta posición.

Otro factor que guarda relación con el jinete tiene que ver con el peso del mismo. Gunnarsson et al., (2017) realizaron un estudio en 8 caballos islandeses en donde aumentaron de 20 a 35% la relación peso del jinete/caballo. Concluyeron que este aumento, si bien no influyó en el ritmo ni la simetría del miembro anterior en el tölt, disminuyó la longitud de la pasada, aumentó la duración de la fase de apoyo y la frecuencia de la pasada a expensas de una disminución en la fase de suspensión.

2.2.5- Métodos de evaluación de los andares

2.2.5.1- Morfometría o biometría

La morfometría es la acción de medir las superficies corporales del animal; estas medidas pueden ser lineales o angulares y tiene como objetivo comprender y evaluar la conformación física y su influencia en los andares y el rendimiento en las actividades que el animal desarrolla (Freire, 2024; Fonseca, 2018; Schröder et al., 2010; Lage et al., 2009; Procopio, 2007). Es por esto que, la conformación, tiene un destacado papel como herramienta de selección en numerosas razas de equinos que posteriormente serán usados con diversos fines deportivos (Sellani et al., 2020). Si bien, es un método

aplicado frecuentemente a campo necesita capacitación previa de evaluador en cuanto a las bases anatómicas de referencia que serán utilizadas para la posterior medición (Moura et al., 2020).

La cantidad de medidas obtenidas es variable y depende de la cantidad de puntos anatómicos escogidos, citados en la literatura, para las posteriores mediciones (Figura 13). En estudios realizados particularmente en la raza Mangalarga Marchador, el número de puntos anatómicos escogidos varió entre 22 (Fonseca, 2018) hasta 41 (Moura et al., 2020).

Figura 13: Puntos utilizados para la obtención de medidas lineares y angulares en los equinos



Fuente propia (2025)

Los caballos con conformaciones más funcionales tienden a tener una mayor longevidad debido a que son más capaces de soportar el estrés fisiológico derivado de los esfuerzos físicos (Santiago, 2013). Staiger et al. (2016) comprobó que los ángulos de la cadera y de los hombros afectan el rango de movimiento de las extremidades, mientras que la longitud de los segmentos de las extremidades influye en la absorción de impactos y en la fuerza de las extremidades.

Una escápula más larga e inclinada es funcionalmente más eficiente y coloca al jinete hacia la parte trasera del caballo lo que resulta en un mayor equilibrio (Stashak, 2014). En caballos islandeses clasificados como de alto nivel, Kristjansson et al. (2016),

demonstraron que una escápula más inclinada influyó positivamente en el rendimiento durante el galope y en el tölt. Lage (2001), en un estudio con 169 animales Mangalarga Marchador concluyó que existe correlación positiva entre el largo de la espalda y el rendimiento (0,16). Esto demuestra la importancia de esta medida en este parámetro evaluado, que para el caso de esta raza, forma parte de los criterios utilizados para otorgar el registro definitivo de los animales y también para alcanzar posiciones de premiación. La misma autora también, halló correlación negativa entre el ángulo escápula-suelo con el gesto y estilo de la marcha.

En el miembro torácico, un ángulo escápula-suelo menor, mostró una mayor protracción del miembro, lo que produce movimientos más elegantes y eficientes (Holmström & Back, 2013). El ángulo de la escápula tiene correlación con el ángulo de cuartilla y del casco, en condiciones ideales se espera que estos ángulos tengan la misma medida. En un estudio realizado en caballos de raza criolla, se evidenció que aquellos animales que poseían un ángulo escápula-suelo mayor a 4° que el ángulo del casco eran menos equilibrados que caballos con diferencias menores (Paganela et al., 2008).

Por su parte, el ángulo escapulo-humeral se ha visto que incide directamente en el largo de la pasada. En condiciones ideales, un caballo con un ángulo escapulo-humeral de 90°, al paso, tiene un largo de la pasada aproximadamente igual a su altura. En la medida que el ángulo aumenta, se reduce la longitud de la pasada (Monina, 2007). Fonseca (2018), concordando con la anterior autora, encontró correlación negativa (-0,37 para los animales de marcha batida y -0,50 para los animales de marcha picada) entre el ángulo escapulo-humeral (Hembras MB: $102,09 \pm 1,31$; machos MB: $100,45 \pm 1,39$; hembras MP: $102,77 \pm 2,06$ y machos MP: $101,00 \pm 2,19$) y el largo de la pasada (Hembras MB: 1,89; machos MB: 1,88; hembras MP: 1,78; machos MP: 1,82) en animales de raza Mangalarga Marchador.

El largo del húmero es importante, ya que brazos más largos, permiten movimientos más amplios y otorgan una mayor superficie para la inserción muscular (Nascimento, 1999). En relación a esta medida, Lage (2001), encontró correlación positiva entre el largo del húmero con la comodidad (0,16), rendimiento (0,26) e impulsión (0,16) de la marcha en equinos Mangalarga Marchador.

Según Nascimento (1999), grupas más largas se relacionan con músculos más largos, que permiten mayores contracciones musculares y por lo tanto guardan relación con una mayor fuerza de propulsión y una mejor reunión de los miembros pelvianos. Langlois et al. (1978), en un estudio realizado con 60 caballos de salto hallaron que la longitud de la pelvis presenta correlación positiva con la capacidad de salto.

Por otra parte, la inclinación de la pelvis también es un factor importante que condiciona los andares de los equinos (Holmström & Back, 2013). Una pelvis de conformación horizontal (entre 12° y 25° sobre la horizontal) favorece la velocidad por lo cual es deseada en animales de carrera, mientras que pelvis inclinadas (entre 25° y 35° sobre la horizontal) son seleccionadas en animales de silla, tracción leve o salto (Nascimento 1999). Aquellas pelvis con conformación horizontal permiten la rotación de la misma, lo que contribuye con andares más elásticos, por su parte pelvis con escasa rotación resultan en andares más rígidos (Holmström et al., 1994).

El largo y la inclinación del fémur son factores relevantes en el análisis de la conformación, principalmente en equinos deportivos. Animales con un fémur largo e inclinado hacia craneal, consiguen remeter mejor los miembros posteriores por debajo del caballo, lo que brinda una mayor capacidad para soportar el peso pero principalmente permite mantener un mayor equilibrio (Holmström & Back, 2013; Nascimento, 1999). En un estudio realizado con caballos de equitación de 4 años, Holmström et al. (1993) demostraron que los animales con un fémur más inclinado hacia craneal presentaban una fuerte correlación con la calidad de los andares, ya que esta característica posiciona a la extremidad posterior más adelante bajo el cuerpo, lo que facilita la función de los miembros posteriores y mejora el equilibrio. En el mismo sentido, Kristjansson et al. (2016) mostraron en caballos islandeses, que aquellos considerados como de alto nivel tenían un fémur más inclinado y una articulación femorotibial más pequeña en comparación con los de bajo nivel. Lage (2001), halló que el aumento en largo del hueso fémur se correlaciona de manera positiva con los ángulos humeroradial y tibio-társico-metatarsico, mientras que lo hace de manera negativa con los ángulos coxal y coxofemoral en animales de raza Mangalarga Marchador.

La articulación de la rodilla es una importante región a tener en cuenta cuando seleccionamos andares a través de la morfología. Ángulos demasiados agudos de dicha articulación, provocan tensión sobre el músculo que la extiende, el cuádriceps femoral.

Si este músculo no es capaz de mantener la articulación en extensión cuando los miembros posteriores están en la fase de carga máxima, el animal se ve obligado a transferir parte del peso hacia los miembros anteriores y por lo tanto pierde equilibrio durante el trabajo (Holmström & Back, 2013).

El ángulo tibiotarsicometatársico varía normalmente entre 140 y 160 grados, ángulos menores a 140 grados, son considerados indeseables en cualquier raza de caballo (Nascimento, 1999). En este sentido, en un estudio realizado por Barcelos et. al (2016), encontraron que animales de raza Mangalarga Marchador que compiten en pruebas de marcha picada de alto rendimiento, presentan ángulos tarsales clasificados como cerrados, teniendo en consideración la clasificación de Gagney et al. (2006). Para estos autores, los caballos que presentan ángulos del tarso menores de 155° son considerados como cerrados/pequeños. Esta conformación de tarsos cerrados genera que el animal sea menos capaz de soportar peso con los miembros posteriores, debido a que posee una fuerza menor a nivel de dicha articulación. Además, esta conformación produce sobrecarga de la articulación, lo que predispone a los animales a una incidencia mayor de lesiones a este nivel y por lo tanto a una disminución de la performance o incluso la pérdida del mismo con fines deportivos.

El ángulo de la articulación del nudo en el miembro posterior es una medida que se relaciona también con parámetros cinemáticos en los equinos. En un estudio realizado por Back et al., (1996), demostró que un largo de pasada mayor al igual que una mayor duración de la fase de suspensión durante el trote se relacionaban con una articulación del nudo con dirección más recta que lo esperado para el caso del miembro anterior.

2.2.5.2- Videografía

La evaluación de la biomecánica por este método se basa en el uso de cámaras que graban los movimientos del equino en una pista o sobre una cinta de treadmill. Estos sistemas miden la trayectoria de las articulaciones y de todo el cuerpo a través del análisis de las imágenes tiradas en un intervalo de tiempo constante (Barrey, 1999).

La videografía es considerada la técnica de análisis cinemático más utilizada en el análisis de la biomecánica de los equinos. Uno de los primeros en utilizar este método fue Muybridge (1887) que utilizó varias cámaras (12 a 24 dispuestas una al lado de la

otra) para analizar la locomoción en caballos. Con las fotografías obtenidas, registró la duración relativa de las posiciones durante la locomoción (Barrey, 1999).

Para realizar una evaluación de la biomecánica a través de la videografía se debe proseguir con una serie de pasos: colocación de marcadores en el caballo, preparar y ajustar la grabación, filmar, digitalizar y posteriormente procesar las imágenes para obtener los datos biomecánicos de interés (Procopio, 2004; Nicodemus & Clyton, 2003).

Como se mencionó anteriormente, para realizar estudios que involucran la videografía es necesaria la utilización de marcadores reflexivos colocados sobre la piel del caballo sobre lugares ya definidos (Figura 14) (Moura et al, 2020; Procopio, 2007; Weller, 2006; Langlois et al., 1978). La principal desventaja del uso de estos marcadores reflexivos radica en que pueden desplazarse del lugar donde fueron colocados por el movimiento de la piel durante la locomoción. Además, puede ocurrir que el posicionamiento no sea el correcto si el lugar en donde deben colocarse es de difícil palpación o la individualización de las estructuras anatómicas es imprecisa (Soares, 2017, Procopio, 2004).

Figura 14: Marcadores colocados para el análisis a través de videografía



Fuente propia (2025)

En un intento de corregir esos errores, se han desarrollado algoritmos matemáticos para ajustar el desplazamiento de la piel en caballos Warmbloods al paso y

al trote (van Weeren et al., 1992; 1988). El principal inconveniente de estos ajustes es que fueron elaborados para un número limitado de segmentos corporales y sólo pueden ser aplicados en animales que posean conformación y velocidad comparables a los animales del estudio.

La videografía puede realizarse en dos o tres dimensiones, necesitando para este último caso de la utilización de por lo menos dos cámaras y de marcadores esféricos o hemisféricos debido a que estos mantienen esa forma cuando son visualizados desde diferentes ángulos (Procopio, 2004). La técnica tridimensional es realizada cuando se quiere tomar conocimiento de los movimientos de aducción, abducción o rotacional durante el ejercicio.

En caballos Mangalarga Marchador se han desarrollado diversos estudios para evaluar la marcha a través del análisis por videografía. Uno de los primeros estudios fue realizado por Hussni et al. (1996), donde utilizaron 104 equinos adultos, montados y filmados con una cámara que revelaba 50 cuadros/seg. Como resultado, los autores encontraron ocho tipos diferentes de andares de los cuales algunos representaban variaciones de la marcha y otros no coincidían con lo esperado para este tipo de andar por presentar por ejemplo, momentos de suspensión, característica que no está considerada dentro del estándar racial de la mencionada raza.

Procopio (2007) evaluó los andares de 49 equinos de raza Mangalarga Marchador, campeones de marcha batida a través del análisis de las curvas ángulo-tiempo de las articulaciones con una cámara que revelaba 240 cuadros/seg. El autor demostró que la utilización de marcadores reflexivos es un método adecuado para la posterior digitalización y análisis de las imágenes, y que estas curvas no presentan diferencias con las mismas curvas analizadas en caballos de silla europeos.

Fonseca (2018) evaluó variables temporales y tiempo de apoyos de los miembros de 46 equinos campeones o reservado campeones de marcha picada y batida de la raza Mangalarga Marchador. La autora concluyó que a la misma velocidad (sin diferencia estadísticamente significativa), la marcha batida (13,22km/h) y picada (12,68 km/h), presentan diferencias en todas las variables cinemáticas temporales, exceptuando los apoyos cuadrupedales y monopodales torácicos y pélvicos.

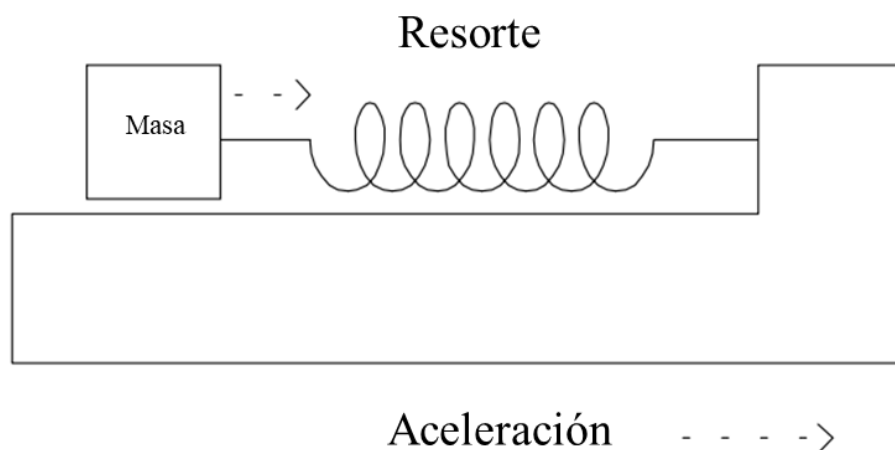
En un estudio más reciente, Santos (2023) analizó la cinemática de 147 animales Mangalarga Marchador de marcha batida y picada (campeones, reservado campeón y primer premio) para las variables tiempo de apoyo, características temporales y las pisadas. En este caso el autor, encontró al igual que Fonseca (2018), que las variables cinemáticas son diferentes entre animales de marcha picada y batida y que al igual que Hussni et al. (1996) los animales presentaron tipos de apoyo que no coinciden con los descritos en el estándar racial.

2.2.5.3- Acelerómetros

Los acelerómetros son dispositivos electrónicos que cuantifican la aceleración del movimiento del cuerpo en relación a la superficie a la cual el animal está conectado (Romanzini et al., 2012).

Aunque existen varios tipos de acelerómetros utilizados en diversas áreas, incluido el estudio de la biomecánica tanto en humanos como en animales, el más empleado es el sistema de masa-resorte (Figura 15). En este sistema, al aplicarse aceleración, una pequeña masa dentro del acelerómetro reacciona aplicando una fuerza al resorte, lo que lo hace que este se estire o se comprima (Mathie, 2003), de esta manera el desplazamiento del resorte puede ser medido y utilizado para calcular la aceleración aplicada.

Figura 15: Esquema de funcionamiento del acelerómetro de masa-resorte.



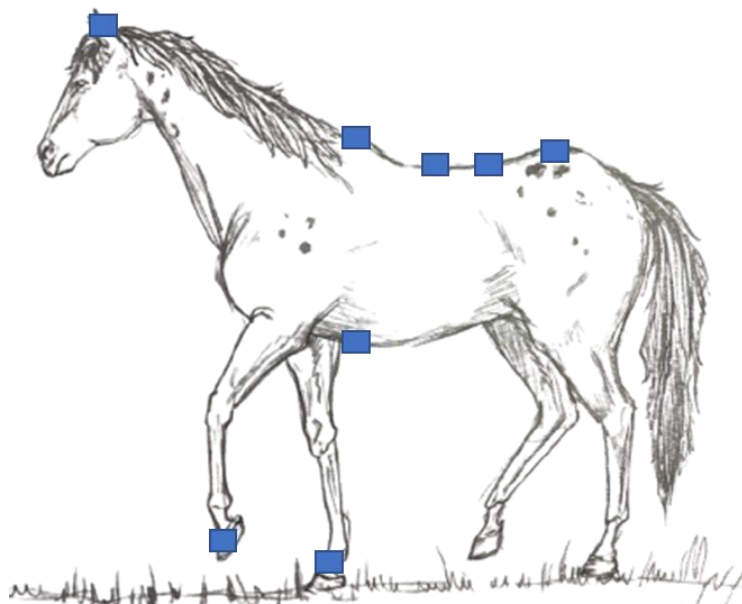
Fuente: Modificado de Mathie (2003)

Actualmente, existen acelerómetros conocidos como acelerómetros triaxiales ortogonales o acelerómetros 3D; estos dispositivos captan los cambios de velocidad y

de aceleración en los tres ejes del cuerpo: longitudinal (cráneo-caudal), eje medio-lateral y eje dorso-ventral (Leleu et al., 2005; 2004; 2002).

Estos aparatos son ubicados en diferentes puntos estratégicos del cuerpo del animal, dependiendo del acelerómetro utilizado y del tipo de análisis que se quiera realizar (Figura 16). Los sitios más comunes de ubicación son el tórax, la cabeza y la grupa, para evaluaciones de desplazamiento y simetría del movimiento (Leleu et al., 2005). Aunque también, pueden ser colocados a nivel de los miembros para evaluar los impactos de la pisada y de la región dorsal para medir la estabilidad de la columna durante el desplazamiento (Monina, 2007). Es importante que estos aparatos sean colocados de manera correcta para evitar posteriores interferencias en el análisis que afecten la precisión de las mediciones.

Figura 16: Sitios de colocación de los acelerómetros en estudios de locomoción en equinos



Fuente propia (2025)

Debido a que los acelerómetros son capaces de proporcionar datos sobre variables tanto cinéticas como cinemáticas, se han consolidado como una herramienta valiosa en el análisis biomecánico. La acelerometría, ha mostrado ciertas ventajas respecto al uso de la videografía, ya que nos permite obtener datos cinéticos además de cinemáticos y sin la necesidad de tener un campo limitado para esa evaluación, sumando además la ventaja de que son dispositivos pequeños y livianos que poseen un análisis más rápido (Bronwyn, 2014; Barrey, 2013). En un estudio realizado por Leleu

et al. (2002), donde se comparó el uso de acelerómetros con la videografía, los resultados demostraron que los dos métodos no presentaron diferencias en el análisis de ciertas variables temporales de la pasada de caballos trotadores franceses, lo que muestra la confiabilidad de la acelerometría en el análisis de los andares.

El uso de acelerómetros permite evaluar los efectos sobre la biomecánica de diferentes tipos de pistas, herrados e incluso durante la recuperación posquirúrgica. Además, estos equipamientos se han utilizado en diversas aplicaciones como, medir los parámetros de la zancada (Leleu, et al., 2005; Barrey et al., 2001), medir el patrón de la marcha tras la administración de agonistas alfa-2-adrenérgicos (López-San Román et al., 2013), o tras la administración de una combinación de morfina con acepromacina (Freilich, 2016).

Uno de los primeros trabajos pioneros en el uso de acelerómetros es el de Barrey et al. (1994), que desarrollaron un dispositivo acelerométrico colocado en la región esternal para evaluar la marcha de caballos jóvenes en situaciones de campo. Eso les permitió medir la aceleración longitudinal y dorsoventral del esternón, lo cual proporcionó información sobre la cinemática y cinética temporal de la zancada. Este dispositivo, años después tras diversos ajustes y mejoras tecnológicas, se convirtió en el patentado Equimetrix® (Centaure Métrix, Fontainebleau, Francia).

El Equimetrix® es uno de los acelerómetros más utilizados en el estudio de la biomecánica equina, debido a su capacidad de aportar datos precisos y detallados sobre la locomoción de los equinos. Es un dispositivo formado por un transductor de aceleración que se fija en la región esternal del animal, por debajo del centro de gravedad y registra la aceleración del cuerpo en los tres ejes del movimiento (anteroposterior, dorsoventral y mediolateral).

A partir de los gráficos de aceleración que genera en cada uno de los ejes, el software calcula variables cinemáticas (largo de pasada, frecuencia de pasada, simetría, regularidad y desplazamiento dorsoventral) y también cinéticas (potencia dorsoventral, fuerza de propulsión, potencia mediolateral y potencia total). De la curva de aceleración dorsoventral se obtienen los valores de largo y frecuencia de pasada, simetría, regularidad, desplazamiento dorsoventral y potencia dorsoventral; de la curva de aceleración longitudinal se calcula la fuerza de propulsión, y de la curva de aceleración medio-lateral, la potencia mediolateral.

El software incluye también, una base de datos de referencia con distintas razas de caballos, lo que permite comparar el rendimiento del animal que está siendo evaluado con parámetros previamente establecidos, facilitando la interpretación objetiva del desempeño.

Además de lo mencionado, el sistema Equimetrix permite analizar los gráficos de aceleración, a partir de los cuales es posible evaluar variables temporales como los momentos de contacto, apoyo y despegue de los miembros, mismo como los momentos de frenado y propulsión y en el caso de equinos de salto, los momentos de batida y de vuelo.

En la literatura ya existen múltiples estudios que comprueban la utilización del mismo (Ricard et al, 2020; Oliveira et al., 2020; Freilich, 2016; Leleu, et al., 2005; Biau, 2004; Leleu, et al., 2002; Barrey, 2002; Barrey, 2001), aplicando diferentes enfoques metodológicos que han permitido obtener hallazgos relevantes sobre la locomoción de los equinos.

Ricard et al (2020), evaluaron caballos jóvenes de salto y estimaron correlaciones genéticas entre parámetros biomecánicos y el rendimiento durante las competencias. Los autores encontraron que la duración del salto y las puntuaciones que emiten los jueces durante el salto libre, son heredables y están correlacionadas genéticamente con la performance de los animales durante una competencia de salto. Este estudio abre la posibilidad de incorporar a los acelerómetros a programas de selección genética de caballos de salto.

En otro estudio donde se utilizó un acelerómetro para comparar los efectos de la administración de morfina y una combinación de morfina con acepromacina, Freilich (2016), encontró que la administración de morfina sola, produce cambios en la frecuencia y la longitud de la pasada, resultando en pasos más frecuentes y de menor longitud. Por otro lado, la combinación de morfina con acepromacina produce una reducción de la velocidad a expensas de la disminución tanto de la longitud como de la frecuencia de pasada. Estos resultados, permiten afirmar que la combinación de estos dos fármacos mitiga el incremento de la frecuencia de pasada, efecto que indirectamente nos muestra la intranquilidad y excitación en el animal debida a la administración de morfina sin combinar.

Leleu, et al. (2005), encontraron diferencias en las variables biomecánicas en dos grupos de equinos trotadores de carrera con distintos niveles de rendimiento. Las diferencias más significativas se dieron en la frecuencia de pasada, duración de la fase de apoyo y la propulsión. Los autores afirman que estas tres variables, podrían ser consideradas como marcadores eficientes y utilizarse en la práctica junto a evaluaciones fisiológicas, para estimar la capacidad de carrera de equinos trotadores.

Por lo presentado anteriormente, se puede afirmar que el análisis de la biomecánica a través de acelerómetros ha demostrado ser una herramienta sensible y eficaz en la detección de asimetrías de la marcha y en la detección de claudicaciones de bajo grado que pueden no ser visibles al ojo humano (Barrey, 2008).

En Brasil, y particularmente en la raza Mangalarga Marchador, los trabajos utilizando acelerómetros en el análisis de la biomecánica son aún escasos. Los estudios más destacados son los de Soares (2021; 2017) y Santos (2018) en donde ambas autoras evaluaron el efecto del crecimiento del animal sobre las características biomecánicas al paso y en la marcha.

El objetivo de ambas autoras ha sido reconocer variables biomecánicas que se mantengan estables desde las etapas de crecimiento hasta la vida adulta del animal y que puedan servir como herramienta para selección de forma temprana de animales con características deseables para la marcha. La identificación de estas variables podría permitir la selección de potros con potencial para desempeñarse en concursos de marcha además de orientar a los criadores en la selección de programas de entrenamiento desde las etapas iniciales. Los principales resultados de estos estudios se pueden ver en la tabla 1.

Tabla 1: Principales resultados encontrados en estudios realizados utilizando Equimetrix® en animales de raza Mangalarga Marchador al paso y en la marcha

	Soares (2017)	Santos (2018)	Soares (2021)
Animales	• Potros 30 días • Potros 180 días • Adultos	• Potros durante los primeros 15 días de vida • Adultos	• Potros entre 2 y 5 meses • Potros entre 18 y 42 meses • Adultos
Acelerómetro	Equimetrix®	Equimetrix®	Equimetrix®
Principales resultados PASO	• Menor velocidad y largo de pasada fueron observadas en los potros. • Los adultos, presentaron mayores valores en las variables cinéticas	• En los potros, la velocidad fue menor, la frecuencia de pasada fue semejante y el largo de pasada fue menor que los adultos. • La frecuencia y la simetría fueron semejantes en los dos grupos de animales. • La fuerza de propulsión fue menor en los potros, todos los días evaluados, excepto el día 1 de vida que los valores fueron semejantes.	• Los adultos presentaron mayor velocidad • En los potros, la frecuencia de pasada fue menor en los adultos • El largo de pasada fue mayor en los adultos • Los potros de mayor edad presentaron, valores semejantes a los adultos para el largo de pasada y la potencia total
Principales resultados	• Los potros mostraron menores valores de velocidad respecto a los	• La velocidad fue menor en los potros que en los adultos.	• La velocidad en los adultos fue mayor que en los potros.

MARCHA	adultos.	• La frecuencia de pasada fue mayor en los potros entre el 8vo y 10mo día de edad, luego fue semejante, el resto de los días. • Desde el nacimiento el único parámetro consistente fue la regularidad • La simetría presentó valores similares en los días 6, 8 y 12; el resto de los días, los potros presentaron valores mayores que los adultos. • La fuerza de propulsión fue menor en los potros, todos los días evaluados	• Los potros del G1 mostraron mayor desplazamiento dorsoventral en comparación con el G2.
---------------	----------	--	---

Fuente propia (2025)

3- MATERIALES Y MÉTODOS

Los datos utilizados forman parte del banco de datos obtenido durante la realización del proyecto "Caracterización genética y fenotípica de equinos de la raza Mangalarga Marchador" (nº protocolo CEUA-UFLA: 009/15).

3.1- Diseño del estudio y datos generales de los animales

Se realizó un estudio de carácter descriptivo en condiciones de campo, donde la recolección de datos fue llevada a cabo en diversos haras dedicados a la cría de animales Mangalarga Marchador y durante eventos oficiales, de acuerdo a la disponibilidad de animales y de los propietarios.

Fueron analizados un total de 48 equinos de raza Mangalarga Marchador con una edad media de $10,5 \pm 4,6$ años, de los cuales 35 eran hembras y 13 machos; 42 eran de marcha batida y 6 de marcha picada, La mayoría de los animales eran oriundos del estado de Minas Gerais (n=38) y los 10 restantes de otros estados de Brasil (Bahía, San Pablo, Rio Grande del Sur y Río de Janeiro). Del total de animales analizados, 22 tenían herraduras colocadas y 26 estaban descalzos. En cuanto al entrenamiento, 18 estaban siendo entrenados y 30 no lo estaban. Respecto a la participación en eventos 35 animales habían participado en eventos, mientras que los 13 restantes no. En relación al manejo, 22 de los animales permanecían a campo, 16 llevaban un régimen semiconfinado (con momentos del día sueltos a piquete y otros a box) y 10 vivían completamente confinados a box.

Todos los animales, para formar parte del estudio debían poseer su registro definitivo en los libros MM5 y MM6 (animales con genealogía conocida) de la Asociación Brasileira de Criadores de Caballos Mangalarga Marchador (ABCCMM). Además, se requería que fuesen descendientes de por lo menos uno de los 163 ancestrales genéticos que más influenciaron a la raza, reconocidos por Baena et al. (2020) y poseer una edad mínima de cinco años de edad, para que la curva de crecimiento ya hubiese alcanzado su estado de equilibrio (Ribeiro, et al., 2018).

3.2- Análisis de la marcha

3.2.1- Recolección de datos

El análisis de la marcha fue realizado sobre una pista recta con 60 metros de largo sobre tierra batida, delimitada por dos hileras de conos, colocados a una distancia uniforme de 1 metro entre cada uno de ellos. La distancia de la pista fue estandarizada porque permitía la grabación de por lo menos 20 segundos, tiempo suficiente para que el acelerómetro realice un análisis correcto de la locomoción.

Antes de la evaluación, cada uno de los conjuntos, realizó un periodo inicial de calentamiento al paso durante cinco minutos. Luego, ejecutaron tres ritmos diferentes de marcha: marcha corta, marcha media y marcha alargada. Estos tres ritmos son solicitados durante los concursos o copas de marcha en eventos oficiales de la raza. Con el fin de garantizar la precisión de las mediciones, cada uno de los conjuntos realizó tres pasadas diferentes para cada uno de los ritmos mencionados anteriormente.

Para coleccionar los datos de las variables cinemáticas y cinéticas de la marcha fue utilizado un acelerómetro, Equimetrix® (Centaure Métrix®, Fontainebleau, Francia). Este dispositivo debe ser fijado en la región esternal del animal y está formado por un transductor de aceleración conectado a un registrador de datos. El transductor de aceleración consta de tres acelerómetros ortogonales que miden la aceleración del tórax a lo largo de los ejes dorsoventral, longitudinal y medio-lateral. En el actual estudio, el transductor fue fijado a la cincha de la montura usada por el animal, basados en las recomendaciones brindadas por el fabricante y estudios previos que utilizaron el mismo sistema de evaluación (Ricard et al, 2020; Biau & Barrey, 2004).

La velocidad media de cada una de las pasadas fue determinada por cronómetro y se calculó como la razón entre la distancia recorrida en metros y el tiempo empleado, medido en segundos.

3.2.2- Variables medidas

Después de la colecta, los datos fueron transferidos a una computadora donde se analizaron a través del software Equimetrix V 3.0®. Se obtuvieron valores para las variables cinemáticas (velocidad, largo y frecuencia de pasada, desplazamiento dorsoventral, regularidad y simetría) y las variables cinéticas (potencia dorsoventral, potencia mediolateral, fuerza de propulsión y potencia total), descriptas en la tabla 2.

Tabla 2: Variables cinemáticas y cinéticas analizadas por el Software Equimetrix®

Variables	Definición	Unidad
Cinemáticas		
Velocidad	Relación entre la distancia recorrida por el animal y el tiempo empleado en recorrerla	Km/h o m/s
Largo de pasada	Distancia recorrida entre dos apoyos sucesivos de un mismo miembro. Se calcula a partir de la relación $SL=V/SF$	Metros o centímetros
Frecuencia de pasada	Número de pasadas por unidad de tiempo. Se estima a través de la detección de la frecuencia del pico principal del espectro de potencia, obtenido mediante una transformada rápida de Fourier de la señal de aceleración dorsoventral.	Pasos/seg o Hertz
Regularidad de pasada	Mide que tan constante es el movimiento, describiendo la similitud de los patrones de aceleración a lo largo del tiempo. Se obtiene a partir de suma de los coeficientes de correlación asociados a los picos de la función de autocorrelación de la señal de aceleración dorsoventral en los tiempos equivalentes a media pasada y una pasada completa.	Sin unidad
Simetría de pasada	Mide cuanto se parecen los movimientos de un lado respecto al contralateral, a través de la similitud de los patrones de aceleración en las dos mitades de la pasada. Se mide a partir del coeficiente de correlación correspondiente al pico de la función de autocorrelación de la curva de aceleración dorsoventral medido en la mitad de la pasada.	Sin unidad
Desplazamiento dorsoventral	Desplazamiento del esternón en el eje dorsoventral. Se estima mediante una doble integración de la señal de aceleración dorsoventral.	Centímetros
Cinéticas		
Potencia dorsoventral	Potencia media del movimiento a lo largo del eje dorsoventral. Es la integral del espectro de potencia a través de una transformada rápida de Fourier de la curva de aceleración dorsoventral.	W/Kg
Potencia mediolateral	Potencia media del movimiento a lo largo del eje mediolateral. Es la integral del espectro de potencia a través de una transformada rápida de	W/Kg

Fuerza de propulsión	Fourier de la curva de aceleración medio-lateral. Potencia media del movimiento a lo largo del eje longitudinal (cráneo-caudal). Es la integral del espectro de potencia a través de una transformada rápida de Fourier de la curva de aceleración antero-posterior.	W/Kg
Potencia total	Suma de las tres potencias anteriores	W/Kg

Fuente: Modificado de Biau (2004), Soares (2021; 2017), Scheffer (2022).

3.3- Análisis estadísticos

Los valores cuantitativos de las variables cinemáticas y cinéticas obtenidos de los 48 equinos fueron analizados con la ayuda del software R (R Core Team, versión 4.3.3). Inicialmente se realizó el cálculo de las estadísticas descriptivas para las variables analizadas (valores medios, desvío estándar, mediana e intervalo intercuartílico). Luego los datos fueron testeados en cuanto a normalidad por medio del test de Shapiro-Wilk y homogeneidad de varianzas. Para la comparación de variables entre dos grupos, se utilizó una prueba test de Student. En el caso particular, donde la comparación era entre más de dos grupos, ante la ausencia de normalidad en la distribución de los datos, fue aplicado el test de Kruskal-Wallis. En el caso de existir diferencias significativas entre los grupos, se aplicaron pruebas pos-hoc para identificar los grupos que presentaban dichas diferencias. Además, con el objetivo de explorar las relaciones entre las variables cinemáticas y cinéticas analizadas, se aplicó un test de correlación de Pearson. Todas las estadísticas fueron consideradas significativas cuando $p < 0,05$.

4- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1- Sexo

Los resultados de las variables obtenidas para los tres ritmos de marcha en función del sexo son presentados en la tabla 3. Pudo observarse que tanto en machos como en hembras, un aumento de la velocidad produjo un aumento de la frecuencia o del largo de la pasada. Esta observación coincide con Barrey et al. (1995), que afirman que a medida que la velocidad aumenta, se produce un incremento de una o ambas variables. Los machos presentaron durante la marcha alargada, una mayor velocidad en relación a las hembras, a expensas del largo de pasada. Esto nos permite afirmar que presentaron un rendimiento medio mayor frente al sexo opuesto, recorriendo la misma

distancia con un número menor de pasadas (ABCCM, 2025), lo que implica una exigencia metabólica menor para el caballo (Lage, 2017).

Durante los tres ritmos de marcha (corta, media y alargada), los machos presentaron una mayor regularidad respecto a las hembras, esto sugiere que los animales de este sexo presentan una capacidad mayor de mantener el patrón locomotor. Aun así, se pudo observar que tanto en los machos como en las hembras los valores de regularidad aumentaron cuando la velocidad aumentó. Esto contrasta con lo encontrado por Leleu et al. (2005), en donde la regularidad disminuyó de forma considerable cuando la velocidad fue incrementada.

Las hembras por su parte, exhibieron valores mayores en fuerza de propulsión durante los tres ritmos de marcha y de potencia mediolateral durante la marcha corta y media cuando fueron comparadas con los machos. La mayor fuerza de propulsión observada en las hembras podría explicarse porque gran parte de estos animales eran mantenidos a campo, lo que favorece a una mayor libertad del movimiento. En condiciones de libertad, los equinos se desplazan principalmente al paso, andamio que se ha relacionado con el fortalecimiento de la musculatura profunda de la columna vertebral encargada de mantener la postura y de permitir una mayor inclinación de la pelvis hacia adelante (García Liñeiro et al., 2018; Rodrigues et al., 2017; Stubbs et al., 2006).

El paso, al tratarse de un andamio que nunca pierde contacto con el suelo, es más estable que el trote, lo que estimula una activación más sostenida de la musculatura epiaxial (Clyton & Hobbs, 2017; Faber et al., 2001). La mayor rotación pélvica producto de una musculatura tóracolumbar mas fuerte permite un mayor avance de los miembros posteriores, lo que se traduce en una impulsión mayor y la posibilidad de lograr una pisada adelantada (Clyton, 2016; Oliveira et al., 2014). Además de lo mencionado, la topografía de la región caracterizada por pendientes y colinas, obliga a los equinos a subir y bajar frecuentemente, lo que contribuye al fortalecimiento de la musculatura al existir una mayor activación muscular (Wakeling et al., 2007).

Respecto a la potencia mediolateral, los valores más elevados observados en las hembras nos muestran un patrón de desplazamiento más lateral en estos animales, porque esta variable se relaciona de manera directa con los movimientos de lado a lado

(López San Román, et al., 2014). Esta condición, podría estar influenciada por la conformación o el tipo de marcha ejecutada por los animales de este sexo.

Todos estos resultados en relación al sexo, nos muestran que las diferencias observadas en las variables biomecánicas podrían influir en la elección y selección de protocolos de entrenamiento o incluso de características morfométricas en pos de mejorar el rendimiento de los animales.

Tabla 3: Resultados medios, desvió estándar y test de Student para las variables cinemáticas y cinéticas en relación al sexo (Machos=13, Hembras=35)

		MARCHA CORTA		MARCHA MEDIA		MARCHA ALARGADA	
Variables	Sexo	Media ± DS	p value	Media ± DS	p value	Media ± DS	p value
Velocidad	Machos	2.77 ± 0.35	0.44	3.45 ± 0.55	0.63	4.06 ± 0.51	0.05
	Hembras	2.84 ± 0.34		3.40 ± 0.36		3.85 ± 0.40	
Frecuencia de pasada	Machos	1.70 ± 0.13	0.77	1.84 ± 0.15	0.43	1.95 ± 0.10	0.32
	Hembras	1.69 ± 0.26		1.87 ± 0.16		1.97 ± 0.15	
Largo de pasada	Machos	1.61 ± 0.23	0.06	1.87 ± 0.26	0.35	2.09 ± 0.28	0.02*
	Hembras	1.73 ± 0.39		1.82 ± 0.20		1.96 ± 0.20	
Regularidad	Machos	219.73 ± 59.93	<0.01 **	238.10 ± 51.87	<0.01**	240.27 ± 59.07	<0.01**
	Hembras	168.25 ± 54.67		188.95 ± 49.26		190.64 ± 50.60	
Simetría	Machos	203.37 ± 44.34	0.58	211.63 ± 61.91	0.01*	200.67 ± 42.03	0.09
	Hembras	197.94 ± 50.46		181.00 ± 42.05		184.52 ± 47.73	
Desplazamiento Dorsoventral	Machos	4.63 ± 1.03	0.28	4.83 ± 1.21	0.03*	4.80 ± 1.37	0.25
	Hembras	4.37 ± 1.36		4.26 ± 1.08		4.47 ± 1.17	
Potencia Dorsoventral	Machos	11.40 ± 6.08	0.31	16.77 ± 6.41	0.30	21.90 ± 8.64	0.19
	Hembras	10.05 ± 6.12		15.22 ± 8.17		19.43 ± 8.80	
Fuerza de Propulsión	Machos	9.77 ± 4.23	<0.01**	11.82 ± 5.72	<0.01**	15.20 ± 8.29	<0.01**
	Hembras	23.02 ± 18.34		27.85 ± 20.25		34.16 ± 24.41	
Potencia Medio-lateral	Machos	3.96 ± 1.71	<0.01**	5.64 ± 2.42	<0.01**	7.89 ± 3.70	0.08
	Hembras	5.75 ± 3.44		7.41 ± 4.05		9.42 ± 4.61	
Potencia Total	Machos	29.28 ± 23.09	0.08	34.22 ± 10.21	<0.01*	44.79 ± 14.17	<0.01**
	Hembras	38.25 ± 25.02		50.49 ± 29.03		63.02 ± 33.21	

Fuente propia (2025)

Descripción: * Significativo a un nivel de 5%; ** significativo a un nivel de 1%

4.2- Tipo de marcha

Los valores obtenidos para el tipo de marcha son presentados en la tabla 4. Los animales de marcha batida se desplazaron de forma más rápida que los de marcha picada tanto en la marcha media como en la marcha alargada. Estos resultados guardan relación con las afirmaciones de Bussiman et al (2019), donde una velocidad mayor se observó en los animales con mayor rendimiento de pasada, como fue el caso de los animales de marcha batida. Esto se condice también, con lo hallado por Fonseca (2018), donde los animales de marcha batida presentaron mayor velocidad respecto a los de marcha picada, pero difiere con lo hallado por Santos (2023), en donde el autor encontró velocidades mayores para los animales de marcha picada.

En relación a la frecuencia y largo de pasada, los animales de marcha batida presentaron menor frecuencia y mayor amplitud de pasada cuando se los comparó con los de marcha picada. Esto muestra una estrategia diferente de locomoción entre los dos tipos de marcha; los animales de marcha batida aumentan la velocidad a expensas del largo de la pasada, mientras que, los de marcha picada lo hacen aumentando la frecuencia. Lo que nos permite concluir que cuanto mayor el tipo de apoyo diagonal, como sucede en la marcha batida, mayor es el rendimiento de la pasada, tal como lo hallado por Bussiman et al. (2019). Estos resultados corroboran también, lo presentado por Fonseca (2018), donde los animales de marcha batida a una velocidad de 13,22 km/h, las hembras y de 13,04 km/h, los machos, tuvieron un largo de pasada de 1,89 mts y 1,88 mts respectivamente y una frecuencia de 1,92 pasadas/seg para ambos sexos. En contraste, los animales de marcha picada presentaron una velocidad de 12,68 km/h, las hembras y 13,17 km/h, los machos con un largo de pasada de 1,78 mts y 1,82 mts respectivamente y una frecuencia de 1,96 pasadas/seg para las hembras y 2,01 para el caso de los machos. Con base en estos resultados, podemos inferir que los animales de marcha batida presentan una mayor eficiencia metabólica en comparación a los de marcha picada. En ese sentido, (Lage et al., 2017) comprobaron que caballos Mangalarga Marchador con mayor frecuencia de pasada, característica de los animales de marcha picada, exhibieron concentraciones más altas de lactato en sangre luego de sometidos a un test de esfuerzo.

En términos de variables cinéticas, los animales de marcha picada mostraron mayor potencia dorsoventral durante la marcha corta y alargada, lo que puede ser

explicado por la mayor frecuencia de pasada que los animales de marcha picada presentaron, ya que se sabe que este parámetro aumenta en relación al largo y frecuencia de pasada (Oliveira et al, 2020). También, podría estar indicando que los animales de marcha picada presentan una mayor flexibilidad de la columna vertebral en el eje dorsoventral. Estudios previos han demostrado que intervenciones terapéuticas como la osteopatía o la terapia CRET, se asocian con aumentos en los valores de la potencia dorsoventral, tanto en caballos sanos como en animales con dolor tóracolumbar (Argüelles et al., 2020; Aujol et al., 2011). En este contexto, se ha observado que los caballos que presentan dolor a nivel de la columna tóracolumbar exhiben valores basales de potencia dorsoventral inferiores a los registrados en animales sin dolor (Aujol et al., 2011). En el mismo sentido, un estudio de Oliveira et al, (2020) comprobó que equinos de equinoterapia sometidos a un protocolo de ejercicios funcionales durante un periodo de 90 días, tuvieron un aumento en los valores de DDV y DVP lo que se asocia con el fortalecimiento de la musculatura del dorso, favoreciendo una mayor flexibilidad y consecuentemente una mayor movilidad de la columna vertebral.

La mayor fuerza de propulsión observada en animales de marcha picada, sugiere que esta marcha presenta una mayor activación del tren posterior para desplazarse. Este resultado podría guardar relación con características propias de este tipo de marcha o también, podría estar relacionado con el parámetro anterior, ya que una musculatura tóracolumbar más fuerte como ya fue discutido en relación al sexo permite una mayor inclinación de la pelvis y por tanto una mayor impulsión.

Si bien en la raza Mangalarga Marchador las evaluaciones tanto morfológicas como de la marcha se realizan en diferentes categorías según se trate de marcha batida o marcha picada. Estos resultados vienen a reforzar la idea de que cada marcha posee su biomecánica particular, la cual debe ser considerada al momento de evaluar el desempeño de los animales durante las competencias.

Tabla 4: Resultados medios, desvió estándar y test de Student para las variables cinemáticas y cinéticas en relación al tipo de marcha (Marcha batida=42, Marcha picada=6)

		MARCHA CORTA		MARCHA MEDIA		MARCHA ALARGADA	
Variables	Tipo de marcha	Media ± DS	p value	Media ± DS	p value	Media ± DS	p value
Velocidad	Marcha Batida	2.84 ± 0.37	0.16	3.45 ± 0.42	<0.01**	3.94 ± 0.45	0.01*
	Marcha Picada	2.68 ± 0.39		3.19 ± 0.30		3.71 ± 0.29	
Frecuencia de pasada	Marcha Batida	1.69 ± 0.20	0.69	1.85 ± 0.15	0.05	1.95 ± 0.14	0.01**
	Marcha Picada	1.73 ± 0.40		1.94 ± 0.15		2.06 ± 0.13	
Largo de pasada	Marcha Batida	1.70 ± 0.30	0.86	1.87 ± 0.21	<0.01**	2.02 ± 0.23	<0.01**
	Marcha Picada	1.67 ± 0.60		1.65 ± 0.11		1.80 ± 0.09	
Regularidad	Marcha Batida	179.85 ± 56.38	0.45	200.48 ± 49.61	0.55	203.90 ± 47.80	0.97
	Marcha Picada	196.93 ± 82.59		213.47 ± 79.76		205.07 ± 101.02	
Simetría	Marcha Batida	196.32 ± 49.49	0.06	191.65 ± 50.45	0.18	191.00 ± 46.36	0.25
	Marcha Picada	219.13 ± 39.59		174.13 ± 44.22		175.33 ± 47.62	
Desplazamiento Dorsoventral	Marcha Batida	4.48 ± 1.31	0.35	4.43 ± 1.16	0.75	4.57 ± 1.27	0.71
	Marcha Picada	4.20 ± 1.01		4.33 ± 1.05		4.47 ± 0.99	
Potencia Dorsoventral	Marcha Batida	9.84 ± 5.86	0.03*	14.91 ± 7.11	0.06	19.14 ± 7.70	0.04*
	Marcha Picada	14.13 ± 6.57		20.30 ± 10.01		26.27 ± 12.58	
Fuerza de Propulsión	Marcha Batida	18.54 ± 17.21	0.10	22.06 ± 18.91	0.03*	26.46 ± 22.03	0.01**
	Marcha Picada	25.21 ± 13.52		32.85 ± 16.69		45.50 ± 21.87	
Potencia Medio-lateral	Marcha Batida	5.25 ± 3.28	0.91	6.96 ± 3.84	0.83	9.06 ± 4.57	0.72
	Marcha Picada	5.33 ± 2.34		6.76 ± 3.23		8.69 ± 3.45	
Potencia Total	Marcha Batida	34.45 ± 25.09	0.10	43.93 ± 25.51	0.05	54.60 ± 28.30	0.01*
	Marcha Picada	44.65 ± 20.96		59.91 ± 28.17		80.46 ± 34.41	

Fuente propia (2025)

Descripción: * Significativo a un nivel de 5%; ** significativo a un nivel de 1%

4.3- Estado de origen

Los resultados obtenidos para el estado de origen son presentados en la tabla 5. Los animales de Minas Gerais, cuna de la raza, presentaron durante los tres ritmos de marcha una amplitud mayor y una menor frecuencia de la pasada. Estas informaciones nos permitirían asegurar que los animales criados en el estado de Minas Gerais son más eficientes desde el punto de vista energético, aumentando la velocidad a expensas de la longitud y no de la frecuencia de pasada. Esto podemos afirmarlo basados en Barrey (1999), el autor, encontró que mayores frecuencias de pasada se relacionan con mayores concentraciones de lactato en sangre.

Hasta el momento, no existen otros estudios en donde se relacione al estado de origen con variables cinemáticas y cinéticas de la marcha. Pero, si existen estudios en la raza donde se correlacionan medidas morfométricas con el origen de los animales y se sabe que la morfología puede influenciar determinadas variables biomecánicas. Lage et al. (2009), observaron valores mayores en aquellos animales provenientes del estado de Minas Gerais cuando fueron comparados con animales del estado de San Pablo para las medidas lineares: largo del húmero, largo del metatarso y largo de las cuartillas torácicas y pélvicas y para las medidas angulares: ángulo escapulohumeral, metacarpo-falangeano, coxal, coxofemoral y dedo pélvico con la horizontal.

El largo del húmero está relacionado con movimientos más amplios de los miembros torácicos (Nascimento, 1999), mientras que el ángulo escápulo-humeral se sabe que a medida que aumenta disminuye el largo de la pasada (Monina, 2007). En animales Mangalarga Marchador, Fonseca (2018) encontró correlación negativa en animales de marcha picada (-0,50) y batida (-0,37) entre el ángulo escapulo-humeral y el largo de pasada.

Los valores de desplazamiento dorsoventral fueron significativamente mayores en los equinos del estado de Minas Gerais en la marcha media y aunque con una diferencia menor, también, durante la marcha alargada. Este hallazgo nos estaría mostrando que estos animales son menos confortables en comparación con los provenientes de otros estados brasileños. Esta interpretación se fundamenta en que, según el estándar racial de la ABCCMM (ABCCMM, 2025), se priorizan animales con menor desplazamiento en el eje dorsoventral, por ser considerados más “confortables” para el jinete. Sin embargo, es importante destacar, que en la muestra analizada, los

caballos de Minas Gerais coincidieron con aquellos que no estaban siendo entrenados, lo que será discutido más adelante. Esta particularidad nos sugiere que el mayor DDV observado en los animales de Minas Gerais podría estar relacionado con el nivel de entrenamiento más que con el origen geográfico en sí.

En relación a las variables cinéticas, fue la potencia dorsoventral la que mostró diferencias significativas, siendo mayor en los animales de otros estados, durante la marcha media. Esto puede explicarse posiblemente porque los animales de otros estados tuvieron mayor frecuencia de pasada frente a los de Minas Gerais y se sabe que este parámetro cinético se relaciona con los movimientos de subida y descenso de los miembros como fue ya discutido previamente (Oliveira et al, 2020).

Los resultados hallados sugieren que el estado de origen puede influir en características biomecánicas de la marcha en animales Mangalarga Marchador. Esto se justificaría por los criterios adoptados por los criadores y técnicos de la región en relación a la selección genética, características morfométricas y manejo general de los animales. Las diferencias halladas en animales de diferentes estados refuerzan la importancia de considerar el origen de los animales en posteriores estudios de biomecánica y también para futuros programas de selección genética dirigidos hacia la raza.

1 Tabla 5: Resultados medios, desvió estándar y test de Student para las variables cinemáticas y cinéticas en relación al estado de origen de los
 2 animales (Minas Gerais=38, Otros Estados=10)

Variables	Estado	MARCHA CORTA		MARCHA MEDIA		MARCHA ALARGADA	
		Media ± DS	p value	Media ± DS	p value	Media ± DS	p value
Velocidad	Minas Gerais	2.83 ± 0.38	0.69	3.43 ± 0.45	0.43	3.93 ± 0.47	0.27
	Otros	2.79 ± 0.34		3.37 ± 0.26		3.84 ± 0.30	
Frecuencia de pasada	Minas Gerais	1.63 ± 0.22	<0.01**	1.81 ± 0.13	<0.01**	1.92 ± 0.11	<0.01**
	Otros	1.92 ± 0.10		2.04 ± 0.10		2.15 ± 0.09	
Largo de pasada	Minas Gerais	1.76 ± 0.36	<0.01**	1.89 ± 0.20	<0.01**	2.05 ± 0.22	<0.01**
	Otros	1.45 ± 0.15		1.65 ± 0.12		1.78 ± 0.10	
Regularidad	Minas Gerais	178.59 ± 58.89	0.27	197.59 ± 52.38	0.12	198.99 ± 52.87	0.13
	Otros	195.12 ± 65.23		219.08 ± 59.13		222.42 ± 68.91	
Simetría	Minas Gerais	202.59 ± 51.20	0.12	193.13 ± 52.34	0.06	193.67 ± 46.88	0.03*
	Otros	187.88 ± 37.21		175.33 ± 37.03		171.54 ± 42.17	
Desplazamiento Dorsoventral	Minas Gerais	4.94 ± 1.15	0.51	4.56 ± 1.15	<0.01**	4.66 ± 1.30	0.05
	Otros	4.25 ± 1.67		3.88 ± 0.95		4.21 ± 0.88	
Potencia Dorsoventral	Minas Gerais	9.80 ± 5.97	0.05	14.80 ± 7.34	0.04*	19.07 ± 7.76	0.06
	Otros	12.33 ± 6.22		18.70 ± 8.51		23.83 ± 11.22	
Fuerza de Propulsión	Minas Gerais	18.80 ± 17.27	0.42	23.56 ± 19.61	0.96	28.63 ± 23.05	0.72
	Otros	21.77 ± 15.41		23.35 ± 16.55		30.50 ± 22.63	
Potencia Medio-lateral	Minas Gerais	5.06 ± 3.24	0.18	6.85 ± 3.98	0.59	8.86 ± 4.52	0.50
	Otros	5.99 ± 2.80		7.23 ± 2.83		9.52 ± 4.09	
Potencia Total	Minas Gerais	34.57 ± 25.18	0.29	45.20 ± 26.48	0.50	56.50 ± 29.38	0.34
	Otros	40.38 ± 22.99		49.29 ± 26.07		63.85 ± 33.66	

Fuente propia (2025)

Descripción: * Significativo a un nivel de 5%; ** significativo a un nivel de 1%

4.4- Herrado

Los resultados obtenidos en relación a la presencia o no de herraduras son presentados en la tabla 6. Estudios comparativos entre caballos descalzos y con herraduras evaluando parámetros cinemáticos y cinéticos, son aún escasos en la literatura. Los existentes hasta el momento, se han centrado principalmente en el análisis de variables temporales de la pasada como el *breakover point*, dado que este momento específico puede verse influenciado por la presencia de herraduras (Weishaupt et al, 2013). No existieron diferencias para la velocidad entre los animales herrados y no herrados durante la ejecución de marcha corta y media, pero si durante la marcha alargada. Una posible explicación para esto es que los caballos con herraduras colocadas son, en su mayoría, aquellos que se encuentran entrenando y participando de eventos, lo que podría estar influenciando en su capacidad de alcanzar mayores velocidades.

Los animales herrados presentaron una frecuencia de pasada significativamente mayor durante los tres ritmos de marcha (0.02 para marcha corta y $p < 0.01$ para marcha media y alargada). La amplitud de pasada en cambio, fue significativamente mayor durante la marcha corta en los caballos que no tenían herraduras colocadas. Esto podría relacionarse con el diseño y por tanto el peso de la herradura; herraduras más pesadas pueden requerir que el animal adapte la frecuencia de la pasada para mantener el equilibrio. Por otra parte es importante considerar que la presencia de herraduras provoca modificaciones en la distribución del peso, pero por sobre todo modifica la dinámica del casco. En este sentido, un estudio de Cánepa et al (2024), mostró que el desvasado y el herrado afectan la dinámica del pie e influyen en la aceleración y la velocidad angular del mismo durante el desplazamiento.

La regularidad fue mayor durante los tres ritmos en los animales que poseían herraduras, esto sugiere que la presencia de las mismas aumenta la estabilidad del casco y por tanto permite mantener un patrón de marcha más homogéneo durante todo el transcurso de evaluación. Aunque no existen estudios donde evalúen particularmente a la regularidad basados en la presencia de herraduras, Caure et al. (2024) evaluaron siete condiciones diferentes de herrado sobre la cinemática cervical y del dorso del animal, al paso y al trote, concluyendo que las diversas condiciones de herrado impactan sobre la posición del cuello y del dorso en equinos, lo que se sabe que guarda estrecha relación con la regularidad y simetría de los andares.

En el plano cinético, los animales sin herraduras mostraron valores mayores para la fuerza de propulsión y potencia mediolateral durante los tres ritmos de marcha. Como se ha mencionado anteriormente, valores más elevados de potencia mediolateral están relacionados a desplazamientos más laterales, lo que en este caso puede guardar relación con una estabilidad menor en el contacto con el suelo, al no poseer herraduras.

La mayor fuerza de propulsión en animales descalzos podría explicarse por el hecho de que son aquellos que permanecen a campo. Esta observación es coherente con lo discutido previamente en relación al sexo, dado que las hembras (que representan la mayoría de los animales que son mantenidos en condiciones de pastoreo) también exhibieron mayor fuerza de impulsión. Esto posiblemente se deba a la capacidad de estos animales de desplazarse de manera natural, principalmente al paso, lo que se sabe que contribuye al fortalecimiento de la musculatura postural involucrada en una transferencia más eficiente de la fuerza generada por los miembros posteriores al resto del cuerpo (Oliveira et al., 2014).

También, caballos sin herraduras a máximas velocidades han mostrado que la aceleración de los cascos aumenta más rápido en comparación con aquellos herrados, esto muestra que estos animales presentan una mayor impulsión aunque esto también podría aumentar el riesgo de lesiones por generar mayor estrés en las estructuras del interior del casco (Horan et al., 2022).

1 Tabla 6: Resultados medios, desvío estándar y test de Student para las variables cinemáticas y cinéticas en relación al herrado (SI=22, NO=26)

		MARCHA CORTA		MARCHA MEDIA		MARCHA ALARGADA	
Variables	Herrado	Media ± DS	p value	Media ± DS	p value	Media ± DS	p value
Velocidad	NO	2.86 ± 0.38	0.21	3.38 ± 0.43	0.40	3.81 ± 0.42	0.02*
	SI	2.77 ± 0.36		3.45 ± 0.40		4.02 ± 0.45	
Frecuencia de pasada	NO	1.64 ± 0.21	0.02*	1.81 ± 0.12	<0.01**	1.91 ± 0.10	<0.01**
	SI	1.75 ± 0.25		1.92 ± 0.17		2.04 ± 0.15	
Largo de pasada	NO	1.77 ± 0.32	0.02*	1.87 ± 0.21	0.10	2.00 ± 0.19	0.683
	SI	1.61 ± 0.38		1.80 ± 0.22		1.98 ± 0.27	
Regularidad	NO	169.18 ± 54.15	0.01*	185.78 ± 48.20	<0.01**	185.02 ± 48.25	<0.01*
	SI	197.43 ± 64.23		221.59 ± 55.24		226.45 ± 59.21	
Simetría	NO	204.02 ± 53.28	0.27	187.57 ± 43.11	0.70	188.15 ± 47.98	0.86
	SI	193.98 ± 42.68		191.29 ± 55.12		189.75 ± 45.44	
Desplazamiento Dorsoventral	NO	4.43 ± 1.14	0.94	4.60 ± 0.99	0.07	4.68 ± 1.23	0.25
	SI	4.45 ± 1.43		4.20 ± 1.27		4.41 ± 1.24	
Potencia Dorsoventral	NO	10.30 ± 6.94	0.83	15.42 ± 8.56	0.74	19.25 ± 7.78	0.28
	SI	10.55 ± 5.02		15.90 ± 6.72		21.10 ± 9.83	
Fuerza de Propulsión	NO	22.32 ± 19.66	0.04*	27.97 ± 21.88	<0.01**	33.82 ± 25.72	0.01*
	SI	16.05 ± 12.15		18.28 ± 13.07		23.40 ± 17.61	
Potencia Medio-lateral	NO	5.90 ± 3.56	0.02*	7.64 ± 4.37	0.02*	9.57 ± 4.92	0.14
	SI	4.51 ± 2.45		6.10 ± 2.68		8.35 ± 3.68	
Potencia Total	NO	37.77 ± 25.71	0.37	51.03 ± 29.78	0.03*	62.55 ± 32.79	0.09
	SI	33.55 ± 23.59		40.28 ± 20.38		52.85 ± 26.56	

Fuente propia (2025)

2

3

Descripción: * Significativo a un nivel de 5%; ** significativo a un nivel de 1%

4.5- Entrenamiento y participación en eventos

Los resultados para las diferentes variables en relación al entrenamiento son presentados en la tabla 7 mientras que aquellos relacionados con la participación en eventos son presentados en la tabla 8. Los animales bajo régimen de entrenamiento y con historial de participación en eventos, mostraron durante los tres ritmos de marcha evaluados, mayor velocidad, frecuencia de pasada y regularidad. Esta concordancia entre el entrenamiento y la participación en eventos era esperable, dado que animales que se encuentran participando en eventos están siendo entrenados.

Los valores mayores para la frecuencia de pasada se condicen con lo observado por Leleu et al (2005) en animales Trotadores Franceses en donde a las mismas velocidades, los animales con rendimiento de elite presentaban una frecuencia de pasada mayor cuando fueron comparados con los animales de rendimiento medio. Se ha visto que los valores de largo de pasada y la capacidad de lograr una pasada adelantada pueden aumentar cuando los animales son sometidos a programas de ejercicios funcionales con una frecuencia de tres veces por semana, según Oliveira et al. (2015).

En relación a la regularidad, que animales entrenados o que participaron en eventos tengan valores más elevados, puede estar relacionado al fortalecimiento muscular y al mayor control neurológico que induce el ejercicio. El fortalecimiento de los músculos estabilizadores de la columna vertebral, como los multífidos, favorece al aumento de la regularidad y la simetría de la pasada, aspectos fundamentales para la calidad del movimiento y la prevención de asimetrías funcionales que pueden derivar posteriormente en compensaciones o lesiones. En este sentido, Oliveira et al (2020), observaron que caballos de equinoterapia sometidos a un protocolo de ejercicios funcionales durante 90 días mostraron una elevación de los valores de regularidad y simetría, incluso en aquellos que eran montados por un jinete con un peso mayor (25% del peso).

Los animales no entrenados y sin historial de participación en eventos evidenciaron valores mayores para el desplazamiento dorsoventral (DDV), lo que puede mostrar una capacidad menor de mantener la estabilidad del tronco durante el desplazamiento. Asimismo, el mayor DDV observado en los animales sin entrenamiento podría guardar relación con su menor velocidad, ya que se ha demostrado que un aumento de la velocidad tiende a disminuir el DDV. Alineado con esto, Pfau et

al. (2006) observaron en equinos de carrera que el aumento de la velocidad provocó una menor desplazamiento del cuerpo en el eje dorsoventral.

Aun así, los valores de DDV tanto en animales entrenados como no, fueron menores comparados con animales de trote. En un estudio realizado por Barrey et al (2002), los autores encontraron que el DDV fue para razas alemanas como el Hannoveriano, Oldenburger y Westfaliano de 13 cm, en animales Silla Francés de 10 cm y en animales de raza Pura Sangre Español de 10 cm. Esta diferencia en los valores del DDV puede estar relacionada con la marcha, que por ser un andar en donde el animal no pierde contacto con el suelo, el desplazamiento en el eje dorsoventral tiende a ser menor. Los valores menores de DDV hallados en el presente estudio podrían justificar la comodidad al ser montados de los animales Mangalarga Marchador. La comodidad es uno de los requisitos considerados esenciales tanto para obtener el registro definitivo como para ser premiados durante las competiciones en eventos oficiales (ABCCMM, 2025).

En relación a las variables cinéticas, animales sin entrenar y sin participación en eventos tuvieron valores más elevados de fuerza de propulsión. Si bien esta diferencia fue estadísticamente significativa durante la marcha media y alargada, es también posible percibir esa diferencia durante la marcha corta. Estos hallazgos refuerzan la interpretación de que los caballos en condiciones de libertad se desplazan principalmente al paso lo que implica una mayor activación de la musculatura relacionada a la columna vertebral, lo que en consecuencia permite una transmisión más eficiente del movimiento generado por los miembros posteriores (Rodrigues et al., 2017; Oliveira et al., 2014).

Además, en régimen de libertad, debido a la topografía característica de la región, los animales suben y bajan colinas de manera frecuente lo que contribuye al fortalecimiento de la columna. Este tipo de estímulo no ocurre en los animales bajo régimen de entrenamiento cuyo trabajo se realiza predominantemente sobre superficies planas y en el ritmo de marcha. Incluso cuando se recurre al uso de la guía con el animal sin montar, suele colocarse el énfasis en el desarrollo de la marcha y no al paso, dejando de lado recursos que favorecen el fortalecimiento del dorso, como la utilización de riendas accesorias (Oliveira et al., 2014; Walker et al., 2013) o la incorporación de ejercicios funcionales (Oliveira et al., 2020; Oliveira et al., 2015).

1 Tabla 7: Resultados medios, desvió estándar y test de Student para las variables cinemáticas y cinéticas en relación al entrenamiento (SI=18,
2 NO=30)

Variables	Entrenamiento	MARCHA CORTA		MARCHA MEDIA		MARCHA ALARGADA	
		Media $\pm$ DS	p value	Media $\pm$ DS	p value	Media $\pm$ DS	p value
Velocidad	NO	2.75 $\pm$ 0.32	0.03*	3.30 $\pm$ 0.38	<0.01**	3.79 $\pm$ 0.39	<0.01**
	SI	2.92 $\pm$ 0.43		3.61 $\pm$ 0.40		4.10 $\pm$ 0.46	
Frecuencia de pasada	NO	1.61 $\pm$ 0.22	<0.01**	1.79 $\pm$ 0.13	<0.01**	1.89 $\pm$ 0.09	<0.01**
	SI	1.83 $\pm$ 0.19		1.98 $\pm$ 0.13		2.09 $\pm$ 0.13	
Largo de pasada	NO	1.75 $\pm$ 0.37	0.04*	1.84 $\pm$ 0.16	0.99	2.00 $\pm$ 0.19	0.63
	SI	1.61 $\pm$ 0.31		1.84 $\pm$ 0.28		1.98 $\pm$ 0.29	
Regularidad	NO	167.87 $\pm$ 55.51	<0.01**	186.42 $\pm$ 49.52	<0.01**	188.81 $\pm$ 51.23	<0.01**
	SI	205.64 $\pm$ 61.38		228.21 $\pm$ 52.42		229.10 $\pm$ 58.25	
Simetría	NO	198.09 $\pm$ 51.76	0.71	186.06 $\pm$ 43.31	0.42	189.68 $\pm$ 47.51	0.82
	SI	201.57 $\pm$ 43.86		194.57 $\pm$ 59.20		187.57 $\pm$ 45.67	
Desplazamiento Dorsoventral	NO	4.49 $\pm$ 1.09	0.62	4.65 $\pm$ 1.12	<0.01**	4.83 $\pm$ 1.35	<0.01**
	SI	4.36 $\pm$ 1.54		4.02 $\pm$ 1.07		4.12 $\pm$ 0.86	
Potencia Dorsoventral	NO	10.10 $\pm$ 6.66	0.46	15.25 $\pm$ 8.07	0.49	20.18 $\pm$ 8.19	0.91
	SI	10.93 $\pm$ 5.10		16.28 $\pm$ 7.21		19.97 $\pm$ 9.79	
Fuerza de Propulsión	NO	20.94 $\pm$ 18.69	0.19	26.43 $\pm$ 20.88	0.02*	31.88 $\pm$ 24.52	0.08
	SI	16.97 $\pm$ 13.17		18.74 $\pm$ 14.13		24.35 $\pm$ 19.23	
Potencia Medio-lateral	NO	5.55 $\pm$ 3.46	0.19	7.25 $\pm$ 4.20	0.21	9.24 $\pm$ 4.65	0.46
	SI	4.79 $\pm$ 2.57		6.41 $\pm$ 2.84		8.62 $\pm$ 4.04	
Potencia Total	NO	35.94 $\pm$ 24.55	0.95	48.92 $\pm$ 28.39	0.12	61.22 $\pm$ 30.91	0.16
	SI	35.64 $\pm$ 25.34		41.43 $\pm$ 22.07		52.95 $\pm$ 29.03	

Fuente propia (2025)

3

4 Descripción: * Significativo a un nivel de 5%; ** significativo a un nivel de 1%

5 Tabla 8: Resultados medios, desvío estándar y test de Student para las variables cinemáticas y cinéticas en relación a la participación en eventos
6 oficiales (SI=35, NO=18)

Variables	Participación en eventos	MARCHA CORTA		MARCHA MEDIA		MARCHA ALARGADA	
		Media $\pm$ DS	p value	Media $\pm$ DS	p value	Media $\pm$ DS	p value
Velocidad	NO	2.73 $\pm$ 0.27	0.03*	3.22 $\pm$ 0.29	<0.01**	3.65 $\pm$ 0.25	<0.01**
	SI	2.88 $\pm$ 0.42		3.55 $\pm$ 0.44		4.08 $\pm$ 0.46	
Frecuencia de pasada	NO	1.58 $\pm$ 0.25	<0.01**	1.77 $\pm$ 0.13	<0.01**	1.87 $\pm$ 0.09	<0.01**
	SI	1.77 $\pm$ 0.18		1.92 $\pm$ 0.14		2.03 $\pm$ 0.13	
Largo de pasada	NO	1.79 $\pm$ 0.44	0.04*	1.82 $\pm$ 0.14	0.36	1.96 $\pm$ 0.13	0.12
	SI	1.63 $\pm$ 0.27		1.85 $\pm$ 0.25		2.02 $\pm$ 0.28	
Regularidad	NO	161.31 $\pm$ 50.96	<0.01**	177.69 $\pm$ 47.24	<0.01**	180.53 $\pm$ 45.24	<0.01**
	SI	196.38 $\pm$ 62.52		218.97 $\pm$ 52.37		220.10 $\pm$ 59.23	
Simetría	NO	201.49 $\pm$ 54.40	0.72	185.84 $\pm$ 46.34	0.54	190.91 $\pm$ 52.70	0.72
	SI	197.98 $\pm$ 44.86		191.62 $\pm$ 52.30		187.50 $\pm$ 42.36	
Desplazamiento Dorsoventral	NO	4.60 $\pm$ 1.03	0.25	4.82 $\pm$ 0.89	<0.01**	4.98 $\pm$ 1.25	<0.01**
	SI	4.33 $\pm$ 1.42		4.14 $\pm$ 1.21		4.27 $\pm$ 1.44	
Potencia Dorsoventral	NO	9.67 $\pm$ 6.24	0.30	14.83 $\pm$ 8.49	0.38	18.76 $\pm$ 7.25	0.16
	SI	10.92 $\pm$ 6.02		16.20 $\pm$ 7.20		21.02 $\pm$ 9.65	
Fuerza de Propulsión	NO	22.70 $\pm$ 20.06	0.12	29.92 $\pm$ 22.22	<0.01**	34.76 $\pm$ 24.69	0.03*
	SI	17.22 $\pm$ 14.00		19.15 $\pm$ 14.96		25.13 $\pm$ 20.84	
Potencia Medio-lateral	NO	5.89 $\pm$ 3.93	0.11	7.69 $\pm$ 4.84	0.11	9.51 $\pm$ 5.25	0.36
	SI	4.83 $\pm$ 2.45		6.41 $\pm$ 2.71		8.67 $\pm$ 3.75	
Potencia Total	NO	37.26 $\pm$ 26.61	0.63	52.44 $\pm$ 31.34	0.05	63.04 $\pm$ 32.82	0.17
	SI	34.86 $\pm$ 23.54		41.76 $\pm$ 21.47		54.72 $\pm$ 28.30	

Fuente propia (2025)

Descripción: *Significativo a un nivel de 5%; ** significativo a un nivel de 1%

4.6- Tipo de cría

Los resultados obtenidos para este factor son presentados en la tabla 9. No fueron observadas diferencias significativas en ninguno de los tres ritmos para las variables velocidad, regularidad, simetría, desplazamiento dorsoventral y potencia mediolateral.

Se observaron diferencias significativas durante los tres ritmos ejecutados para la frecuencia de pasada, los animales bajo régimen de confinamiento presentaron valores mayores en comparación con aquellos de régimen semiconfinado y a pasto. Esto puede explicarse, porque posiblemente los animales confinados, son aquellos que se encontraban siendo entrenados y participando activamente de eventos, lo que podría estar asociado con un mayor desempeño, así como fue señalado por Leleu et al (2005). También, es probable que los animales confinados desarrollen como adaptación al entorno restringido un patrón de desplazamiento de mayor velocidad pero con menor amplitud.

Para el largo de la pasada existieron diferencias significativas en los ritmos marcha corta y marcha media, aquí fueron los animales semiconfinados los que mostraron los valores más altos, mientras que los más bajos fueron mostrados por los animales bajo régimen de confinamiento. Este resultado guarda relación con la frecuencia de pasada, ya que existe una relación inversa entre ambas variables, cuando aumenta la frecuencia, el largo de pasada tiende a disminuir.

Los animales confinados presentaron mayor potencia dorsoventral durante los tres ritmos de marcha, especialmente durante la ejecución de la marcha alargada. Este hallazgo podría guardar relación con la frecuencia de pasada como ya ha sido discutido en apartados anteriores. En cuanto a la fuerza de propulsión, fueron los animales que permanecían a campo los que presentaron valores más elevados. Este resultado refuerza lo discutido en apartados anteriores respecto a la posibilidad de los animales de desplazarse de manera más natural, lo que promueve la activación continua de la musculatura asociada a la columna vertebral. De este modo, se configura un patrón de locomoción más eficiente con mayor fuerza de propulsión, lo que pone en evidencia el impacto del desplazamiento al paso sobre la biomecánica de la marcha.

Tabla 9: Medias, desvió estándar y test de Kruskal-Wallis para las variables cinemáticas y cinéticas en relación al tipo de cría (Pasto=22, Semiconfinado=16, Confinado=10)

Variables	Tipo de Cría	MARCHA CORTA		MARCHA MEDIA		MARCHA ALARGADA	
		Mediana ± IQR	p value	Mediana ± IQR	p value	Mediana ± IQR	p value
Velocidad	Pasto	2.71 ± 0.31	0.08	3.37 ± 0.35	0.79	3.74 ± 0.48	0.19
	Semiconfinado	2.99 ± 0.46		3.34 ± 0.53		3.84 ± 1.00	
	Confinado	2.75 ± 0.30		3.36 ± 0.33		3.94 ± 0.33	
Frecuencia de pasada	Pasto	1.66 ± 0.19	<0.01**	1.86 ± 0.24	<0.01**	1.90 ± 0.24	<0.01**
	Semiconfinado	1.66 ± 0.28		1.81 ± 0.29		1.93 ± 0.20	
	Confinado	1.86 ± 0.14		2.00 ± 0.21		2.05 ± 0.26	
Largo de pasada	Pasto	1.66 ± 0.22	<0.01**	1.82 ± 0.14	<0.01**	1.94 ± 0.23	0.07
	Semiconfinado	1.82 ± 0.37		1.91 ± 0.27		2.03 ± 0.33	
	Confinado	1.53 ± 0.23		1.68 ± 0.19		1.89 ± 0.17	
Regularidad	Pasto	176 ± 53.31	0.99	204.0 ± 86.5	0.76	205.0 ± 56.25	0.54
	Semiconfinado	189 ± 70.82		215.0 ± 91.5		210.5 ± 62.43	
	Confinado	179 ± 60.23		214.5 ± 59.5		208.5 ± 50.74	
Simetría	Pasto	189 ± 50.34	0.50	182.0 ± 71.0	0.75	1.94 ± 0.23	0.50
	Semiconfinado	207 ± 50.10		188.5 ± 63.0		2.03 ± 0.33	
	Confinado	203 ± 43.95		182.5 ± 35.5		1.89 ± 0.17	
Desplazamiento Dorsoventral	Pasto	4.00 ± 5.5	0.67	4.0 ± 2.0	0.29	4.00 ± 10.15	0.91
	Semiconfinado	4.00 ± 1.0		5.0 ± 1.0		4.00 ± 6.88	
	Confinado	4.00 ± 1.0		4.0 ± 1.0		4.00 ± 9.50	
Potencia Dorsoventral	Pasto	8.6 ± 7.90	0.03*	12.00 ± 8.55	<0.01**	16.40 ± 10.15	<0.01**
	Semiconfinado	8.9 ± 3.05		12.2 ± 7.20		16.50 ± 6.88	
	Confinado	11.8 ± 7.48		18.9 ± 7.63		21.05 ± 9.50	
Fuerza de Propulsión	Pasto	19.50 ± 20.50	<0.01**	23.6 ± 25.90	<0.01**	28.10 ± 32.75	<0.01**
	Semiconfinado	11.45 ± 7.58		14.3 ± 10.00		17.50 ± 15.23	
	Confinado	10.85 ± 8.23		13.8 ± 10.55		20.35 ± 13.40	
Potencia Medio-lateral	Pasto	4.8 ± 5.40	0.07	6.80 ± 7.95	0.08	8.60 ± 7.15	0.35
	Semiconfinado	3.6 ± 1.63		5.30 ± 2.63		7.60 ± 2.98	
	Confinado	5.0 ± 3.00		7.15 ± 3.80		8.15 ± 4.60	
Potencia Total	Pasto	33.30 ± 25.05	<0.01**	44.70 ± 39.60	<0.01**	60.10 ± 47.25	<0.01**

	Semiconfinado	23.15 ± 6.48		33.85 ± 9.75		44.30 ± 14.65	
	Confinado	27.15 ± 30.58		38.50 ± 17.05		48.05 ± 23.93	

Fuente propia (2025)

Descripción: * Significativo a un nivel de 5%; ** significativo a un nivel de 1%

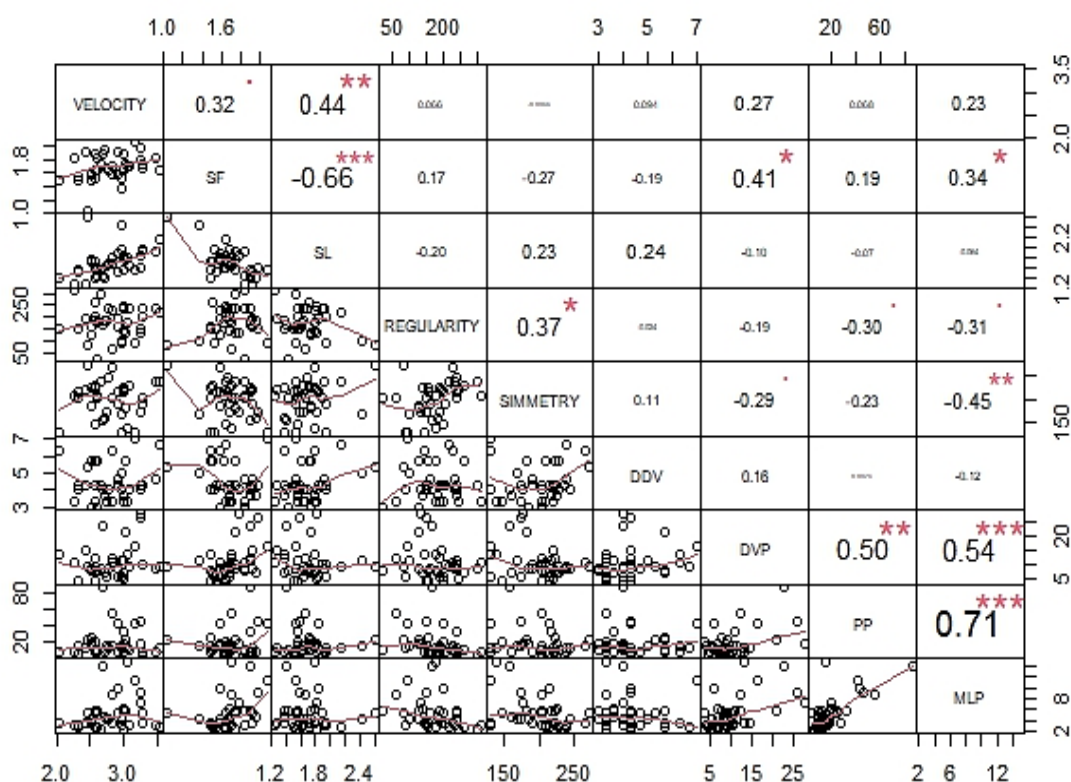
4.7- Correlaciones entre variables

Las correlaciones entre las variables cinemáticas y cinéticas pueden ser observadas en la figura 17 para el caso de la marcha corta, en la figura 18 para la marcha media y en la figura 19 para la marcha alargada.

En la marcha corta la correlación existente entre el largo y frecuencia de la pasada se corresponde con estudios anteriores sobre locomoción equina. El aumento de una de estas variables suele ir en detrimento de la otra para mantener la eficiencia energética del desplazamiento (Barrey, 1999; Drevemo et al, 1980). Estas dos variables son consideradas claves en la evaluación del rendimiento de caballos atletas.

Schrurs et al. (2022), analizaron la frecuencia y largo de pasada en caballos Pura Sangre corredores de diferentes distancias y concluyeron que estas variables pueden predecir de forma temprana la aptitud de los animales para los diferentes tipos de carrera. Estos resultados pueden contribuir positivamente auxiliando a los entrenadores a seleccionar desde las primeras etapas el protocolo de entrenamiento que mejor se adapta al animal, lo que contribuye al bienestar y a una campaña deportiva más larga.

Figura 17: Matriz de correlación entre las variables cinemáticas y cinéticas en la marcha corta.



Fuente propia (2025)

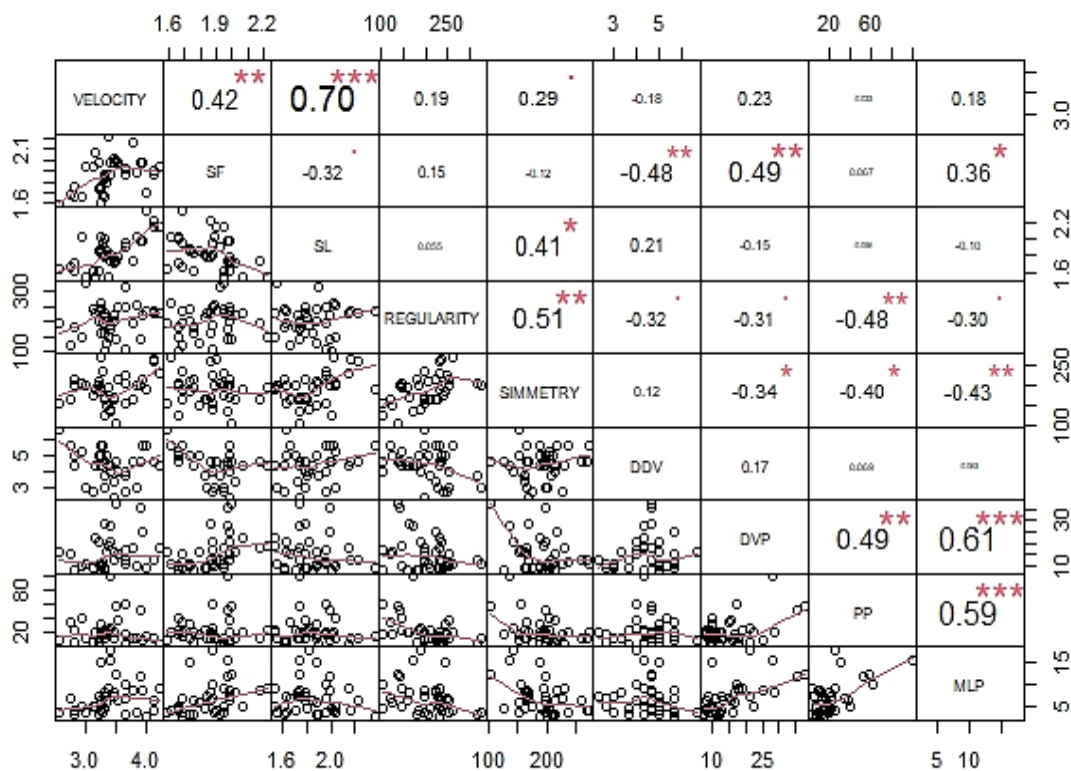
Descripción: SF: Frecuencia de pasada, SL: Largo de pasada, DDV: Desplazamiento Dorsoventral, DVP: Potencia Dorsoventral, PP: Fuerza de propulsión, MLP: Potencia Medio-Lateral. Los asteriscos indican la significancia estadística (* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$).

Durante la marcha media y alargada fue observada asociación negativa entre la frecuencia de pasada y el desplazamiento dorsoventral. Esto muestra que los animales al aumentar la frecuencia de la pasada disminuyeron el desplazamiento del esternón en el eje dorsoventral. Esto sería una característica positiva para una raza como el Mangalarga Marchador donde se prioriza la selección de animales con mayor comodidad al producir suaves reacciones, que pueden ser explicadas por ese menor desplazamiento del esternón. Aunque por otro lado, se prioriza también animales con mayor rendimiento, es decir, animales que recorran distancias con el menor número de pasos posibles (ABCCMM, 2025). Por lo tanto, estos resultados evidencian cierta contradicción en los criterios de selección establecidos actualmente por la ABCCMM.

Por otra parte, la selección de animales con menor DDV contrasta con lo valorado en otras disciplinas ecuestres, donde un DDV mayor es interpretado como un

indicador de flexibilidad y por tanto funcionalidad de la columna vertebral, lo que se refleja una mayor capacidad de movimiento incluso bajo la influencia del jinete (Oliveira et al., 2020). Esta divergencia en la selección plantea la necesidad de reflexionar sobre el impacto de los parámetros que son priorizados y valorizados en la raza Mangalarga Marchador y su relación con la funcionalidad biomecánica del dorso. En este sentido, Biau y Barrey (2004), encontraron en animales jóvenes de doma que aquellos que poseían valores más elevados de DDV y potencia de propulsión durante el paso y el trote obtenían mejores puntuaciones en las pruebas de rendimiento.

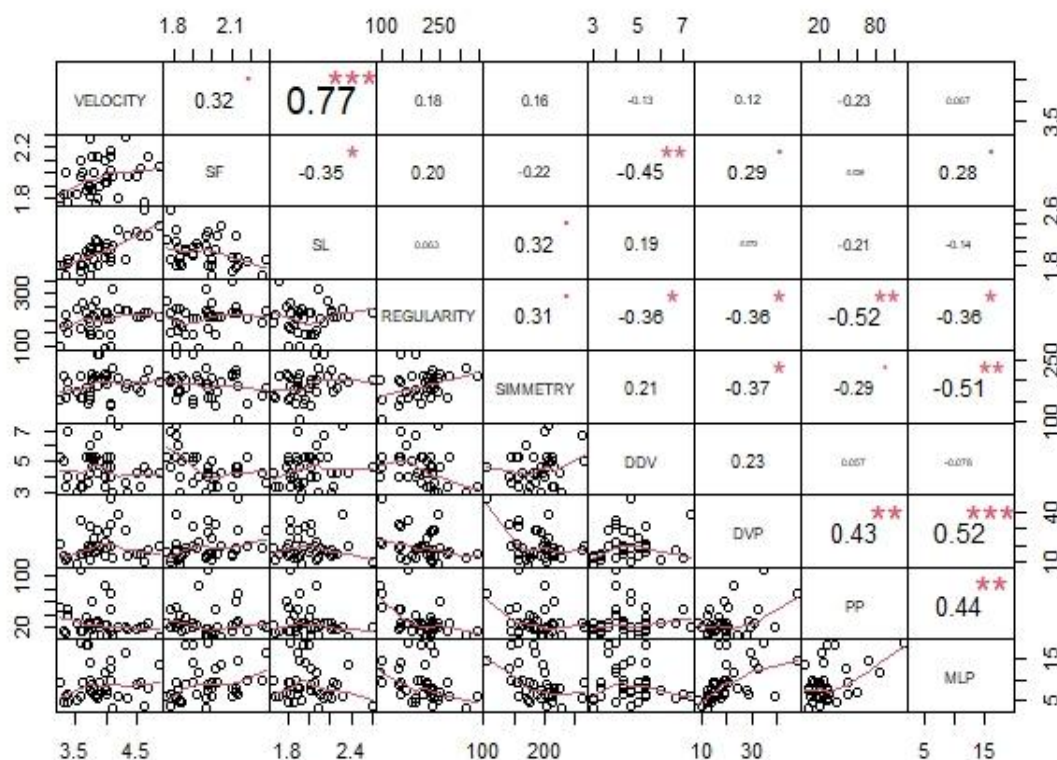
Figura 18: Matriz de correlación entre las variables cinemáticas y cinéticas en la marcha media.



Fuente propia (2025)

Descripción: SF: Frecuencia de pasada, SL: Largo de pasada, DDV: Desplazamiento Dorsoventral, DVP: Potencia Dorsoventral, PP: Fuerza de propulsión, MLP: Potencia Medio-Lateral. Los asteriscos indican la significancia estadística (* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$).

Figura 19: Matriz de correlación entre las variables cinemáticas y cinéticas en la marcha alargada.



Fuente propia (2025)

Descripción: SF: Frecuencia de pasada, SL: Largo de pasada, DDV: Desplazamiento Dorsoventral, DVP: Potencia Dorsoventral, PP: Fuerza de propulsión, MLP: Potencia Medio-Lateral. Los asteriscos indican la significancia estadística (* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$).

Durante los tres ritmos de marcha, la velocidad mostró correlación significativa con el largo de la pasada. Este resultado, coincide con Barrey (1999) quien afirmó que el largo de la pasada aumenta de forma lineal con la velocidad del andar. Esta asociación muestra que los animales marchadores aumentan la velocidad a expensas del aumento de la longitud y no de la frecuencia de la pasada, lo que refleja un mayor rendimiento, según lo descrito dentro del estándar racial del Mangalarga Marchador (ABCCMM, 2025). Este hallazgo corrobora parcialmente lo observado por Barrey et al. (2001) en donde el aumento de la velocidad en caballos de carrera fue explicada principalmente por el aumento de la amplitud y en menor medida por la frecuencia de la pasada. Sin embargo, los corredores con mejor rendimiento fueron aquellos que presentaron una mayor frecuencia de pasada, evidenciando correlación negativa entre la longitud de pasada y el desempeño. En la misma línea, Schrurs et al. (2022) mostraron que, en caballos de carrera, principalmente en sprinters, el aumento de la

velocidad ocurre a través del incremento y el mantenimiento de una alta frecuencia de pasada durante la competencia, más que por el aumento de la amplitud.

En cuanto a la simetría y regularidad, fue observada correlación negativa de estas variables cinemáticas con respecto a las variables cinéticas durante los tres ritmos de marcha evaluados. Esto podría explicarse porque mayores fuerzas en los distintos ejes pueden alterar la simetría y regularidad del movimiento. En un estudio realizado por Clayton & Hobbs (2017), los autores discutieron que un aumento en la fuerza de propulsión puede asociarse con mayores oscilaciones en el eje mediolateral, lo que puede influenciar en la simetría y regularidad del andar.

Durante los tres ritmos analizados también, fue identificada asociación positiva entre las tres variables cinéticas, esto podría reflejar patrones comunes de la marcha. La asociación entre la fuerza de propulsión y la potencia dorsoventral sugiere que a medida que aumenta la potencia propulsiva también aumenta la fuerza ejercida en el eje dorsoventral. Esta relación, podría ser explicada por una mayor flexibilidad de la columna, como lo discutido previamente, una columna más flexible producto de una musculatura asociada fortalecida, incrementa tanto la fuerza de propulsión como la potencia dorsoventral.

La asociación entre la potencia dorsoventral y la fuerza de propulsión con la potencia mediolateral, podría indicar que un mayor esfuerzo en los ejes dorsoventral y longitudinal incrementa la potencia mediolateral durante la locomoción. Esta última, está relacionada con un movimiento más lateral del cuerpo, producido por los movimientos de lado a lado (López San Román et al., 2014).

En conjunto, las diferentes correlaciones observadas entre las variables tanto cinemáticas como cinéticas durante los tres ritmos evaluados representan un punto de partida fundamental para comprender de manera más profunda y detallada el patrón locomotor de equinos marchadores, lo que puede contribuir para futuras investigaciones orientadas a la selección y el entrenamiento de animales con mejor rendimiento.

5-CONSIDERACIONES FINALES

Diversos factores ligados directamente al animal o aquellos relacionados con el ambiente condicionan las diferentes variables biomecánicas bajo estudio. Si bien fueron observadas diferencias en gran parte de las variables analizadas, la frecuencia y el largo de pasada fueron las que mostraron diferencias significativas, independientemente del factor considerado. Sumado a esto, fueron encontrados resultados interesantes en cuanto a las variables cinéticas que no han sido muy exploradas hasta el momento en esta raza, aportando información novedosa sobre el patrón locomotor de la marcha.

Aun cuando el uso de acelerómetros es un método ya validado y aceptado por la comunidad científica en términos de evaluación de andamientos en equinos, no ha sido un método adoptado con frecuencia en Brasil, especialmente en la raza Mangalarga Marchador. Dada la escasez de reportes que utilicen esta tecnología para la evaluación de la marcha en esta raza, los hallazgos presentados por este estudio constituyen un aporte inicial para la comprensión del comportamiento de variables cinemáticas y cinéticas en los tres ritmos evaluados durante concursos de marcha: marcha corta, marcha media y marcha alargada.

El presente trabajo marca un inicio en el estudio de la marcha con mayor precisión y objetividad, permitiendo identificar correlaciones significativas entre las variables que fueron analizadas y además contribuyendo al entendimiento del patrón biomecánico característico de la marcha. Se espera que los resultados hallados aporten informaciones valiosas que puedan auxiliar tanto a la comunidad científica como a los criadores y a la asociación que nuclea a la raza en la selección de animales cada vez más eficientes para la marcha pero, principalmente, con mayor bienestar. Son necesarias futuras investigaciones que puedan profundizar en estos aspectos, evaluando la respuesta a protocolos de entrenamiento y rehabilitación específicos y también analizando diversos factores que puedan influenciar las diferentes variables biomecánicas en la marcha.

6-CONCLUSIONES

Este estudio permitió caracterizar variables cinemáticas y cinéticas de la marcha en equinos Mangalarga Marchador, donde la frecuencia y el largo de pasada fueron los parámetros más consistentes. Sin embargo, la fuerza de propulsión destacó dentro de las

variables cinéticas, mostrando diferencias en varios de los factores analizados, aspecto poco explorado hasta el momento en esta raza. Este resultado resalta la importancia de esta variable en la evaluación del rendimiento y eficiencia locomotora, aportando información novedosa sobre la biomecánica de la marcha. Estos hallazgos pueden resultar útiles en la selección de animales más eficientes y con mayor bienestar pero constituyen además, una base para futuros estudios relacionados al entrenamiento, rehabilitación o factores que pueden influir sobre las variables biomecánicas de la marcha.

REFERENCIAS

- ABOURACHID, A. **A new way of analysing symmetrical and asymmetrical gaits in quadrupeds**. ELSEVIER. C. R. Biologies 326 pág.625–630. 2003. [doi:10.1016/s1631-0691\(03\)00170-7](https://doi.org/10.1016/s1631-0691(03)00170-7)
- ARGÜELLES, D.; *et al.* **Accelerometric Changes before and after Capacitive Resistive Electric Transfer Therapy in Horses with Thoracolumbar Pain Compared to a SHAM Procedure**. Animals 10, 2305. 2020. [doi:10.3390/ani10122305](https://doi.org/10.3390/ani10122305)
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS CRIADORES DO CAVALO MANGALARGA MARCHADOR (ABCCMM). **A raça Mangalarga Marchador**. Disponible en <http://www.abccmm.org.br/principal.aspx>. Acceso el 5 de mayo de 2025
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS CRIADORES DO CAVALO MANGALARGA MARCHADOR (ABCCMM). **O mapa da Equideocultura no Brasil**. Revista Oficial da ABCCMM, ano 33, n. 92D, p. 22-30, mar. 2023. Disponible em: <https://www.abccmm.org.br/revista>. Acceso em: 15 de septiembre de 2024
- AUDISIO, S.; *et al.* **Biomecánica de la locomocion del caballo**. (1ra Edición, pág. 9-42) Editorial EdUNLPam. 2013
- AUJOL, K.; *et al* **Impacts of Osteopathic Treatment on the Locomotion of Sport Horse**. In Proceedings of the 37th Journée de la Recherche Equine, le Pin au Haras, France, 24; pp. 207–210. February 2011. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:68314336>
- BACK,W.; PILLE, F. **The role of the hoof and shoeing** en Back, W.; Clayton, H. Equine locomotion. 2º edition. Editorial Saunders Elsevier. 2013
- BAENA, M.M; *et al.* **Population structure and genetic diversity of Mangalarga Marchador horses**. Livestock Science 239 104109. 2020. doi.org/10.1016/j.livsci.2020.104109
- BARCELOS, K.M. DA COSTA. **Estudo morfométrico e do desenvolvimento de potros campeões da raça Mangalarga Marchador**. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2016.
- BARREY, E; *et al.* **Utilisation of an accelerometric device in equine gait analysis**. Equine vet. J. Suppl. 17 7-12. 1994. doi.org/10.1111/j.2042-3306.1994.tb04864.x
- BARREY, E; *et al.* **Gait evaluation of race trotters using an accelerometric device**. Equine vet. J., Suppl. 18 156-160. 1995. [doi:10.1111/j.2042-3306.1995.tb04910.x](https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.1995.tb04910.x)
- BARREY, E. **Methods, applications and limitations of gait analysis in horses**. The Equine Veterinary Journal 157,7-22. 1999. [doi: 10.1053/tvjl.1998.0297](https://doi.org/10.1053/tvjl.1998.0297)

BARREY, E; *et al.* **Locomotion evaluation for racing in Thoroughbreds.** Equine Veterinary Journal, Suppl. 33, 99-103. 2001 [doi: 10.1111/j.2042-3306.2001.tb05369.x](https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.2001.tb05369.x)

BARREY, E.; *et al.* **Early evaluation of dressage ability in different breeds.** Equine Exercise Physiology 6, Suppl. 34, 319-324. 2002. [doi: 10.1111/j.2042-3306.2002.tb05440.x](https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.2002.tb05440.x).

BARREY, E. **Biomechanics of locomotion in the athletic horse.** En: Hinchcliff, K.W., Geor, Raymond J., Kaneps, A.J. (Eds). Equine Exercise Physiology (1ra Edicion, pp.143-168). Saunders-Elsevier, Philadelphia, U.S.A. 2008

BARREY, E. **Gaits and interlimb coordination** en Back, W.; Clayton, H. Equine locomotion. 2° edition. Editorial Saunders Elsevier. 2013

BAXTER, G. M; STASHAK, T. **Examination for Lameness** in Adams y Stashack's. Lameness in horses. Seven Edition. Editorial Wiley-Blackwell. 2020

BAXTER, G.; *et al.* **Conformación y movimiento** en Adams y Stashak: Claudicación en el caballo. Editorial Intermédica. 6ta edición. Buenos Aires, Argentina. 2014.

BIAU, S.; BARREY, E. **The trot characteristics during the first years of dressage training.** Pferdeheilkunde 20, 2 (März/April) 135-139. 2004. [doi:10.21836/PEM20040204](https://doi.org/10.21836/PEM20040204)

BRONWYN, G. **The Biomechanics of Equine Locomotion** en Hodgson, D.R; McKeever, K.H.; McGowan, C.M. The Athletic Horse. Principles and Practice of Equine Sports Medicine. Second edition. Editorial Elsevier Saunders. 2014

BUCHNER, H. H. F.; *et al.* **Body centre of mass movement in the lame horse.** Equine vet. J., Suppl. 33 122-127. 2001. [doi: 10.1111/j.2042-3306.2001.tb05374.x](https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.2001.tb05374.x).

BUSSIMAN, F. O. *et al.* **Allelic and genotypic frequencies of the DMRT3 gene in the Brazilian horse breed Mangalarga Marchador and their association with types of gait.** Genetics and Molecular Research, v. 18, n. 1. 2019. [doi:10.4238/gmr18217](https://doi.org/10.4238/gmr18217)

BUSSIMAN, F. DE O., *et al.* **Efeitos de meio e avaliação genética para variáveis cinemáticas de andamento em equinos marchadores.** In Novos desafios da pesquisa em nutrição e produção animal. Pirassununga: 5D Editora. Recuperado de <https://posvnp.org/simposio-2019/>

CÁNEPA, P.A. *et al.* **Estudio del efecto del herrado sobre la locomoción equina mediante el empleo de sensores inerciales.** Analecta Veterinaria vol.44,e086. Universidad Nacional de La Plata, Argentina. 2024. <https://doi.org/10.24215/15142590e086>

CANO, M.R.; *et al.* **Influence of Training on the Biokinematics in Trotting Andalusian Horses.** Veterinary Research Communications, 24 477- 489. 2000. [doi: 10.1023/a:1006455723062](https://doi.org/10.1023/a:1006455723062).

CARNEIRO DE REZENDE, A.S., *et al.* **Skeletal Muscle Fiber Composition of Untrained Mangalarga Marchador Fillies.** J. Equine Vet. Sci. 36, 101–104. 2016. <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2015.11.005>

CASIUCH, R. L. **As costelas do Abismo.** A história do cavalo real. Editorial Essential Idea. 2016

CAURE, S. *et al.* **Effects of different shoeing conditions on equine cervical and back kinematics during walking and trotting on a soft surface.** Journal of Equine Veterinary Science, Volume 142, 105194. 2024. <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2024.105194>

CHATEAU, H *et al.* **Effects of egg-bar shoes on the 3-dimensional kinematics of the distal forelimb in horses walking on a sand track.** Equine Exercise Physiology. 36. 377-382. 2006. [doi: 10.1111/j.2042-3306.2006.tb05572.x](https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.2006.tb05572.x).

CHIEFFI, A. AND DE MELLO, L. H. **Contribuição para o estudo da localização do centro de gravidade no corpo dos animais domésticos e dos fatores que produzem seu deslocamento temporário ou permanente.** Rev. Fac. Med. Vet. S.Paulo 1. 97-154. 1939. <https://pdfs.semanticscholar.org/1dc2/7ece9b396b5916fd9629f1b5faad84afa1d.pdf>

CLAYTON, H. M. **Advances in Motion Analysis.** Veterinary Clinics of North America: Equine Practice-Vol. 7, No.2, August 1991

CLAYTON, H. M. **Temporal kinematics.** In: BACK, W; CLAYTON, H.M. W.B. **The dynamic horse: a biomechanical guide to equine movement and performance.** Mason, USA: Sport Horse Publications, p. 19-32. 2004

CLAYTON, H. M. **Biomechanics of the exercising horse.** Journal of Animal Science, v. 94, n.10, p. 4076–4086, 2016. [doi: 10.2527/jas.2015-9990](https://doi.org/10.2527/jas.2015-9990)

CLAYTON, H. M. **Core Training and Rehabilitation in Horses.** Vet Clin Equine 32, 49–71. 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cveq.2015.12.009>

CLAYTON, H.M.; HOBBS, S.J. **An exploration of strategies used by dressage horses to control moments around the center of mass when performing passage.** PeerJ. 2017. [doi 10.7717/peerj.3866](https://doi.org/10.7717/peerj.3866)

CLAYTON, H.M.; HOBBS, S.J. **The role of biomechanical analysis of horse and rider in equitation science.** Applied Animal Behaviour Science, 2017,02, 11. 2017. DOI: <http://dx.doi.org/doi:10.1016/j.applanim.2017.02.011>

CLAYTON, H.M.; HOBBS, S.J. **A Review of Biomechanical Gait Classification with Reference to Collected Trot, Passage and Piaffe in Dressage Horses.** Animals 9, 763. 2019. <https://doi.org/10.3390/ani9100763>

- CORLEY, J. M. & GOODSHIP, A. E. **Treadmill training induced changes to some kinematic variables measured at the canter in Thoroughbred fillies.** Equine veterinary Journal Suppl. 17, 20–4. 1994. <https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.1994.tb04867.x>
- COSTA M.D. *et al.* **Caracterização demográfica da raça Mangalarga Marchador.** Arq. Bras. Med. Vet. Zootec., v.56, n.5, p.687-690. 2004. <https://www.scielo.br/j/abmvz/a/mJhDZxvnnfjTkSMf8zhkjch/?format=pdf&lang=pt>
- DENOIX, J.M. **Biomechanics and physical training of the horse.** Editorial CRC Press. Taylor & Francis Group. 2014
- DREVEMO, S. *et al.* **The analysis of hear and temporal stride characteristics of trotting Standardbreds.** Equine Veterinary journal, 12 (2), 60-6. 1980. [doi: 10.1111/j.2042-3306.1980.tb02310.x](https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.1980.tb02310.x).
- DREVEMO, S., HJERTÉN, G. **Evaluation of a shock absorbing woodchip layer on a harness race-track.** Equine Exerc. Physiol. 3,107–112. 1991
- FABER, M *et al.* **A Basic three-dimensional kinematics of the vertebral column of horses trotting on a treadmill.** AJVR, Vol 62, No. 5, May 2001. [doi: 10.2460/ajvr.2001.62.757](https://doi.org/10.2460/ajvr.2001.62.757).
- FONSECA, M.G. **Mangalarga Marchador: estudo morfométrico, cinemático e genético da marcha batida e da marcha picada.** Tese (Doutorado em Medicina Veterinária) Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal- 2018. repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/89af5e42-c1e2-4519-aba4759b6135571c/content
- FREILICH, G.M. **Análisis mediante acelerometría del patrón locomotor, tras la administración de morfina con o sin acepromacina, en el caballo.** Tesis doctoral. Facultad de Veterinaria, Universidad Complutense De Madrid, Madrid. 2016. <https://hdl.handle.net/20.500.14352/20985>
- FREIRE, A. **Caracteriçao racial de equinos MM. Cómo aprimorar o registro genealogico e criterios de seleção?** Dissertação (Mestrado em Produção e Nutrição de Não Ruminantes). Universidad Federal de Lavras. 2024. <https://repositorio.ufla.br/handle/1/59119>
- GAGNEY, L. *et al.* **Effect of standing tarsal angle on joint kinematics and kinetics.** Eq. Vet. J., v. 38, n. 1, p.00-00, 2006. [doi:10.2746/042516406x159043](https://doi.org/10.2746/042516406x159043)
- GARCÍA LIÑEIRO, J.A. *et al.* **Parameters and functional analysis of the deep epaxial muscles in the thoracic, lumbar and sacral regions of the equine spine.** J. Anat. 233, pp55—63. 2018. [doi: 10.1111/joa.12818](https://doi.org/10.1111/joa.12818)

- GUNNARSSON, V. *et al.* **The effect of rider weight and additional weight in Icelandic horses in tölt: part II. Stride parameters responses.** *Animal*, 11:9, pp 1567–1572. 2017. <https://doi.org/10.1017/S1751731117000568>
- HOBBS, S.J.; CLYTON, H.M. **Sagittal plane ground reaction forces, centre of pressure and centre of mass in trotting horses.** *The Veterinary Journal* 198, e14–e19, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2013.09.027>
- HOLMSTRÖM, M.; BACK, W. **The effects of conformation.** In: BACK, W.; CLAYTON, H. M. (Ed.) *Equine locomotion*. London: Elsevier. p. 229-244. 2013
- HOLMSTRÖM, M. *et al.* **Biokinematic differences between riding horses judged as good and poor at the trot.** *Equine Vet. J.* 17 (Suppl.), 51–56. 1994. <https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.1994.tb04874.x>
- HOLMSTRÖM, M., PHILIPSSON, J. **Relationship between conformation, performance and health in 4-year old Swedish Warmblood Riding Horses.** *Livestock Prod. Sci.* 33, 293–312. 1993. [https://doi.org/10.1016/0301-6226\(93\)90009-7](https://doi.org/10.1016/0301-6226(93)90009-7)
- HORAN, K. *et al.* **Hoof Impact and Foot-Off Accelerations in Galloping Thoroughbred Racehorses Trialling Eight Shoe–Surface Combinations.** *Animals*, 12, 2161. 2022. <https://doi.org/10.3390/ani12172161>
- HUSSNI, C.A. *et al.* **Variações da marcha em equinos da raça Mangalarga Marchador.** *Ciência Rural*, Santa Maria, v.26, n. 1, p. 91-95. 1996. <http://hdl.handle.net/11449/29216>
- KRISTJANSSON, T. *et al.* **Association of conformation and riding ability in Icelandic horses.** *Livestock Science* 189, 91–101. 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.livsci.2016.05.010>
- LAGE, M.C.G.R. **Caracterização morfométrica, dos aprumos e do padrão de deslocamento de equinos da raça Mangalarga Marchador e suas associações com a qualidade da marcha.** Tese (Doutorado em Ciência Animal). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2001
- LAGE, M.C.G.R. *et al.* **Associação entre medidas lineares e angulares de equinos da raça Mangalarga Marchador.** *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.*, v.61, n.4, p.968-979, 2009. [doi:10.1590/s0102-09352009000400027](https://doi.org/10.1590/s0102-09352009000400027)
- LAGE, J. *et al.* **Workload of official contests, net cost of transport, and metabolic power of Mangalarga Marchador horses of marcha batida or picada gaits.** *Journal of Animal Science*, v. 95, p. 2488. 2017. [doi: 10.2527/jas.2016.1270](https://doi.org/10.2527/jas.2016.1270)
- LANGLOIS, J. *et al.* **Analyse des liaisons entre la morphologie et l'aptitude au galop au trot et au saut d'obstacles chez le Cheval.** *Ann. Génét. Anim*, 10 (3), 443-474. 1978. [doi:10.1186/1297-9686-10-3-443](https://doi.org/10.1186/1297-9686-10-3-443)

- LEACH, D.H. *et al.* **Standardised terminology for the description and analysis of equine locomotion.** Equine Veterinary Journal 16(6), 522-528. 1984. [doi:10.1111/j.2042-3306.1984.tb02007.x](https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.1984.tb02007.x)
- LELEU, C. *et al.* **Analysis of trotter gait on the track by accelerometry and image analysis.** Equine Exercise Physiology 6. Suppl. 34 344-348. 2002. [doi:10.1111/j.2042-3306.2002.tb05445.x](https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.2002.tb05445.x)
- LELEU, C. *et al.* **Reproducibility of a locomotor test for trotter horses.** The Veterinary Journal 168, 160–166, 2004. [https://doi.org/10.1016/S1090-0233\(03\)00109-6](https://doi.org/10.1016/S1090-0233(03)00109-6)
- LELEU, C. *et al.* **Relationships between biomechanical variables and race performance in French Standardbred trotters.** Livestock Production Science 92 39–46, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.livprodsci.2004.07.019>
- LEPEULE, J. *et al.* **Association of growth, feeding practices and exercise conditions with the severity of the osteoarticular status of limbs in French foals.** The Veterinary Journal 197, 65–71. 2013. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2013.03.043>
- LESBRE, F.X. **Precis d'Exterieur du Cheval.** Paris, 1930.
- LIMA, R. A. S.; CINTRA, A. G. **Revisão do Estudo do Complexo do Agronegócio do Cavalo.** Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 56 p, 2016.
- LÓPEZ-SANROMÁN, J. *et al.* **Accelerometric comparison of the locomotor pattern of horses sedated with xylazine hydrochloride, detomidine hydrochloride or romifidine hydrochloride.** Am. J. Vet. Res. 74 (6): 828-834. 2013. [doi:10.2460/ajvr.74.6.828](https://doi.org/10.2460/ajvr.74.6.828)
- LÓPEZ-SANROMÁN, F.J. *et al.* **An accelerometric measure of the gait pattern in horses after the administration of sublingual detomidine.** Research in Veterinary Science 97 392–397. 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rvsc.2014.08.003>
- LYPPERT, L. **Biomecânica básica** en Lyppert, L. Cinesiología clínica e anatomía. Quinta edición, pág. 82-96. Editorial Guanabara Koogan, 2013
- MARTIN, P. *et al.* **Effects of the rider on the kinematics of the equine spine under the saddle during the trot using inertial measurement units: methodological study and preliminary results.** The Veterinary Journal, S1090-0233(17)30003-5. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2016.12.018>
- MARTINS, N.A. *et al.* **Head and Neck Positions Affect Equine Kinematic Variables in Marcha Batida Gait—A Pilot Study.** Animals 15, 1090.2025. <https://doi.org/10.3390/ani15081090>

MATHIE, M.J. et al. **Accelerometry: providing an integrated, practical method for longterm, ambulatory monitoring of human movement**. Physiological Measurement, v. 25, p. 1-20, 2003. [doi:10.1088/0967-3334/25/2/r01](https://doi.org/10.1088/0967-3334/25/2/r01)

MONINA, M. **Biomecânica equina** en Boffi, F. Fisiología del Ejercicio en equinos (1ra Edición, pág. 177-203) Editorial Intermédica. 2007

MOURA, RS DE et al. **Revisión de puntos anatomo-topográficos y análisis morfológico por cinemática 2D de equinos Mangalarga Marchador**. Revista de Divulgación Técnica Agropecuaria, Agroindustrial y Ambiental. Facultad de Ciencias Agrarias. UNLZ. Vol. 7 (4) 72-88. 2020

MUYBRIDGE, E. **Muybridge's complete human and animal locomotion vol. 3** (Republication of Animal Locomotion), New York, Dover Publication. 1887

NASCIMENTO, J. F. **Mangalarga Marchador: Tratado Morfofuncional**. Belo Horizonte: Associação Brasileira dos Criadores do Cavalo Mangalarga Marchador. 577p. 1999

NICODEMUS, M.C.; CLYTON, H.M. (2003). **Temporal variables of four-beat, stepping gaits of gaited horses**. Applied Animal Behaviour Science 80 (2003) 133–142. 2003. [https://doi.org/10.1016/S0168-1591\(02\)00219-8](https://doi.org/10.1016/S0168-1591(02)00219-8)

OLIVEIRA, K. et al. **Biometria por ultrassonografia da musculatura epaxial e pélvica em equinos treinados com rédea Pessoa**. Ciência Rural, Santa Maria, v.44, n.11, p.2045-2051, nov, 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20130604>

OLIVEIRA, K. et al. **Gymnastic Training and Dynamic Mobilization Exercises Improve Stride Quality and Increase Epaxial Muscle Size in Therapy Horses**. Journal of Equine Veterinary Science, v. 35, n. 11-12, p. 888-893. 2015. <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2015.08.006>

OLIVEIRA, K. et al. **Gymnastic Training of Hippotherapy Horses Benefits Gait Quality When Ridden by Riders with Different Body Weights**. Journal of Equine Veterinary Science 94, 103248. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2020.103248>

PAGANELA, J.C. et al. **Influência do ângulo do casco em relação ao ângulo escápuloumeral na prova de andadura de cavalos da raça Crioula**. In: Congresso De Iniciação Científica, 17. Encontro de Pós-Graduação, 10. 2008. Pelotas. Anais. Pelotas:UFPEL. p.1-6, 2008.

PFAU, T. et al. **Centre of mass movement and mechanical energy fluctuation during gallop locomotion in the Thoroughbred racehorse**. The Journal of Experimental Biology 209, 3742-3757. 2006. [doi:10.1242/jeb.02439](https://doi.org/10.1242/jeb.02439)

PILLINER, S. et al. **The horse in motion**, 1ra edición. Blackwell Science Ltd. 2002

PROCÓPIO, A. M. **Análise cinemática da locomoção de equinos marchadores**. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2004

PROCÓPIO, A. M. **Curvas ângulo-tempo das articulações dos equinos marchadores**. Arq. Bras. Med. Vet. Zootec., v.59, n.1, p.41-48, 2007. [doi:10.1590/S0102-09352007000100008](https://doi.org/10.1590/S0102-09352007000100008)

R CORE TEAM (2024). **R: A language and environment for statistical computing**. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria. Disponível em: <https://www.R-project.org/>

RIBEIRO, R.A. *et al.* **Curva de crescimento em altura na cernelha de equinos da raça Mangalarga Marchador considerando-se heterocedasticidade**. Arq. Bras. Med. Vet. Zootec., v.70, n.1, p.272-278. 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4162-9322>

RICARD, A. *et al.* **Accelerometers provide early genetic selection criteria for jumping horses**. Frontiers in Genetics, 11: 448. 2020. [doi: 10.3389/fgene.2020.00448](https://doi.org/10.3389/fgene.2020.00448)

ROBILLIARD, J. J. *et al.* **Gait characterisation and classification in horses**. The Journal of Experimental Biology 210, 187-197. 2007. [doi:10.1242/jeb.02611](https://doi.org/10.1242/jeb.02611)

RODRIGUES, P.G. *et al.* **Pilates para equinos: a importância dos exercícios funcionais**. Rev. Cient. Prod. Anim., v.19, n.2, p.94-102, 2017. <https://periodicos.ufpb.br/index.php/rcpa/article/view/42892>

RHODIN, M. *et al.* **Effect of different head and neck positions on kinematics of elite dressage horses ridden at walk on treadmill**. Comparative Exercise Physiology; 14 (2): 69-78. 2018. [doi 10.3920/cep180002](https://doi.org/10.3920/cep180002)

ROMANZINI, M. *et al.* **Limiares de acelerômetros para a estimativa da intensidade da atividade física em crianças e adolescentes: uma revisão sistemática**. Revista brasileira de cineantropometria e desempenho humano, v14, n1, p101. 2012. <http://dx.doi.org/10.5007/1980-0037.2012v14n1p101>

ROSS, M. **Lameness in Horses: Basic Facts Before Starting** en Ross, M.; Dyson, S. Diagnosis and management of lameness in the horse. Editorial Elsevier. 2da edición. Missouri USA. 2011

SANTIAGO, J.M. **Caracterização morfométrica da raça Mangalarga Marchador**. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2013. <https://hdl.handle.net/1843/BUBD-965KJJ>

SANTOS, F.C.A. **Cinemática das marchas batida e picada durante julgamento de equinos montados da 39a exposição nacional do cavalo Mangalarga Marchador**. Dissertação Mestrado em Zootecnia. Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2023. <https://hdl.handle.net/1843/57206>

SANTOS, L. U. **Análise biomecânica do andamento em potros da raça mangalarga marchador nos primeiros 15 dias de vida.** Dissertação (Mestrado em Ciência Animal). Universidade estadual paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Faculdade de Medicina Veterinária. Câmpus de Araçatuba. 2018. <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/0fef3418-f949-48cf-b6a7-6c1d30d413ea/content>

SCHEFFER, L. **Características morfométricas que impactam a regularidade da marcha em equinos adultos mangalarga marchador.** Dissertação (Mestrado em Produção e Nutrição de Não Ruminantes). Universidad Federal de Lavras. 2022. <https://repositorio.ufla.br/handle/1/55719>

SCHRÖDER W. *et al.* **Genetic evaluation of Hanoverian warmblood horses for conformation traits considering the proportion of genes of foreign breeds.** Arch Tierz 53, 377-387. 2010. <https://doi.org/10.5194/aab-53-377-2010>

SCHRURS, C. *et al.* **Locomotor Profiles in Thoroughbreds: Peak Stride Length and Frequency in Training and Association with Race Outcomes.** Animals, 12, 3269.2022. doi.org/10.3390/ani1223326

SELLANI, M.D.C *et al.* **Principal component analysis of linear measures of young horses national champions of Mangalarga Marchador breed.** Ciência Rural, v. 50, p. e20200258, 2020. <https://doi.org/10.1590/0103-8478CR20200258>

SOARES, C. de MARCHI. **Análise biomecânica do andamento de potros da raça mangalarga marchador aos 30 e 180 dias de idade.** 42 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal). Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” Faculdade de Medicina Veterinária Câmpus de Araçatuba, Araçatuba, 2017. <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/71c52268-8d93-48a6-bb63-dc81402ccbbba/content>

SOARES, C. de MARCHI. **Avaliação de andamentos pelo método acelerométrico Equimetrix em cavalos Mangalarga Marchador.** Dissertação (Doutorado em Ciência Animal). Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” Faculdade de Medicina Veterinária Câmpus de Araçatuba, Araçatuba, 2021. <http://hdl.handle.net/11449/214260>

SPRLGLNGS, E.; LEACH, D. **Standardised technique for determining the centre of gravity of body and limb segments of horses.** Equine Veterinary Journal, 18(1), 43-49. 1986. <https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.1986.tb03536.x>

STAIGER, E.A *et al.* **Morphological Variation in Gaited Horse Breeds.** Journal of Equine Veterinary Science 43. 55–65. 2016. <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2016.04.096>

STUBBS, N.C. *et al.* **Functional anatomy of the caudal thoracolumbar and lumbosacral spine in the horse.** Equine Vet. J., Suppl. 36, 393-399. 2006. [doi:10.1111/j.2042-3306.2006.tb05575.x](https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.2006.tb05575.x)

SYMONDS, K.D *et al.* **Use of force plate analysis to assess the analgesic effects of etodolac in horses with navicular syndrome.** AJVR, Vol 67, No. 4, April 2006. [doi:10.2460/ajvr.67.4.557](https://doi.org/10.2460/ajvr.67.4.557)

THOMASON, J.J.; PETERSON, M.L. **Biomechanical and Mechanical Investigations of the Hoof-Track Interface in Racing Horses.** Vet Clin Equine 24, 53–77. 2008. <https://doi.org/10.1016/j.cveq.2007.11.007>

USPENSKII, V. D. **Anatomo-fiziologicheskii analiz konechnostei v allyure i ego prakticheskoe znachenie** (Anatomical-physiological analysis of limbs in gait and its practical significance). Tr. Saratovsk. zoovet. inst. 4, 109-1 15. 1953.

VAN WEEREN P.R. *et al.* **Quantification of skin displacement near the carpal, tarsal and fetlock joints of the walking horse.** Equine Vet. J. 20(3), 203-208, 1988. [doi: 10.1111/j.2042-3306.1988.tb01500.x](https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.1988.tb01500.x)

VAN WEEREN P.R. *et al.* **Correction models for skin displacement in equine kinematic gait analysis.** Equine Vet. Science. 12(3),178-192. 1992. [https://doi.org/10.1016/S0737-0806\(06\)81478-4](https://doi.org/10.1016/S0737-0806(06)81478-4)

WAKELING, J.M. *et al.* **Segmental variation in the activity and function of the equine longissimus dorsi muscle during walk and trot.** Equine and Comparative Exercise Physiology, Volume 4, Issue 02, pp 95 - 103. May 2007. [doi: 10.1017/S1478061507812126](https://doi.org/10.1017/S1478061507812126)

WALKER, V.A. *et al.* **Effect of a Pessoa training aid on temporal, linear and angular variables of the working trot.** The Veterinary Journal 198, 404–411, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2013.07.005>

WEISHAUP, M.A. **Adaptation Strategies of Horses with Lameness.** Vet Clin Equine 24, 79–100, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.cveq.2007.11.010>

WEISHAUP, M.A. *et al.* **Effects of shoeing on intra- and inter-limb coordination and movement consistency in Icelandic horses at walk, tölt and trot.** The Veterinary Journal 198 e109–e113, 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tvjl.2013.09.043>

WELLER, R. *et al.* **Reliability of conformational measurements in the horse using a three-dimensional motion analysis system.** Equine Veterinary Journal 38 (7) 610-615, 2006. <https://doi.org/10.2746/042516406X150367>