



TRABAJO FIN DE GRADO

GRADO EN VETERINARIA

Valoración de la intensidad del ejercicio en una sesión simulada de entrenamiento o rehabilitación en caballos en water treadmill con agua a diferentes niveles.

Evaluation of exercise intensity in a simulated training session or rehabilitation horses in water treadmill with water at different levels.

JUAN MANUEL VIZCAÍNO OJEDA



DIRIGIDO POR:

Dra. Cristina Castejón-Riber. Dpto. Biología Celular, Fisiología e Inmunología Centro de Medicina Deportiva Equina (CEMEDE). Facultad de Veterinaria. Universidad de Córdoba.

Dr. Francisco Castejón Montijano. Dpto. Biología Celular, Fisiología e Inmunología. Centro de Medicina Deportiva Equina (CEMEDE). Facultad de Veterinaria. Universidad de Córdoba.

ÍNDICE

1. Introducción.....	3
1.1. Concepto de water treadmill.....	3
1.2. Usos y propiedades del Water Treadmill.....	3
1.3. Parámetros investigados durante el estudio.....	5
2. Objetivos e hipótesis.....	6
3. Material y métodos.....	7
3.1. Caballos.....	7
3.2. Water treadmill.....	8
3.3. Registro de la frecuencia cardiaca y el lactato.....	8
3.4. Adaptación al Water Treadmill.....	10
3.5. Protocolo del estudio.....	10
3.6. Análisis estadístico.....	13
4. Resultados.....	13
5. Discusión.....	17
6. Conclusión.....	20
7. Resumen.....	21
8. Summary.....	22
9. Bibliografía.....	23
10. Listado de tablas, fotografías, abreviaturas y gráficas.....	28

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Concepto de water treadmill

El ejercicio sobre water treadmill (WT) es un método de entrenamiento y de rehabilitación bien establecida en la medicina humana y veterinaria. Las ventajas son un alivio de la carga sobre las articulaciones, los músculos y los tendones, y la activación simultánea de numerosos músculos que se combinan con movimientos casi idénticos en comparación con ejercicio en pista o treadmill convencional (Froboese, 1994). Según la cantidad de agua se favorece la flotabilidad, ayuda al caballo en el levantamiento de sus extremidades en el plano vertical y proporciona resistencia a los miembros en el plano sagital, y a su vez el uso del WT permite que se controle la velocidad del ejercicio realizado (King et al., 2012).

La cinta rodante acuática o WT es una cinta equipada especialmente para equinos, que puede ser inundada con agua a diferentes niveles y deslizarse a diferentes velocidades, con lo que cada equino puede recibir un programa de entrenamiento o rehabilitación individualizado. Hay que resaltar que una de las características más destacadas de este tipo de cinta, es que el caballo siempre mantiene contacto con la superficie de la cinta, en comparación con la natación en la que los efectos del entrenamiento sobre las articulaciones están basados en la ingravidez del cuerpo (Voss et al., 2002).

1.2. Usos y propiedades del Water Treadmill

Terapias acuáticas, tales como ejercicios de rutina y natación subacuática, se han utilizado en el hombre para aumentar la resistencia cardiovascular, mejorar la fuerza muscular, disminuir el edema en las extremidades, mejorar el rango de movimiento articular, disminuir el dolor y reducir la tensión mecánica aplicada en la extremidad (Kamioka et al., 2010).

El ejercicio en agua proporciona un medio en el que los mecanismos de aumento de la flotación, la presión hidrostática y la viscosidad, junto con la capacidad de alterar la

temperatura y la osmolaridad, desempeñan un papel importante en la rehabilitación músculo-esquelético individualizada (Evans et al., 1978).

Por lo tanto, la terapia con agua nos aporta las siguientes propiedades:

- **Flotabilidad:** reduce los efectos del peso corporal sobre las articulaciones y los tejidos blandos adyacentes, lo que ayuda a reducir el dolor y la inflamación asociados con el impacto sobre el suelo de sus extremidades en el ejercicio. También mejora el rango de movilidad articular (Poyhonen et al., 2001).
- **Viscosidad:** hace que aumente el esfuerzo necesario para moverse a través del agua y por lo tanto hay una mayor activación muscular, lo que mejora la fuerza muscular, el control motor y la estabilidad de la articulación (Miyoshi et al., 2004).
- **Presión osmótica:** mejora la circulación venosa y linfática, reduce el edema y disminuye la inflamación de los tejidos blandos que hace que aumenta el rango de movimiento articular y disminuye el dolor (Kamioka et al., 2010).
- **Temperatura:** aumenta la perfusión de los tejidos blandos y el drenaje linfático (agua caliente), reduce el flujo sanguíneo y disminuye la inflamación y el dolor (agua fría) (Yamazaki et al., 2000).
- **Osmolaridad:** hacer ejercicio en agua con altas concentraciones de soluto ha demostrado que tienen efectos anti-inflamatorios, osmótico y efectos analgésicos (Bender et al., 2005).

Otro aspecto a destacar en el ejercicio en agua es el rango de movilidad articular (ROM), en un estudio realizado en el año 2013 se demostró que la ROM de las articulaciones de los miembros aumentaría durante la marcha de los caballos en un water treadmill a cualquier profundidad de agua, en comparación con las condiciones de referencia (Mendez-Angulo et al., 2013).

1.3. Parámetros investigados durante el estudio

Los efectos del entrenamiento son normalmente evaluados utilizando la concentración de lactato (LA) en sangre y la frecuencia cardíaca (FC) durante y después del ejercicio. Esto es válido tanto para los caballos que se ejercitan en pista y en cintas rodante convencional (Persson, 1983; Couroucé et al., 1997), así como en piscinas (Thomas et al, 1980; Bartmann, 1990; Misumi et al, 1994; Murakami et al., 1999).

Voss et al., (2002) realizaron un estudio en WT sobre la FC durante el ejercicio y la concentración de LA en sangre después del ejercicio. Estos autores demostraron que durante el entrenamiento en WT predomina la actividad aeróbica con frecuencias cardíacas de hasta 120 lat/min en contraposición a la natación en la cual se registraron frecuencias cardíacas de hasta 200 lat/min. El WT puede mejorar los ejercicios de natación ya que el caballo adopta un patrón locomotor más similar a la que tiene cuando se encuentra en una pista de tierra (Voss et al., 2002).

El LA es un producto del metabolismo muscular que se acumula en el músculo y la sangre cuando se somete al organismo a altas intensidades de ejercicio (Couroucé, 1999). Es liberado desde el músculo y otros tejidos por difusión. Se metaboliza a CO₂ y agua en los tejidos metabólicamente activos bien oxigenados, o puede ser reciclado a glucosa y glucógeno en el hígado, el riñón, y células musculares inactivas (Derman y Noakes, 1994).

Ambas vías, aeróbicas y anaeróbicas están generalmente activas durante el ejercicio, el aporte relativo de cada una de ellas al metabolismo muscular depende de la naturaleza, la intensidad y duración del ejercicio, los tipos de fibras, la disponibilidad de O₂ y sustratos y las concentraciones relativas de metabolitos intermedios que podrían potencialmente activar o inhibir enzimas (Eaton, 1994; Evans, 2007). Por lo tanto, un ejercicio de baja intensidad, cuando el O₂ está disponible, la energía depende en gran medida del metabolismo de glucógeno a través de vías aerobias (Valberg, 1986; McCutcheon et al., 2006).

La cantidad de LA en plasma o en sangre durante el ejercicio y después del ejercicio, así como el tiempo que tarda en alcanzarse el umbral anaerobio, se han utilizado en

medicina deportiva para medir la intensidad de esfuerzo (Rose y Evans, 1987; Muñoz et al., 1998; Gondim et al., 2007; Castejón- Riber, 2014; Muster et al., 2014), para predecir el nivel físico de un individuo o su nivel de entrenamiento (Muñoz et al., 1998; Trilk et al., 2002) y para determinar los requerimientos metabólicos de un determinado tipo de ejercicio o durante la competición (Amory et al., 1993; Davie et al., 2002; Castejón- Riber, 2014). También, es importante tener en cuenta que la cantidad de LA presente en el torrente circulatorio, es un equilibrio entre la tasa de producción muscular de LA y su eliminación (Weber et al., 1987). Por lo tanto, si los niveles de lactato en sangre se mantienen estables el caballo estaría realizando un ejercicio aeróbico. Por el contrario, cuando los niveles de LA aumentan de una forma significativa, se estaría utilizando el metabolismo anaeróbico.

Como se ha mencionado anteriormente, las concentraciones de LA en sangre se han utilizado en seres humanos y caballos para cuantificar la intensidad relativa de ejercicio. Así se considera una concentración plasmática de LA menor a 2 mmol/l, un estado estacionario para el LA durante el ejercicio aeróbico (Rose, 1986), y un nivel de LA en sangre de 4 mmol/l se considera como el nivel aproximado de inicio de la acumulación de LA en sangre y el umbral anaerobio (Castejón et al., 1994).

2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

Si se pretende utilizar el Water Treadmill como método de rehabilitación músculo-esquelético o estrategia de entrenamiento, sería interesante evaluar la intensidad de ejercicio que realiza el animal.

Por lo tanto, el objetivo de la presente investigación es evaluar la intensidad del ejercicio que realizan los caballos en una sesión simulada de entrenamiento o rehabilitación de 20 minutos al paso (6 km/h) en el WT con agua a diferente altura (sin agua, menudillo, carpo y codo), mediante la medición de la FC y del LA en sangre.

La hipótesis de partida es que los caballos realizaría un ejercicio aeróbico, independientemente de la altura a la que se encuentre el agua, al contrario de lo que se

ha demostrado en natación, que realizan ejercicio anaeróbico (Voss et al., 2002). Por lo tanto, este tipo de ejercicio, sería más seguro y adecuado para caballos lesionados y/o que se encuentren desentrenados.

3. MATERIAL Y MÉTODOS

3.1. Caballos

Se han estudiado 6 caballos en buenas condiciones de salud, residentes en el Centro de Medicina Deportiva Equina, CEMEDE, de la Facultad de Veterinaria de la Universidad de Córdoba. De estos 6 animales, dos de ellos eran de raza Angloárabe, uno Pura Raza Español, uno Pura Raza Árabe y dos cruzados. Con respecto al género de los animales estudiados había 2 hembras y 4 machos castrados. Sus edades y pesos vienen presentadas en la tabla 1. Los dos caballos de raza Angloárabe estaban siendo entrenados para raid o resistencia y el resto tenían un nivel de entrenamiento básico.

Durante el periodo de estudio, los animales permanecieron en las instalaciones del CEMEDE, todos en paddocks exteriores. Durante la investigación, los caballos continuaron con su programa de entrenamiento y siguieron con su alimentación habitual.

	N	Valor mínimo	Valor máximo	Media	Desviación estándar
Edad de los caballos (años)	6	7	14	10,83	3,06
Peso inicial (Kg)	6	400	496	457	31,69

Tabla 1. Edad y peso de los caballos.

3.2. Water treadmill

El Water Treadmill (versión 1.1) para caballos utilizado en este estudio (fotografía 1) fue diseñado e instalado por la empresa ACTIVO-MED_{GmbH}. Dicho Water Treadmill consta de:

- Un contenedor rectangular que se compone de secciones de acero inoxidable y chapas de acero inoxidable que impiden la salida de agua. Tiene dos puertas que se encuentran en la parte delantera y trasera.
- Una cinta que consta de un bastidor, un motor de accionamiento, una polea de desviación con tensor y una cinta transportadora.
- Una plataforma con dos escaleras de acceso hacia el panel de control.
- Un panel de control (fotografía 2) donde se regula la velocidad de la cinta, la filtración y el drenaje del agua.



FOTOGRAFÍA 1. Unidad completa del treadmill acuático.



FOTOGRAFÍA 2. Panel de control del treadmill acuático.

3.3. Registro de la frecuencia cardiaca y el lactato

Durante la realización del ejercicio, se registró la frecuencia cardiaca de forma continua y se extrajo sangre venosa al inicio y al final del ejercicio para la medición de la concentración de LA en sangre.

La frecuencia cardiaca se registró usando un pulsómetro (Polar® RS800), fijado al tórax del caballo con un cinchuelo (EQUINE H2 belt), como se muestra en la fotografía 3.

Los datos almacenados con el pulsómetro fueron descargados con un software específico (Polar ProTrainer 5TM Equine Edition), donde se obtuvieron los valores de FC. Los valores de FC se registraron cada 1,5 s, de modo que se obtuvieron 2400 datos por cada hora de estudio.

De igual modo, se obtuvo sangre de la vena yugular en reposo (al inicio y al final de cada sesión). Inmediatamente tras su extracción, y directamente de la jeringa, se procedió a la medición de la concentración de LA en sangre sin anticoagular en un lactacidómetro (Analizador Accutrend® Plus system).



FOTOGRAFÍA 3. Componentes del pulsómetro utilizados para monitorizar la frecuencia cardiaca.

FOTOGRAFÍA 4. Lactacidómetro.



3.4. Adaptación al Water Treadmill

Previo a la realización de este estudio, los caballos utilizados se sometieron a un programa de adaptación para evitar situaciones de estrés que pudieran influir en nuestros resultados. Se realizaron 4 sesiones a cada caballo. En cada una, el agua iba aumentando de nivel, utilizando como referencia de alturas de agua que posteriormente utilizamos en este estudio.

3.5. Protocolo del estudio

Los seis caballos fueron sometidos a cuatro sesiones en el Treadmill Acuático a la misma velocidad (6Km/h). Se realizó una sesión de control sin agua y tres sesiones más con alturas de agua hasta el menudillo, carpo y codo. El orden con el que los caballos realizaron el estudio fue asignado por un cuadro latino, con el requisito de que los caballos tendrían como mínimo 24 horas de descanso entre cada sesión. Previo a cada test, los caballos fueron limpiados, preparados y desinfectados, para prevenir el contagio y transmisión de enfermedades a través del agua, como se muestra en la fotografía 4.



FOTOGRAFÍA 5. Caballo limpio, preparado y desinfectado antes de entrar en el treadmill acuático.

El protocolo de cada sesión se inició con la extracción de sangre en el paddock para medir el lactato. Una vez en el Treadmill Acuático, se efectuó un periodo de calentamiento durante 10 minutos, posteriormente se llenó de agua hasta la altura indicada para esa sesión, con el agua a la altura indicada se empezó el ejercicio durante 20 minutos, una vez concluido los 20 minutos se retiró el agua y se realizó un enfriamiento durante 10 minutos desde que terminó el ejercicio. La sesión transcurrió siempre a una velocidad de 6 Km/h, desde que el caballo entró en el Treadmill Acuático hasta que bajó de él. La sesión terminó cuando se sacó al caballo del Treadmill Acuático y se volvió a sacar sangre para medir el lactato.

Las condiciones ambientales (temperatura ambiental y humedad relativa) durante la realización de los tests se presentan en la tabla 2 y tabla 3. Un análisis con el test de Friedman mostró que no existieron diferencias significativas en estos parámetros ($p < 0,05$). La temperatura y humedad se midieron mediante una estación meteorológica (RTGR328N, Oregon Scientific™ Wireless Outdoor Temperature, Humidity, and RF clock sensor).

Temperatura ambiental	N	Media	Desviación estándar	Valor mínimo	Valor máximo
Test sin agua	6	21,08	3,28	17,5	24,6
Test con agua hasta menudillo	6	18,23	3,06	15,1	23,2
Test con agua hasta carpo	6	19,98	2,62	15,6	22,0
Test con agua hasta codo	6	20,13	3,15	15,0	23,4

Tabla 2. Datos de temperatura ambiental en diferentes tests.

Humedad ambiental	N	Media	Desviación estándar	Valor mínimo	Valor máximo
Test sin agua	6	51,33	16,04	30,00	70,00
Test con agua hasta menudillo	6	63,16	12,22	41,00	76,00
Test con agua hasta carpo	6	58,83	14,35	35,00	77,00
Test con agua hasta codo	6	56,17	9,88	48,00	73,00

Tabla 3. Datos de humedad ambiental en diferentes tests.

La temperatura del agua durante la realización de los diferentes tests se presenta en la tabla 4. Un análisis con el test de Friedman mostró que no existieron diferencias significativas en estos parámetros ($p < 0,05$). Las medidas de la temperatura del agua fueron registradas mediante un termómetro convencional.

Temperatura agua	N	Media	Desviación estándar	Valor mínimo	Valor máximo
Test con agua hasta menudillo	6	18,66	1,50	17,00	21,00
Test con agua hasta carpo	6	19,33	1,75	17,00	22,00
Test con agua hasta codo	6	20,08	1,68	18,00	22,00

Tabla 4. Datos de temperatura del agua en diferentes tests.

3.6. Análisis estadístico

En primer lugar, se calcularon los valores medios y desviaciones estándar de las variables estudiadas. Para comprobar la normalidad de la muestra se realizó el test de Shapiro-Wilk, ya que nuestra muestra es menor de 50, y se comprobó que las variables no se ajustaron a una distribución normal, excepto los datos de la temperatura y humedad que si tenían una distribución normal pero no tenían homocedasticidad, por lo que en todas las variables se han utilizado métodos no paramétricos, el test de Friedman en todos los casos, y además, en la FC además se realizó la prueba de Rangos con Signo de Wilcoxon. El nivel de significación fue de $p < 0,05$. El análisis estadístico se llevó a cabo mediante el programa SPSS (v. 20).

4. RESULTADOS

La media, desviación estándar, valor mínimo y valor máximo del LA y FC obtenidos en los diferentes test, se presentan en las tablas 5 y 6 respectivamente.

	N	Media	Desviación estándar	Valor mínimo	Valor máximo
LA en sangre inicial en test sin agua	6	0,96	0,28	0,7	1,4
LA en sangre final en test sin agua	6	1,03	0,41	0,7	1,7
LA en sangre inicial en test agua hasta menudillo	6	1,43	0,31	1,1	2,0
LA en sangre final en test agua hasta menudillo	6	1,05	0,28	0,7	1,4
LA en sangre inicial en test agua hasta carpo	6	1,06	0,45	0,7	1,8

LA en sangre final en test agua hasta carpo	6	1,05	0,52	0,7	1,9
LA en sangre inicial en test agua hasta codo	6	0,75	0,12	0,7	1,0
LA en sangre final en test agua hasta codo	6	1,11	0,22	0,8	1,3

Tabla 5. Datos sobre el LA en sangre al inicio y al final de cada test.

	N	Media	Desviación estándar	Valor mínimo	Valor máximo
Media de la FC del test sin agua	6	66,1317	7,92120	52,13	76,21
Media de la FC del test con agua hasta menudillo	6	71,0933	8,99114	60,06	81,97
Media de la FC del test con agua hasta carpo	6	81,8867	10,67080	62,19	90,90
Media de la FC del test con agua hasta codo	6	81,1383	14,67799	62,74	96,98

Tabla 6. Datos sobre la FC en diferentes test.

No se han encontrado diferencias significativas entre los valores del LA obtenidos al inicio y al final de cada test, ni entre los diferentes test, con un nivel de significación de $p=0,078$.

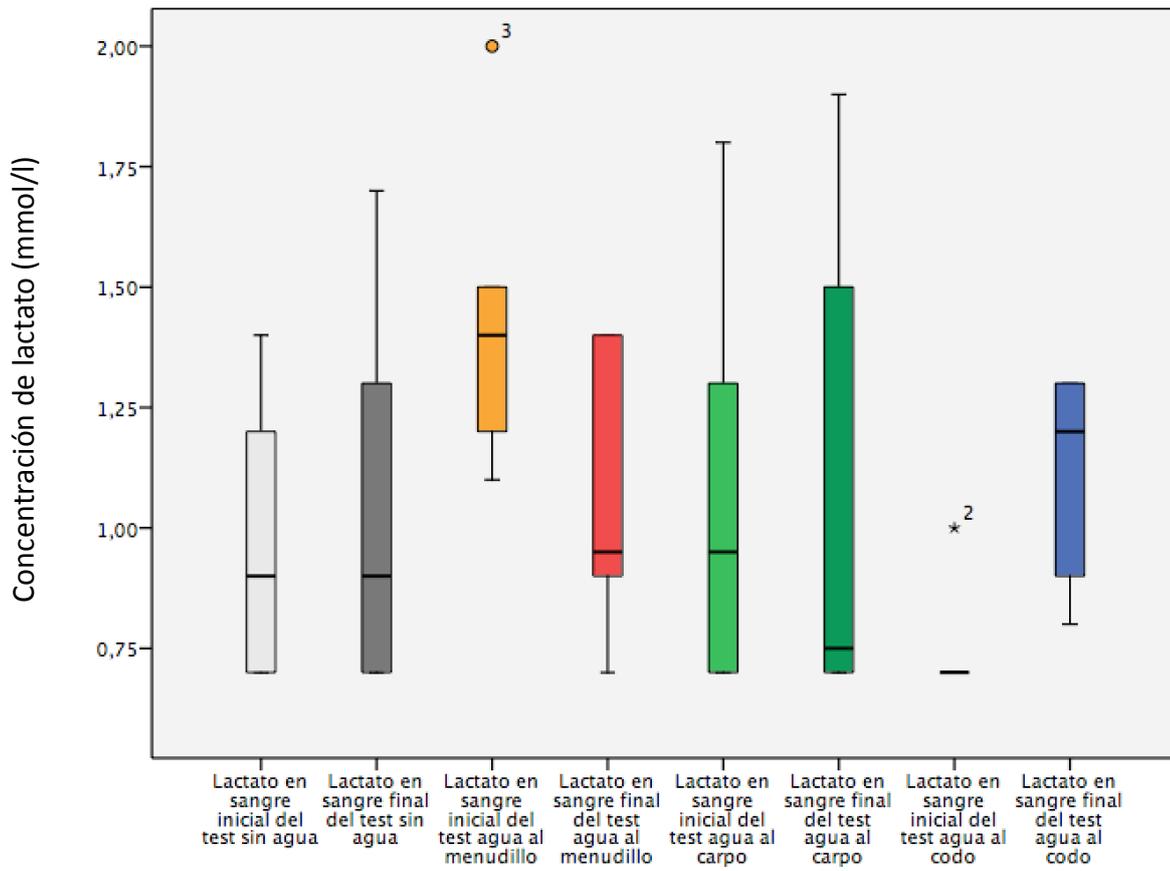
Por otra parte, se han encontrado que si existían diferencias significativas entre los valores de la frecuencia cardiaca en los diferentes niveles de agua, con un nivel de significación de $p=0,042$. Para conocer más específicamente entre que test se producen

diferencias significativas realizamos la prueba de rangos con signo de Wilcoxon, representada en la tabla 7.

Media de la frecuencia cardiaca						
	test con agua hasta menudillo - test sin agua	test con agua hasta carpo - test sin agua	test con agua hasta codo - test sin agua	test con agua hasta carpo - test con agua hasta menudillo	test con agua hasta codo - test con agua hasta menudillo	test con agua hasta codo - test con agua hasta carpo
Nivel de significación	0,116	0,028	0,046	0,046	0,116	0,917

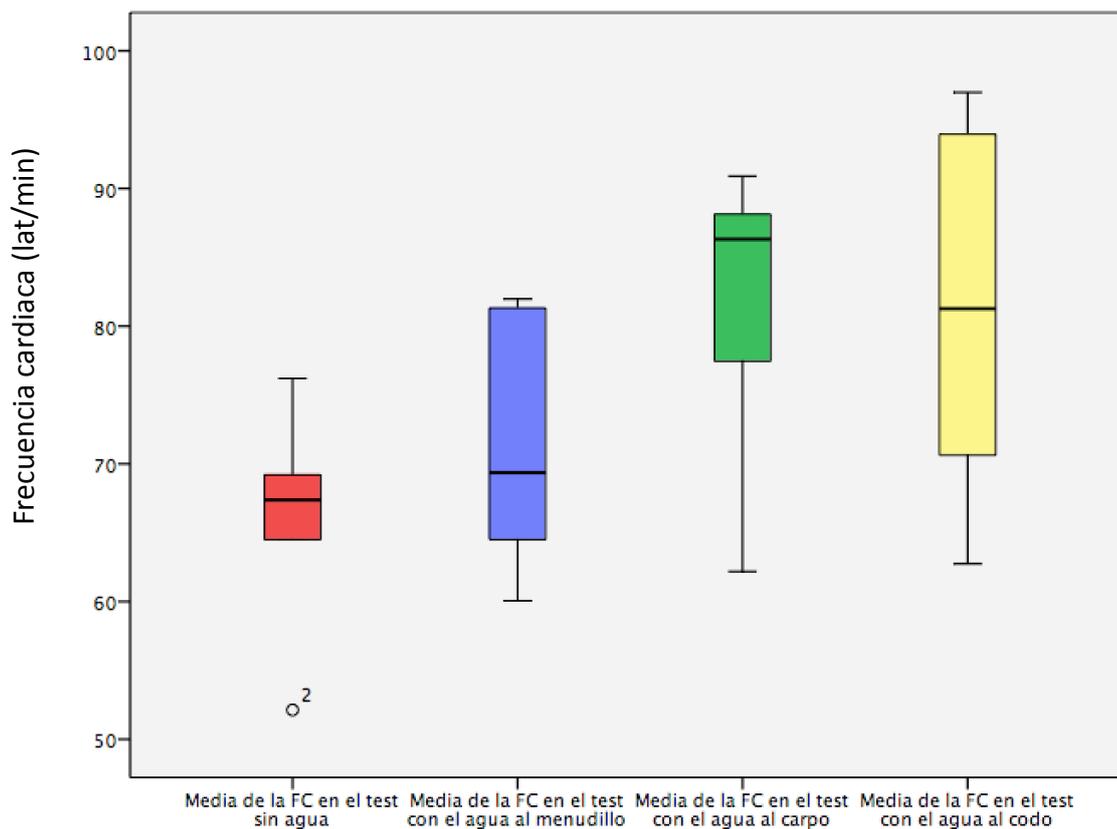
Tabla 7. Prueba de rango con signo de Wilcoxon.

Se muestra que existen diferencias significativas ($p < 0,05$) entre la media de la FC de los test sin agua con los test con agua hasta el carpo, entre los test sin agua con los test con agua hasta el codo y entre los test con agua hasta el menudillo con los test con agua hasta el carpo. En el resto de las variables no se observaron diferencias significativas, si bien cabe destacar que la diferencia entre la media de la FC del test con agua hasta el carpo con el test con agua hasta el codo fue mínima, con un nivel de significación de 0,917.



Gráfica 1. Valores de lactato al inicio y al final de cada de test, y entre los diferentes test.

Se puede apreciar en la gráfica 1 como los valores de lactato, en todos los test, permanecen dentro de un mismo rango.



Gráfica 2. Valores de la FC en los diferentes test.

En la gráfica 2 se observa una tendencia no significativa hacia el incremento de la FC hasta el codo, aunque en el test con el agua hasta el codo se puede apreciar que hay valores menores de FC que en el test con el agua hasta el carpo.

5. DISCUSIÓN

La presente investigación fue diseñada para evaluar la intensidad del ejercicio que realizan los caballos en una sesión simulada en entrenamiento o rehabilitación de 20 minutos al paso (6 km/h) en el WT con agua a diferente altura (sin agua, menudillo, carpo y codo), mediante la medición de la FC y del LA en sangre. Si entre estos valores no hubiera diferencias significativas al llevar acabo el ejercicio, podríamos concluir que el

ejercicio realizado en el water treadmill es de una intensidad moderada, es decir, es un ejercicio aeróbico, ya que no se acumula el LA en sangre. A diferencia de estudios anteriores, como el de Voss et al., (2002), Nankervis et al., (2008), Lindner et al., (2010 y 2012), Yarnell et al., (2014), nuestros caballos realizan un test a intensidad constante que tiene como objetivo simular una sesión de entrenamiento o rehabilitación para caballos y poder dar recomendaciones.

En un estudio realizado por Voss et al., (2002), donde se midió varios valores de lactato en diferentes alturas de agua (sin agua, carpo y codo), al paso y al trote en cada altura, no se obtuvieron diferencias significativas en ninguna de los ejercicios, Los valores variaron sólo en límites pequeños de 0,59 mmol /l a 1,24 mmol /l, siempre menos de 2 mmol/l. Por lo tanto se mostró que ninguno de los test de ejercicio produjo lactacidemia y se llegó a la conclusión de que los caballos fueron capaces de compensar la alta demanda de oxígeno durante el ejercicio a través de la respiración. Por otra parte, debido a los bajos valores de lactato se supuso que trabajan principalmente la contracción de las fibras musculares de tipo I y / o tipo IIa. Con lo que, el trabajo aeróbico sería el predominante en este tipo de ejercicio. Estas conclusiones podrían ser extrapoladas a nuestro estudio, ya que los valores obtenidos de LA en sangre al principio y al final de cada sesión no presentan diferencias significativas en ninguna de las alturas de agua, con un nivel de significación de $p=0,078$. También se observó que no hay una relación creciente de los niveles de lactato a medida que aumenta la altura del agua y que en ningún caso sobrepasa la cantidad de 2 mmol/l. Este valor se considera un estado estacionario para el LA durante el ejercicio aeróbico (Rose, 1986).

En un estudio posterior realizado por Lindner et al., (2012) también estudiaron la concentración de LA en sangre de 10 caballos en el water treadmill. Cada caballo realizó un test de ejercicio que consistía en 5 etapas de 5 minutos de duración cada una, a la máxima velocidad permitida por el treadmill acuático (5m/s). La altura del agua fue aumentando en cada etapa, estas alturas fueron el 20%, 35%, 49%, 63% y 77% de la altura a la cruz. Obtuvo como resultados diferencias significativas desde el inicio hasta la etapa dos, en la que el LA aumento desde 0,8 mmol/l hasta 1,91 mmol/l, entre la etapa 2 y 3 el LA se mantuvo constante, y a partir de la etapa 3 el LA fue disminuyendo. Una vez más se comprobó que los valores del LA no sobrepasaron los 2 mmol/l al igual que

en nuestro estudio y en el estudio de Voss et al., (2012).). Lindner et al., (2012) aunque teniendo un protocolo diferente al de Voss et al., (2002) y al del presente estudio, también demostraron que la energía necesaria para la realización de ejercicios en el water treadmill se proporciona principalmente por el metabolismo aeróbico. Aun habiéndose realizado el estudio de Lindner et al., (2012) a una velocidad mucho mayor que nuestro estudio, los valores de LA nunca superaron el límite aerobio de 2 mmol/l, otra prueba más de que gracias a las propiedades del agua se trata de un ejercicio aeróbico.

En nuestro estudio encontramos algunas diferencias significativas en la media de la frecuencia cardiaca entre los test, en general la FC aumentó de forma leve a medida que la altura del agua subía, excepto hasta el nivel del codo, en la que la media de la FC se mantuvo ligeramente inferior a la media de la FC del carpo.

En un estudio realizado por Lindner (2010), se demostró que ejercitar los caballos con el agua al 80% de su altura a la cruz durante 30 minutos, inducían un menor incremento de la frecuencia cardiaca y LA en sangre durante y después del ejercicio, en relación con el ejercicio realizado al 50% o al 65% (en torno a la altura de la articulación escápulo-humeral) de su altura a la cruz, sin tener en cuenta la duración y la velocidad del ejercicio. Estos resultados podrían explicarse debido al aumento de la flotabilidad, al haber mayores niveles de agua, aunque también los efectos producidos por una mayor presión hidrostática, así como los de la temperatura del agua a causa de una mayor proporción del cuerpo cubierta por el agua, no se pueden descartar. (Lindner et al., 2012).

En el estudio realizado por Lindner (2012), hubo diferencias significativas de la media de la FC entre el inicio y la primera etapa del ejercicio, sin embargo en las siguientes cargas de ejercicio los valores permanecieron constantes entre 120-160 lat/min. independientemente de la temperatura del agua.

Los valores medios de la FC de nuestra investigación estuvieron entre 66,13 - 81,88 lat/min, valores muy similares a los obtenidos por Voss et al (2002), en cuyo estudio los valores máximos encontrados de la FC fueron de 125 lat/min. Persson (1983) encontró una relación lineal de la frecuencia cardíaca y la carga de trabajo en un intervalo de

aproximadamente 120 a 210 lat/min. La no linealidad por debajo de una tasa de 120 lat/min se atribuye a la influencia de factores psicógenos. Durante un trabajo submáximo esta psicogenicidad que influye sobre la frecuencia cardíaca del ejercicio es más pronunciada si la carga de trabajo relativa es baja (Persson, 1983) o el caballo está cerca de un estado de reposo (Krzywanek y Wittke, 1970).

Persson (1983) estableció una relación entre la frecuencia cardíaca y la velocidad como un índice de la condición física y el rendimiento. Utilizó una frecuencia cardíaca de 200 lat/min como referencia, por encima de la cual los niveles de lactato en plasma empezaron a aumentar bruscamente y el nivel de ejercicio pertinente, aparentemente coincidió con el umbral anaeróbico.

El hecho de que la frecuencia cardíaca no alcanzara un nivel de 200 lat/min explica las concentraciones bajas de lactato en sangre (cercas al nivel de reposo) después de todos los test. Los niveles relativamente bajos encontrados de la frecuencia cardíaca y de las concentraciones de lactato en sangre, cerca de los valores de reposo, deja claro que el protocolo de entrenamiento que se aplicaba, se encuentra dentro de un rango de trabajo moderado.

6. CONCLUSIONES

PRIMERA: Los valores obtenidos de lactato (LA) en sangre al principio y al final de cada sesión no presentan diferencias significativas en ninguna de las alturas de agua.

SEGUNDA: La frecuencia cardíaca (FC) aumentó de forma leve a medida que la altura del agua subía, excepto hasta el nivel del codo, en la que la media de la FC se mantuvo ligeramente inferior a la media de la FC del carpo.

TERCERA: La intensidad de trabajo realizada en water treadmill (WT) para simular un programa de entrenamiento o rehabilitación con diferentes niveles de agua es la adecuada, ya que los valores de LA y FC, no superaron los umbrales aeróbicos y por lo tanto se encuentran dentro de un ejercicio moderado.

7. RESUMEN

Valoración de la intensidad del ejercicio en una sesión simulada de entrenamiento o rehabilitación en caballos en Water Treadmill con agua a diferentes niveles.

Introducción: la terapia acuática sobre un water treadmill (WT) es un método de entrenamiento cada vez más utilizado en medicina veterinaria. Debido a que el caballo siempre está en contacto con la cinta y que el agua nos proporciona un aumento de la flotabilidad, la presión hidrostática y la viscosidad, junto con la capacidad de alterar la temperatura y la osmolaridad, el WT podría ser un método de entrenamiento perfecto para la rehabilitación del sistema músculo-esquelético.

Objetivo: el objetivo de esta investigación es evaluar la intensidad del ejercicio que realizan los caballos en una sesión simulada de entrenamiento o rehabilitación de 20 minutos al paso (6 km/h) en el WT con agua a diferente altura (sin agua, menudillo, carpo y codo), mediante la medición de la frecuencia cardíaca (FC) y del lactato (LA) en sangre.

Material y métodos: seis caballos fueron sometidos a cuatro sesiones en el Treadmill Acuático cada uno, a diferente altura de agua (sin agua, menudillo, carpo y codo) y siempre a la misma velocidad (6Km/h). En cada sesión hubo un calentamiento de 10 minutos, seguidos de 20 minutos de ejercicio y terminaba con 10 minutos de enfriamiento.

Resultados: no se han encontrado diferencias significativas entre los valores del LA obtenidos al inicio y al final de cada test. Todos los valores de LA fueron inferiores a 2 mmol/l. Si se han encontrado que si existían diferencias significativas entre los valores de la frecuencia cardíaca de los diferentes niveles de agua entre algunos test. Estos valores de la FC no sobrepasaron las 81,8 lat/min.

Palabras clave: caballos, frecuencia cardíaca, lactato, water treadmill.

8. SUMMARY

Evaluation of exercise intensity in a simulated training session or rehabilitation horses in Water Treadmill with water at different levels.

Introduction: Aquatraining is a well-established training and rehabilitation method in veterinary medicine. Due to the horse is always in contact with the treadmill and the water provides increased buoyancy, hydrostatic pressure and viscosity, with the capacity to alter the temperature and osmolarity, the water treadmill (WT) could be a perfect training method for the rehabilitation of the musculoskeletal system.

Objective: The objective of this research is to assess exercise intensity performed by the horses in a simulated training session or rehabilitation of 20 minutes (6 km / h) in the WT with water at different heights (without water, fetlock, carpus and elbow), by measuring heart rate (HR) and lactate (LA) levels.

Material and methods: six horses underwent four sessions on the Treadmill Aquatic, at different heights of water (without water, fetlock, carpus and elbow) and always at the same speed (6Km / h). In each session there was a warming of 10 minutes, followed by 20 minutes of exercise and ended with 10 minutes of cooling.

Results: there were no significant differences between the values of LA obtained at the beginning and end of each test. All values were less than 2 mmol / l. Whether we have found that there were significant differences between the values of the heart rate of the different water levels between some tests. These values did not exceed 81.8 FC lat/min.

Keywords: horses, heart rate, lactate, water treadmill.

9. BIBLIOGRAFÍA

- AMORY H., ARTT T., LIINDEN A., DESMECHT D., BONCHET M., LEKEUX P. (1993). Physiological response to cross-country phase in evening horses. *J. Equine Vet. Sci.* 13, 646-650.
- BARTMANN, M., (1990): Leistungsphysiologische Untersuchungen zum Schwimmtraining von Sportpferden. Doctoral veterinary medicine thesis, University of Munich, Germany.
- BENDER, T., KARAGULLE, Z., BALINT, G., GUTENBRUNNER, C., BALINT, P. AND SUKENIK, S. (2005). Hydrotherapy, balneotherapy, and spa treatment in pain management. *Rheumatol. Int.* 25, 220-224.
- CASTEJON F, RUBIO D, TOVAR P, VINUESA M, RIBER C (1994). A comparative study of aerobic capacity and fitness in three different horse breeds (Andalusian, Arabian and AngloArabian). *J Vet A*, 41: 645-52.
- CASTEJÓN RIBER, C. (2014). Field and treadmill exercise tests in the endurance horse: methodology, measurements and interpretation.
- COUROUCÉ A (1999). Field exercise testing for assessing fitness in French Standardbred trotters. *Vet. J.* 157(2), 112-122.
- DE FEO P, Di LORETO C, LUCIDI P, MURDOLO G, PARLANTI NI, De CICCIO A, PICCIONI F, SANTEUSANIO F (2003). Metabolic response to exercise. *J. Endocrinol. Invest.* 26(9), 851-854.
- DAVIE AJ, EVANS DL, HODGSON DR, ROSE RJ (1999). Effects of muscle glycogen depletion on some metabolic and physiological responses to submaximal treadmill exercise. *Can. J. Vet. Res.* 63(4), 241-247.
- DAVIE AJ, PRIDDLE TL, EVANS DL (2002). Metabolic responses to submaximal field exercise tests and relationships with racing performance in pacing Standardbreds. *Equine Vet. J.* 34, 112-115.

DERMAN KD, NOAKES TD (1994). Comparative aspects of exercise physiology. In: The athletic horse: principles and practice of equine sports medicine. Hodgson DR and Rose RJ (Eds), WB Saunders & Co, Philadelphia pp 13– 25.

EATON MD (1994). Energetics and performance. In: The athletic horse: principles and practice of equine sports medicine (Hodgson DR, Rose RJ, Eds). Philadelphia, Saunders Co., pp. 49-61.

ETO D, YAMANO S, HIRAGA A, MIYATA H (2006). Recruitment pattern of muscle fibre type during flat and sloped treadmill running in Thoroughbred horses. *Equine Vet. J.* 36, 349-353.

EVANS DL (2007). Review article: Physiology of equine performance and associated test of function. *Equine vet. J.* 39: 373-383.

EVANS, B., CURETON, K. AND PURVIS, J. (1978) Metabolic and circulatory responses to walking and jogging in water. *Res. Q.* 49, 442-449.

EVANS DL, RAINGER JE, HODGSON DR, EATON MD, ROSE RJ (1995). The effects of intensity and duration of training on blood lactate concentrations during and after exercise. *Equine vet J.* 18: 422-425.

EVANS DL, ROSE RJ (1987). Maximum oxygen uptake in racehorses: changes with training state and prediction from submaximal cardiorespiratory measurements. In *Equine Exercise Physiology 2* (ed. J. R. Gillespie and N. E. Robinson), pp. 52– 67. Davis, CA: ICEEP Publications.

FROBOESE, I. (1994): "Aquajogging – Einsatzmöglichkeiten in der Therapie". *Dtsch. Z. F. Sportmed.* 45 (2), 65–67.

GONDIM FJ, ZOPPI CC, PEREIRA-DA-SILVA L, DE MACEDO DV (2007). Determination of the anaerobic threshold and maximal lactate steady state speed in equines using the lactate minimum speed protocol. *Comp. Biochem. Physiol. A. Integr. Physiol.* 146(3), 375-380.

KAMIOKA, H., TSUTANJI, K., OKUIZUMI, H., MUTOH, Y., OHTA, M., HANDA, S. AND OKADA, S. (2010) Effectiveness of aquatic exercise and balneotherapy: a summary of

systematic reviews based on randomized controlled trials of water immersion therapies. *J. Epidemiol.* 20, 2-12

KING, M. R., HAUSSLER, K. K., KAWCAK, C. E., MCILWRAITH, C. W., & REISER, R. F. (2013). Mechanisms of aquatic therapy and its potential use in managing equine osteoarthritis. *Equine Veterinary Education*, 25(4), 204-209.

LACOMBE VA, HINCHCLIFF KW, TAYLOR LE (2003). Interactions of substrate availability, exercise performance, and nutrition with muscle glycogen metabolism in horses. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 223(11), 1576-1585.

LINDNER A, MOSEN H, KISSENBECK S, FUHRMANN H, SALLMANN HP (2009). Effect of blood lactate-guided conditioning of horses with exercises of differing durations and intensities on heart rate and biochemical blood variables. *J. Anim. Sci*, 87: 3211–321.

LINDNER, A., WÄSCHLE, S., & SASSE, H. H. L. (2012). Physiological and blood biochemical variables in horses exercising on a treadmill submerged in water. *Journal of animal physiology and animal nutrition*, 96(4), 563-569.

McCUTCHEON LJ, GEOR RJ, PRATT SE, MARTINEAU E, HO K (2006). Effects of prior exercise on components of insulin signalling in equine skeletal muscle. *Equine Vet. J.* 36, 330-331. PERSSON SGB (1983). Evaluation of exercise tolerance and fitness in the performance horse. In: *Equine Exercise Physiology* (Snow DH, Persson SGB, Rose RJ, Eds.). Granta Editions, Cambridge, UK, pp.441-457.

MENDEZ-ANGULO, J. L., FIRSHMAN, A. M., GROSCHEIN, D. M., KIEFFER, P. J., & TRUMBLE, T. N. (2013). Effect of water depth on amount of flexion and extension of joints of the distal aspects of the limbs in healthy horses walking on an underwater treadmill. *American journal of veterinary research*, 74(4), 557-566.

MISUMI, K., SAKAMOTO, H. AND SHIMIZU, R. (1994). The validity of swimming training for two-year-old Thoroughbreds. *J. Vet. Med. Sci.* 56, 217-222.

MIYOSHI, T., SHIROTA, T., YAMAMOTO, S.-I., NAKAZAWA, K. AND AKAI, M. (2004). Effect of the walking speed to the lower limb joint angular displacements, joint moments and ground reaction forces during walking in water. *Disabil. Rehabil.* 26, 724-732.

MOOIJ, M. J. W., JANS, W., DEN HEIJER, G. J. L., DE PATER, M., & BACK, W. (2013). *Veterinary Journal*, 198, e120-e123.

MUNSTERS C, VAN IWAARDEN A, VAN WEEREN R, SLOET VAN OLDRUITENBORGH-OOSTERBAAN MM (2014). Exercise testing in Warmblood sport horses under field conditions. *The veterinary journal*, 202: 11-19.

MURAKAMI, M.; IMAHARA, T.; INUI, T.; AMADA, A.; SENTA, T.; TAKAGI, S.; KUBO, K.; SUGIMOTO, O.; WATANABE, H.; IKEDA, S.; KAMEYA, T., (1999). Swimming exercises in horses. *Experimental reports of Equine Health Laboratory* 13, 27–49.

MUÑOZ A, RIBER C, SANTISTEBAN R, LUCAS RG, CASTEJON FM (2002). Effect of training duration and exercise on blood-borne substrates, plasma lactate and enzyme concentrations in Andalusian, Anglo-Arabian and Arabian breeds. *Equine Vet. J.* 34, 245-251.

MUÑOZ A, SANTISTEBAN R, RUBIO MD, AGUERA EI, ESCRIBANO BM, CASTEJON FM (1998). Locomotor, cardiocirculatory and metabolic adaptations to training in Andalusian and Anglo-Arabian horses. *Res. Vet. Sci.* 25-31.

NANKERVIS, K. J., FINNEY, P., & LAUNDER, L. (2015). Water depth modifies back kinematics of horses during water treadmill exercise. *Equine veterinary journal*.

NANKERVIS, K. J., & WILLIAMS, R. J. (2006). Heart rate responses during acclimation of horses to water treadmill exercise. *Equine Veterinary Journal*, 38(S36), 110-112.

POYHONEN, T., KESKINEN, K., KYROLAINEN, H., HAUTALA, A., SAVOLAINEN, J. AND MALKIA, E. (2001). Neuromuscular function during therapeutic knee exercise underwater and on dry land. *Arch. Phys. Med. Rehabil.* 82, 1446-1452.

ROSE, R.J. (1986). Endurance exercise in the horse--a review. Part I. *Br Vet J.* 142(6):53241.

SCARTONI, F. R., DANTAS, E. H. M., & DANTAS, B. H. A. (2002). La influencia de los diversos tipos de estrategia, utilizados en las lecciones de hidrogimnasia en los parámetros fisiológicos del practicante.

SCOTT, R., NANKERVIS, K., STRINGER, C., WESTCOTT, K., & MARLIN, D. (2010). The effect of water height on stride frequency, stride length and heart rate during water treadmill exercise. *Equine Veterinary Journal*, 42(s38), 662-664.

SPRIET LL, WATT MJ (2003). Regulatory mechanisms in the interaction between carbohydrate and lipid oxidation during exercise. *Acta Physiol. Scand.* 178(4), 443-452.

THOMAS, D. P.; FREGIN, G. F.; GERBER, N. H.; ALLES, N. B., (1980) Cardiorespiratory adjustments to tetheredswimming in the horse. *Pflü gers Archiv* 385, 65–70

TRILK JL, LINDNER A, GREEN HM, ALBERGHINA D, WICKLE SJ (2002). A lactate-guided conditioning programme to improve endurance performance. *Equine Vet. J.* 34, 122-125.

VALBERG S (1986). Glycogen depletion patterns in the muscle of Standardbred trotters after exercise of varying intensities and durations. *Equine Vet. J.* 18(6), 479-484.

VOSS, B., MOHR, E., & KRZYWANEK, H. (2002). Effects of Aqua-Treadmill Exercise on Selected Blood Parameters and on Heart-Rate Variability of Horses. *Journal of Veterinary Medicine Series A*, 49(3), 137-143.

YAMAZAKI, F., ENDO, Y., TORII, R., SAGAWA, S. AND SHIRAKI, K. (2000). Continuous monitoring of change in hemodilution during water immersion in humans: effect of water temperature. *Aviat. Space Environ. Med.* 71, 632-639.

10. LISTADO DE TABLAS, FOTOGRAFÍAS, ABREVIATURAS Y GRÁFICAS.

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Edad y peso de los caballos (Pág 7).

Tabla 2. Datos de temperatura ambiental en diferentes test (Pág 11).

Tabla 3. Datos de humedad ambiental en diferentes test (Pág 12).

Tabla 4. Datos de temperatura del agua en diferentes test (Pág 12).

Tabla 5. Datos sobre el LA en sangre al inicio y al final de cada test (Pág 13).

Tabla 6. Datos sobre la FC en diferentes test (Pág 14).

Tabla 7. Prueba de rango con signo de Wilcoxon (Pág 15).

LISTADO DE FOTOGRAFÍAS

FOTOGRAFÍA 1. Unidad completa del treadmill acuático (Pág 8).

FOTOGRAFÍA 2. Panel de control del treadmill acuático (Pág 8).

FOTOGRAFÍA 3. Componentes del pulsómetro utilizados para monitorizar la frecuencia cardiaca (Pág 9).

FOTOGRAFÍA 4. Lactacidómetro (Pág 9).

FOTOGRAFÍA 5. Caballo limpio, preparado y desinfectado antes de entrar en el treadmill acuático (Pág 10).

LISTADO DE ABREVIATURAS

HR: Frecuencia cardiaca.

LA: Lactato.

WT: Water Treadmill

LISTADO DE GRÁFICAS

GRÁFICA 1: Valores de lactato al inicio y al final de cada de test, y entre los diferentes test (Pág 16).

GRÁFICA 2. Valores de la FC en los diferentes test (Pág 17).

AGRADECIMENTOS

Agradecer a todo el equipo de medicina deportiva equina ya que ha sido un gran apoyo durante mi formación académica en la Universidad de Córdoba, entre ellos a Francisco Castejón, Cristina Riber y Ana Muñoz, que han atendido siempre a mis numerosas dudas cuando las necesitaba. Agradecer a María Esgueva por su constancia y esfuerzo en hacerme aprender sobre el mundo del caballo de deporte y sobre todo en cómo tratar a los caballos, y por último, agradecer también a mis compañeros del CEMEDE, ya que sin su colaboración no hubiera sido posible la realización de este estudio.