



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS VETERINARIAS Y PECUARIAS
ESCUELA DE CIENCIAS VETERINARIAS



**“ESTUDIO DE LOS CAMBIOS ADAPTATIVOS EN FRECUENCIA
CARDÍACA Y VELOCIDAD DURANTE LA ETAPA INICIAL DEL
ENTRENAMIENTO EN EQUINOS FINA SANGRE DE
CARRERAS”**

DANIELA PAZ TRUJILLO AGUILERA

Memoria para optar al Título
Profesional de Médico Veterinario
Departamento de Ciencias
Biológicas

PROFESOR GUÍA: RAMÓN MARTÍNEZ PEÑALOZA

**SANTIAGO, CHILE
2012**



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS VETERINARIAS Y PECUARIAS
ESCUELA DE CIENCIAS VETERINARIAS



**“ESTUDIO DE LOS CAMBIOS ADAPTATIVOS EN FRECUENCIA
CARDÍACA Y VELOCIDAD DURANTE LA ETAPA INICIAL DEL
ENTRENAMIENTO EN EQUINOS FINA SANGRE DE
CARRERAS”**

DANIELA PAZ TRUJILLO AGUILERA

Memoria para optar al Título
Profesional de Médico Veterinario
Departamento de Ciencias
Biológicas

NOTA FINAL:

	NOTA	FIRMA
PROFESOR GUÍA : RAMÓN MARTÍNEZ PEÑALOZA
PROFESOR CONSEJERO: ENRIQUE PINTO
PROFESOR CONSEJERO: ADOLFO GODOY

**SANTIAGO, CHILE
2012**

MEMORIA DE TÍTULO

“ESTUDIO DE LOS CAMBIOS ADAPTATIVOS EN FRECUENCIA CARDÍACA Y VELOCIDAD DURANTE LA ETAPA INICIAL DE ENTRENAMIENTO EN EQUINOS FINA SANGRE DE CARRERA”.

“HEART RATE AND VELOCITY ADAPTIVE CHANGES DURING THE INITIAL TRAINING PERIOD ON THOROUGHBRED RACE HORSE”.

Daniela Paz Trujillo Aguilera*

*Departamento de Ciencias Biológicas, Facultad de Ciencias Veterinarias y Pecuarias, Universidad de Chile, Santiago, Chile.

RESUMEN

En esta investigación, se estudiaron los cambios adaptativos de la frecuencia cardíaca (FC) y velocidad (V) en equinos Fina Sangre de Carrera (FSC), en la etapa inicial del entrenamiento, a medida que se incrementó la intensidad del ejercicio. Se analizó la FC y la velocidad durante este proceso; también cuando la FC alcanzó los 45 kph. Se registró la mayor velocidad y su duración. Se caracterizó el patrón de declinación de FC posterior al ejercicio y se estimó las variables fisiológicas que mejor evidenciaron la adaptación al ejercicio. Para esto, se utilizaron 14 equinos FSC de 2 años, sin distinción de sexo, en el Club Hípico de Santiago (CHS). Todos pensionados y entrenados por Preparadores del CHS. Se trabajó en tiempo estable de verano, pista de arena y en carreras simuladas. Para los registros se utilizó un equipo con conexión satelital (GPS) y sensores para la actividad eléctrica del corazón. Se comprobó que las curvas de FC y V en equinos presentan un altísimo paralelismo, mostrando mayor cercanía a medida que avanzaba el entrenamiento. Al alcanzar la FC_{max} se observó un mantenimiento de ella, formando una pequeña meseta, para luego declinar paralelo a la curva de velocidad. La FC_{max} y V_{max} aumentaron durante este proceso de preparación. Para evaluar la adaptación física mediante las variables FC_{45} , $\%FC_{45}$ y V_{200} , se debe realizar las pruebas bajo las mismas condiciones, uniformando la distancia versus tiempo de entrenamiento. La FC declinó paralelamente con la velocidad una vez finalizado el trabajo. Las variables VFC_{max} y FC post ejercicio se mostraron adecuadas para evaluar los progresos en la aptitud física del ejemplar.

Palabras Clave: Frecuencia cardíaca; Velocidad; Entrenamiento inicial; Equinos Fina Sangre de Carrera.

SUMMARY

As the training intensity increases the heart rate (HR) and velocity (V) adaptive changes were analyzed on Thoroughbred horses during the initial training period; was evaluated the HR and V through this process; also when the HR reaches 45 kph; was recorded the maximal velocity and its duration; was characterized the post exercise HR declination pattern and was estimated the physiological variables that made a better approach to the physical adaptation. To do this, were used 14 Thoroughbred horses of 2 years old, without sex distinction, in the equestrian club *Club Hípico de Santiago* (CHS). All of them housed and trained with horse trainers from the CHS, the exercise routine was made on sand court and based on simulated races. To record, was used a GPS equipment and sensors for the electrical heart activity. Was achieved to determine that in foals the HR and V curves are parallel, showing closer as the training progresses. When maximal HR was reached it showed a *plateau*, and then declined concurrently with the V. The maximal HR and maximal V increases as the training was developed. Also it could be determinate that to evaluate fitness by the HR_{45} , $\%HR_{45}$, and V_{200} variables, it should be done under the same conditions, standardizing the distance and time of training. Once completed the exercise routine the HR declined parallel to the V. The VHR_{max} and HR post exercise variables demonstrated to be the most appropriate to evaluate the fitness level in the Thoroughbred horse.

Key words: Heart rate; Velocity; Initial training; Thoroughbred horse.

1. INTRODUCCIÓN

Los equinos Fina Sangre de Carrera (FSC) han sido seleccionados durante décadas para que aplicando una carga atlética proporcionalmente creciente en el entrenamiento, se intente lograr el rendimiento que mostraron sus progenitores.

Los estudios realizados en el genoma equino reafirman que los aspectos genéticos son determinantes en el potencial y rendimiento atlético. Señalando que la heredabilidad de la distribución porcentual de los diferentes tipos de fibras musculares es alta y escasamente modificable con el entrenamiento. En el medio hípico, los métodos de entrenamiento y evaluación de los resultados coinciden - en general - en incluir una carga atlética progresiva en distancia y velocidad, considerando especialmente el tiempo empleado en la distancia recorrida y en las características locomotivas de finalización. Habitualmente no se da importancia a los fenómenos fisiológicos que ocurren en los primeros minutos del post ejercicio.

De acuerdo a lo recién señalado, siendo el entrenamiento inicial un proceso que determina cambios fisiológicos adaptativos multisistémicos, su monitoreo y registro en el momento mismo que se enfrenta a la carga atlética, es altamente conveniente y justificado, para así obtener un análisis científico del trabajo realizado. Generando argumentos para establecer control sobre los cambios necesarios para asimilar el entrenamiento.

1.1. Adaptación Cardiovascular

Conforme avanza el entrenamiento -a iguales cargas atléticas- se presenta un menor incremento de la frecuencia cardíaca (FC). Esta respuesta tiene relación con un progresivo incremento del tono vagal sobre el corazón; con ello, la fase diastólica experimenta un menor acortamiento, lo que se traduce en un mejor llene ventricular y así también, una mejor oxigenación miocárdica (Ganong, 1998; Martínez, 1989). Simultáneamente, el corazón experimenta cambios anatómicos en relación con una hipertrofia de tipo excéntrico (Reece, 2004; Young, 2003), con engrosamiento de la pared libre ventricular izquierda y mayor capacidad diastólica, todo lo cual se traduce en una bomba más eficiente, posibilitando una adecuada distribución del flujo sanguíneo y oxigenación tisular, ya que el consumo de oxígeno crece notablemente en el ejercicio (Brooks, 1985). Como consecuencia de esta adaptación, el corazón puede eyectar un mayor volumen en cada fase sistólica, sin tener que recurrir a una mayor frecuencia cardíaca (Evans *et al*, 2005). Esta adaptación cardiológica queda reflejada en la disminución de la FC en reposo, cuando ya va culminando el proceso preparatorio (Mc Ardle

et al, 1994). Existe consenso de que un adecuado funcionamiento de la bomba cardíaca en ejercicio, facilita la obtención de energía necesaria para retardar la fatiga (Evans *et al*, 2005). Este proceso es dependiente de la energía entregada por la síntesis aeróbica y anaeróbica de ATP, cuya producción se logra a partir de los sustratos presentes a nivel muscular y hepático, los que a su vez dependen del riego sanguíneo al que son expuestos (Mc Ardle *et al*, 1994).

1.2. Relación entre frecuencia cardíaca, consumo de oxígeno y velocidad

La respuesta inicial al comienzo del ejercicio es el aumento de la actividad simpático-adrenal y la secreción de hormonas adenohipofisarias (Reece, 2004; Young, 2003). En el equino el glucocorticoide predominante es el cortisol. Los niveles de esta hormona aumentan durante e inmediatamente después del ejercicio. Así mismo las catecolaminas inician muchas de las respuestas metabólicas que se requieren en el mantenimiento del ejercicio intenso. Estas respuestas generalmente son proporcionales a la intensidad del trabajo realizado (Martínez *et al*, 1988). Entre las respuestas que se desarrollan está el aumento de la frecuencia cardíaca, el incremento del volumen de eyección, la redistribución del flujo sanguíneo, la facilitación de la transmisión neuromuscular en el músculo esquelético, la relajación bronquial, etc. (Reece, 2004). La habilidad del corazón para eyectar suficiente sangre para responder a las necesidades metabólicas del ejercicio y proveer la redistribución efectiva de sangre al sistema músculo-esquelético, es esencial (Reece, 2004) (Figura 1).

Figura 1. – Redistribución de flujo sanguíneo en Equinos en ejercicio intenso. (Obtenido de Reece, 2004, Duke's Physiology of Domestic Animals, 12 Edition, Cornell University Press, Ithaca, NY) (12).

REPOSO	EJERCICIO INTENSO
cerebro-10%	cerebro-2%
corazón-5%	corazón-5%
piel-5%	piel-5%
músculo-15%	músculo-80%
riñón-20%	riñón-2%
lecho esplácnico-30%	lecho esplácnico-3%
otro-15%	otro-3%

El aumento del gasto cardíaco (GC) con el ejercicio, es prioritario para atender el aumento del consumo de oxígeno muscular. En los equinos el GC durante el ejercicio puede incrementar 5 a 8 veces su valor en reposo. Así mismo, el consumo de oxígeno (VO_2) puede aumentar 40 veces o más, durante el ejercicio intenso (Reece, 2004). El VO_2 en el equino aumenta según la intensidad del ejercicio, pero, cuando se aproxima a velocidades de 45 kph, el aumento del

consumo tiende a detenerse, aunque siga en alza su velocidad (Martínez, 1989), alcanzando el consumo de oxígeno máximo (VO_{2max}). Se sabe que el monto de este consumo es un indicador de esfuerzo y del nivel de condición física de un individuo. El VO_{2max} aumenta en respuesta a la intensidad y duración del entrenamiento de cada ejemplar (Evans y Rose, 1988; Rose y Evans, 1987), por lo tanto está relacionado con el tipo de trabajo físico que se realiza, así también con la vía metabólica de obtención de energía. Por consiguiente, la energía aeróbica predomina mientras mayor sea la distancia recorrida en pista; por ejemplo, en carreras de 1600 metros con velocidades cercanas a 50 kph, la energía aeróbica predomina en un 80% (Evans *et al*, 2005).

La resistencia al ejercicio está relacionada con la optimización funcional de los sistemas cardiopulmonar y musculoesquelético en cada individuo; ambos sistemas tienen “memoria”, y su mejor rendimiento dependerá en gran medida del número de veces en que se enfrente la misma carga atlética (Mc Ardle *et al*, 1994). Los ejercicios de acondicionamiento son un mecanismo por el cual la capacidad física puede ser optimizada (Reece, 2004). La carga atlética de entrenamiento puede ser incrementada en función de la velocidad (V), distancia, duración y frecuencia del ejercicio (Boffi, 2006).

Distintos autores (Boffi, 2006; Brooks, 1985; Evans y Rose, 1988; Evans *et al*, 2005; Hodgson *et al*, 1987; Kubo *et al*, 1984; Rose y Evans, 1987) concuerdan que en equinos atletas, la FC muestra un aumento en concordancia con el VO_2 y con la V, diferenciándose en el punto de detención de su incremento. Habiéndose logrado una frecuencia cardiaca máxima (FC_{max}) y VO_{2max} , la velocidad máxima aún puede crecer (Rose y Evans, 1987; Persson, 1983). Debido a la dificultad de registrar el VO_{2max} en pista, se ha sugerido que la velocidad a los 200 latidos por minuto (lpm) (V_{200}), es un indicador de la capacidad de trabajo de un ejemplar; para esto se consideró que en equinos FSC la FC comienza perder su congruencia con la intensidad de ejercicio, cuando está sobre los 210 lpm (Persson, 1983).

1.3. Evaluación de intensidad de trabajo físico

Para evaluar la intensidad de trabajo durante un ejercicio se puede utilizar el VO_{2max} , la concentración de lactato en sangre, la velocidad, duración de la carrera y la FC_{max} (Boffi, 2006). La FC_{max} , se trabaja en función de un porcentaje de ella y es individual. Es decir, un ejercicio a una misma FC generará una exigencia distinta entre dos equinos (Boffi, 2006). Se han reportado valores de FC_{max} entre 212-239 lpm (Guyton y Hall, 2004). Por lo que a una FC de

200 para un equino con una FC_{max} de 212, estaría trabajando a 94% de su FC_{max} , comparado con un 84% para un equino con una FC_{max} de 239 lpm (Young, 2003).

1.4. Indicadores de aptitud física

Uno de los parámetros que permite evaluar la aptitud física, es la FC en la cual se alcanza el umbral anaeróbico. Éste se logra a una velocidad promedio de 45 kph (FC_{45}), momento en que el equino comienza a elevar exponencialmente la concentración de lactato sanguíneo si crece la velocidad (Martínez *et al*, 1988). Una vez que la concentración llega a los 4 mmol/L., el lactato producido no se puede revertir a piruvato en hígado y músculos, y comienza su acumulación. Esto produce consecuentemente una disminución del pH sanguíneo y contribuye a la fatiga (Reece, 2004; Boffi, 2006); lo que ha ocurrido es que hubo necesidad de reclutar un mayor número de fibras musculares anaeróbicas, capaces de generar velocidad, pero generando lactato (Brooks, 1985; Martínez *et al*, 1988). El Umbral Anaeróbico es un buen indicador de aptitud física individual, por lo que se usa para comparar entre trabajos de un mismo equino (Equitronics, 2006).

Se ha descrito además, un indicador que se elabora de la razón entre la FC_{45} y la FC máxima expresado en porcentaje (%FR45); éste puede ser comparable entre ejemplares, no está influenciado por factores excitables como en el trote y no requiere de un trabajo rápido (mayor a 50 kph) para su obtención. (Equitronics, 2006). Permite evaluar la capacidad aeróbica y por ende la aptitud física. Otro indicador, como se mencionó anteriormente, es el V_{200} en donde se registra la velocidad cuando el equino se encuentra a 200 latidos por minuto; en esta prueba, se espera que a medida que se avance en el entrenamiento el equino presente una mayor velocidad en los mismos 200 lpm (Persson, 1983).

También es posible registrar la velocidad en que se alcanza la frecuencia cardíaca máxima (VFC_{max}), la que es un indicador de capacidad aeróbica. Con ella se puede medir la aptitud física, resultando útil para comparar equinos; pero como la FC alta en el trote, puede verse influenciada por otros factores, el ejemplar debe ir a galope con aceleración progresiva para su evaluación (Equitronics, 2006).

En este estudio se utilizó un equipo con tecnología satelital. Habiéndose evaluado los cambios de la FC con el entrenamiento y su relación con la velocidad lograda en cada momento de trabajo; permitiendo conocer en forma científica y confiable, la variable más adecuada para evaluar progreso físico y la recuperación post ejercicio.

2. MATERIAL Y MÉTODO

2.1. Descripción de la muestra

Se evaluaron 14 equinos FSC sin distinción de sexo - machos enteros, castrados y hembras - clínicamente sanos, entre 18 y 24 meses de edad. La mantención y nutrición fue similar para todos los ejemplares incluidos en el estudio. Así mismo, todos los equinos fueron mantenidos bajo un programa sanitario y de salud guiado por un Médico Veterinario.

Los equinos se mantuvieron con un galope diario, incluyendo un trabajo en velocidad y distancia variable en pista de arena una vez por semana (oportunidad donde se realizaron las evaluaciones). Fueron pre-ejercitados con un trote suave (aprox. 10 kph). Al terminar el trabajo, caminaron bajo registro, hasta el regreso a su correspondiente corral, habiendo transcurrido no menos de 10 minutos.

2.2. Material para obtención de muestra

Para la medición de la frecuencia cardíaca y velocidad, se utilizó el equipo E-Trakka®, que consta básicamente de una carpeta con un módulo de control electrónico fijado a ella, la que se ubica bajo la montura del jinete. Bajo la montura quedan los dispositivos del equipo, son dos electrodos cardíacos que penden de la carpeta y son ubicados en un punto cercano a la cruz del costado derecho y el otro donde está el latido ventricular izquierdo, en el cuarto espacio intercostal y sobre la línea del encuentro. La información captada por el equipo es enviada a un satélite de posicionamiento global (GPS), el cual la entrega al módulo de control, desde donde fueron traspasados a un computador habilitado con el software E-Trakka® lo que permitió el posterior análisis de los datos registrados. La información obtenida, reveló y graficó el registro de la FC segundo a segundo, y de la velocidad alcanzada durante el desplazamiento en pista. Según los datos captados por el GPS, fue posible analizar la gráfica entregada por el software E-Trakka®, interpretándose los datos registrados.

2.3. Obtención de la muestra

Se procedió a instalar el equipo E-Trakka® antes del inicio de los trabajos, y a desmontarlo habiendo transcurrido, al menos, 8 a 10 minutos después del ejercicio realizado.

La evaluación durante el ejercicio, se programó con el preparador a modo de no interferir en el proceso normal de entrenamiento. Consecuentemente se estableció el registro de los trabajos,

cuando los equinos entrenaron en 700 y posteriormente en 1000 metros, para su posterior análisis. Por lo que las variables sólo fueron monitoreadas en la distancia de 700 y de 1000 metros.

2.4. Variables a considerar

Las variables que se consideraron fueron la FC y V en: los 13 kph, correspondiente a velocidad de trote (4), comenzando con ella como tiempo 0, después a los 6, 12, 18, 24, 30, 36, 42, 48, 54, 60 y 66 segundos; posteriormente tomando como segundo 0 el lugar de la meta. A partir de éste, 30, 60 y 90 segundos después. El punto de la meta se fijo en las coordenadas $-33^{\circ}46'15''$ y $-70^{\circ}66'94''$, ésta fue determinada por medio de GPS. Además, la V y FC máxima, la FC cuando alcanzaron los 45 kph, la duración de V máxima. Una vez finalizada la obtención de los registros, se pudo determinar las variables: V_{200} , VFC_{max} y el $\%FC_{45}$.

La evaluación fue realizada de manera individual y grupal, aplicándose un análisis de varianza para evaluar la FC y V, una línea de regresión para evaluar la FC y la V juntas, la prueba “t” para evaluar también la FC_{45} y el VFC_{max} ; finalmente, la prueba de correlación de Pearson para evaluar: tiempo V_{max} , V_{200} , FC_{max} , V_{max} , FC_{45} , $\%FC_{45}$ y VFC_{max} .

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La FC y V mostraron su relación lineal hasta producirse la FC_{max} , hecho conocido y descrito (Evans, 1985), que se muestra en la figura 2.

Gráfico 1. Distribución de FC promedio (DE) según tiempo (700 mts).

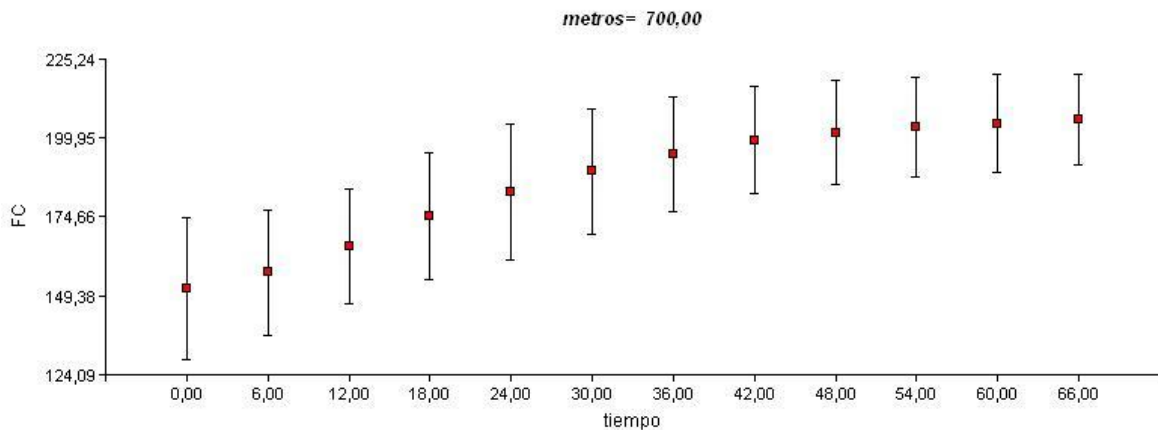


Gráfico 2. Distribución de FC promedio (DE) según tiempo (1000 mts).

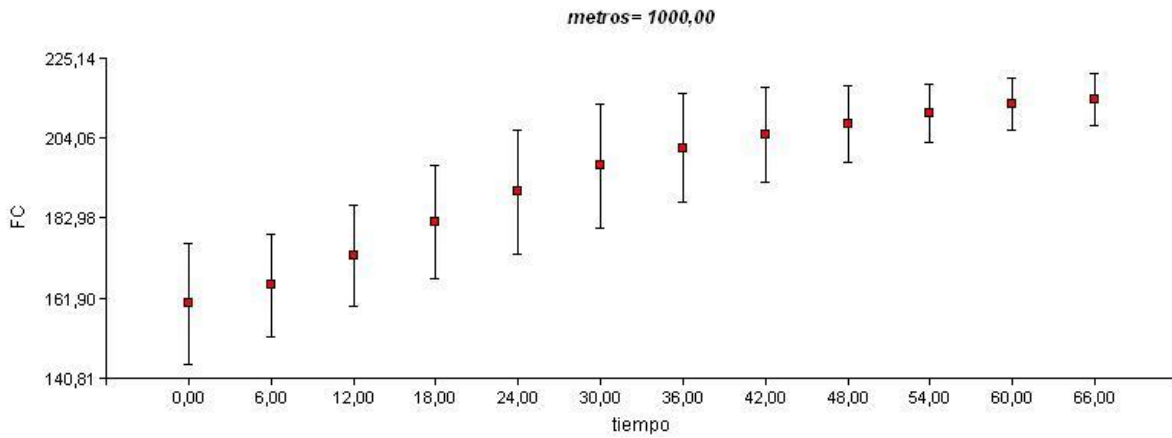


Gráfico 3. Distribución de V promedio (DE) según tiempo (700 mts).

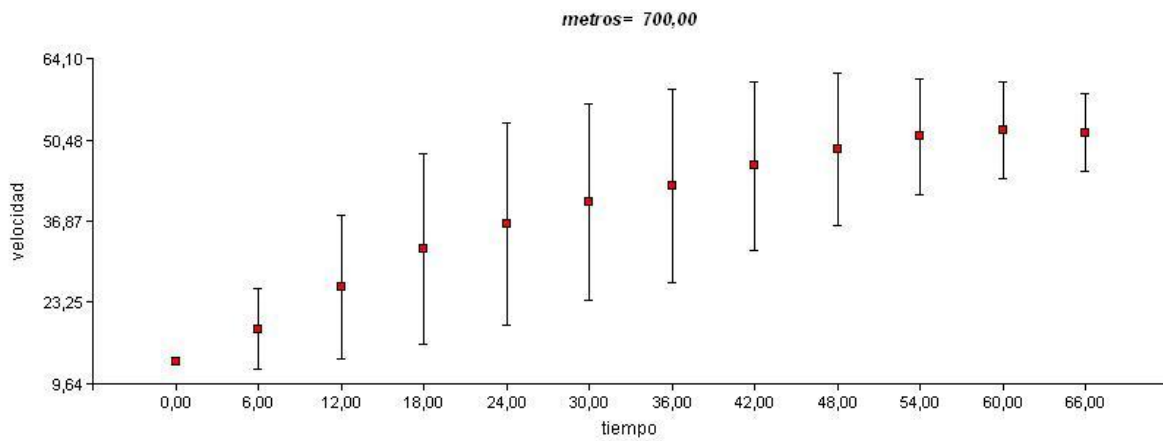
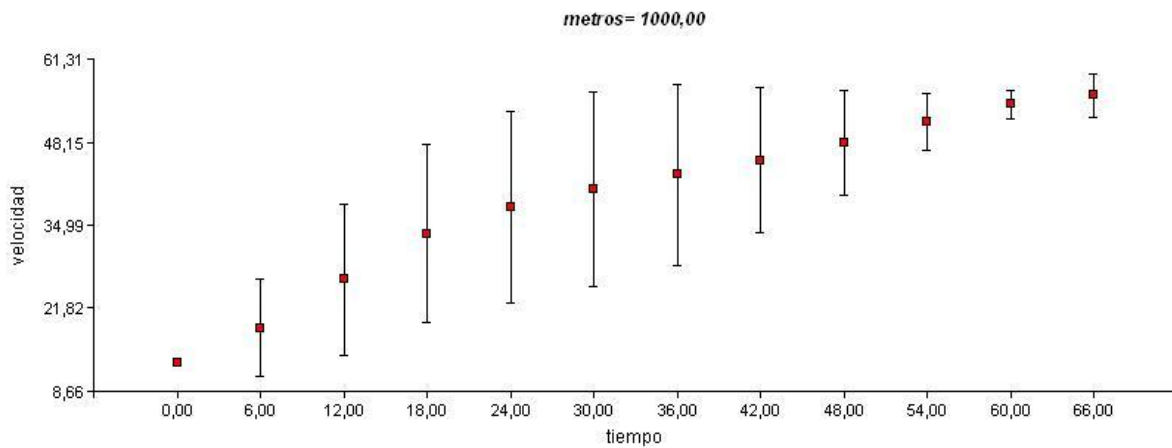


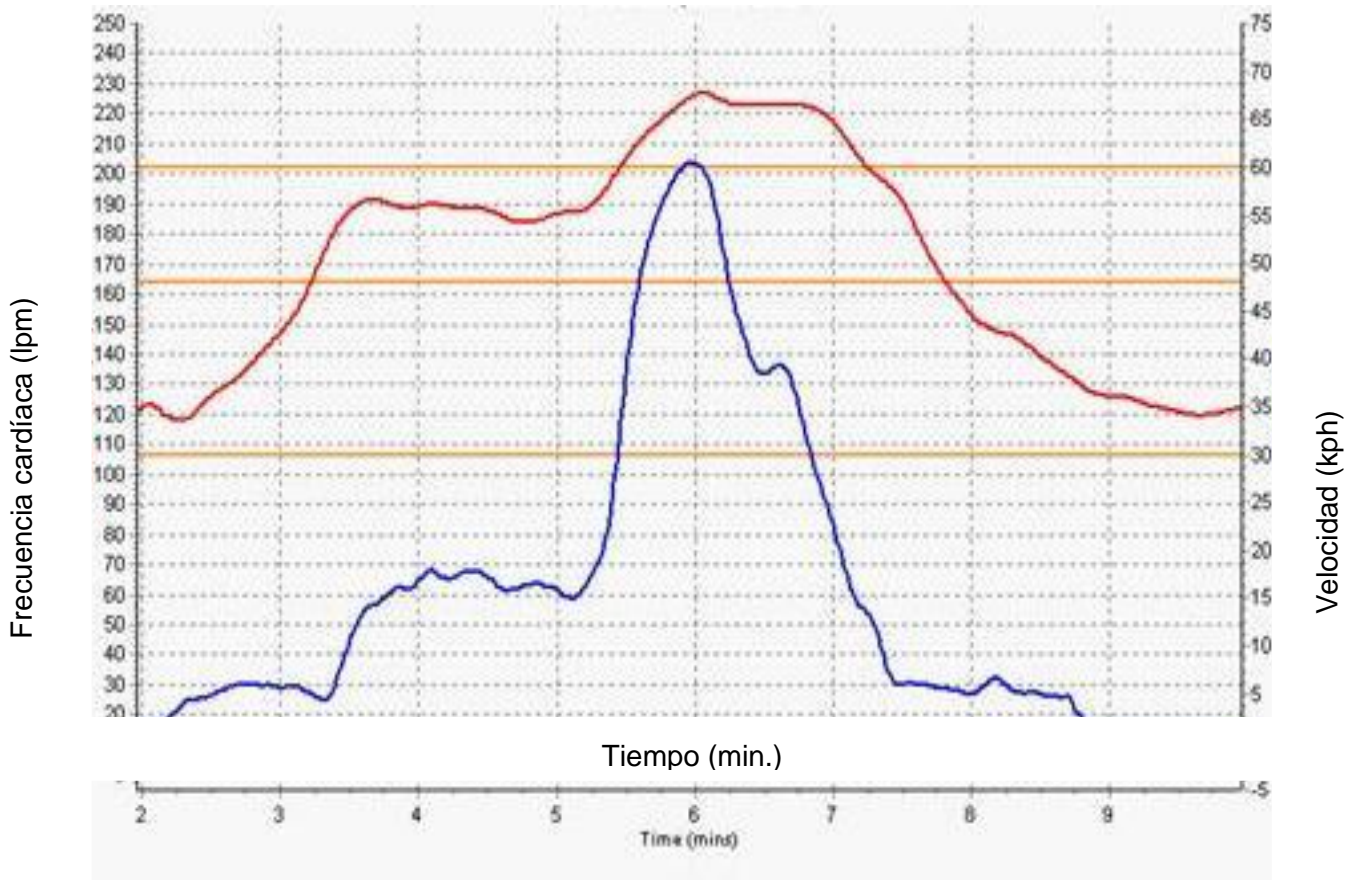
Gráfico 4. Distribución de V promedio (DE) según tiempo (1000 mts).



En los gráficos 1 y 2 se puede evidenciar el comportamiento de la FC promedio en los equinos, con sus respectivas desviaciones estándar, en relación al tiempo (seg. 0 – 66) en ambas distancias recorridas; así también en los gráficos 3 y 4 se puede evaluar la V con respecto al tiempo. En los gráficos se destaca que, al aumentar la distancia recorrida, la FC y la V se hacen más homogéneas en los individuos evaluados.

Al comparar ambas distancias, hubo un aumento en la FC máxima y la V máxima en la medida que los equinos avanzaron en su preparación física. Es importante recalcar, que para que un equino logre trabajar los 1000 metros, debe haber pasado por al menos dos semanas de preparación desde que trabajó los 700 metros previos. Por lo que se demostró que ambas variables aumentan durante el entrenamiento, sin dejar de valorar que la proporción de su aumento es individual.

Figura 2. Congruencia entre FC y V en un equino FSC durante el entrenamiento inicial en pista de arena. La curva roja representa la FC y la azul la V. Analizado con E-Trakka (4). En los datos obtenidos durante el trote y galope, por medio de una línea de regresión, se observó que a nivel



individual la FC y la V tienen una correlación positiva y directa, con coeficientes de correlación $r \geq 0,8$, a nivel individual en 700 y 1000 metros, y a nivel grupal de $r = 0,75$ y $r = 0,79$, en 700 y

1000 metros, respectivamente (Gráfico 5 y 6). Esto implica que en la medida que una variable aumenta, la otra también lo hace hasta alcanzar la FC_{max} . Se ha descrito que la línea de regresión está asociada con el nivel de entrenamiento (Persson, 1983).

Gráfico 5. Relación entre la FC y V en 700 metros. Análisis realizado mediante el programa Infostat (Infostat, 2011).

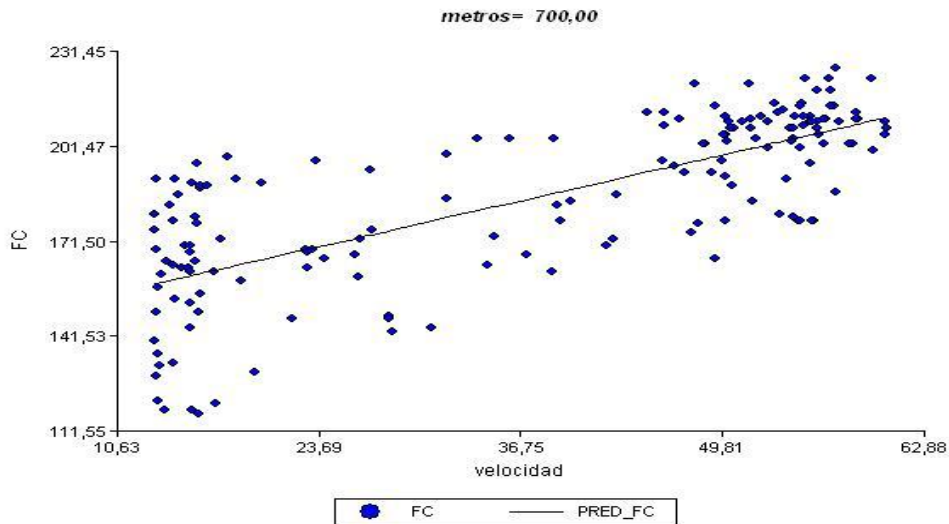
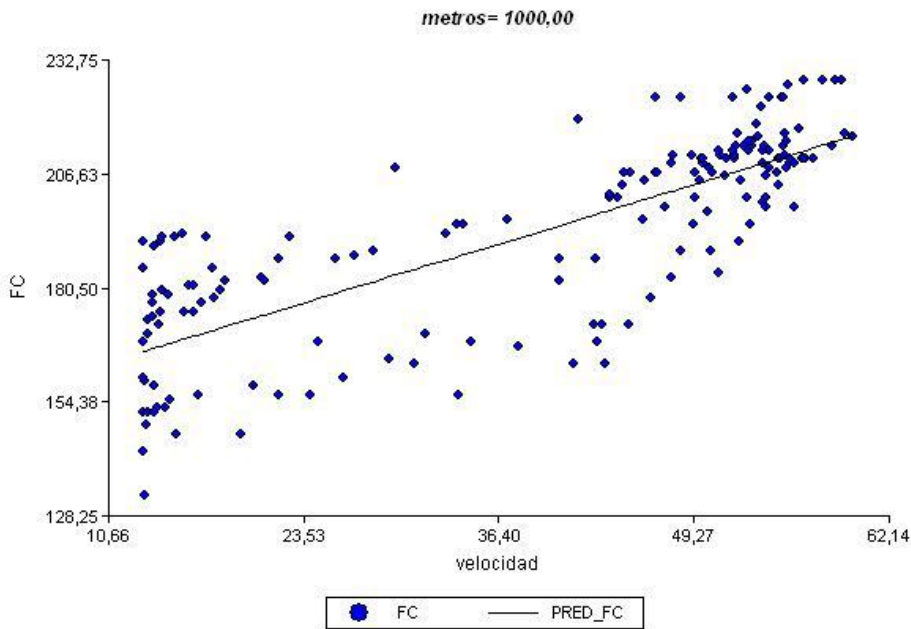


Gráfico 6. Relación entre la FC y V en los 1000 metros. Análisis realizado mediante Infostat (Infostat, 2011.)

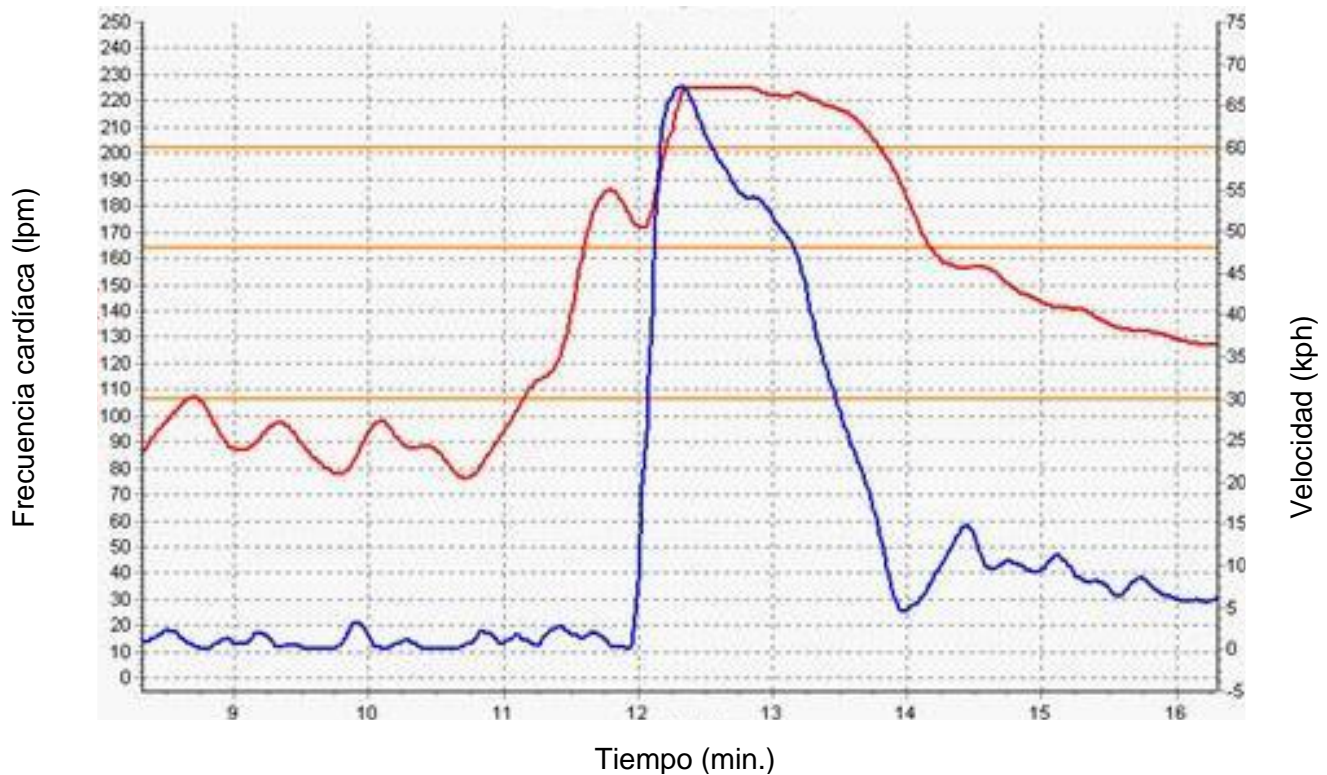


En los equinos fue habitual encontrar que durante los trabajos, al alcanzar la FC_{max} , la curva

presenta un periodo de mantención de esa FC, adquiriendo forma de meseta. Ésta es sostenida incluso posterior a la llegada de la meta, a pesar de la abrupta disminución de la velocidad, como se muestra en la Figura 2.

Se debe aclarar que los equinos durante los trabajos de entrenamiento, no se exigen en forma máxima. En cambio, cuando son llevados al Partidor (momento en que se realiza un trabajo en velocidad máxima en una distancia de 400 metros), sí se puede afirmar que se acercan a su potencial máximo como en carreras oficiales. Al monitorearlos en esa instancia el equino presenta curvas paralelas, en algunos momentos sobrepuestas, de FC y V (ver Figura 3). Además queda de manifiesto que el esfuerzo físico en partidor, es altamente exigente y con potencial riesgo a sufrir lesiones, debido a que es un trabajo físico de exigencia máxima sin previa ejercitación, pero es un tema que se aleja de los objetivos de esta tesis. Quizás podría ser motivo para otro estudio.

Figura 3. FC y V en un individuo realizando una prueba en partidor. La curva roja, representa la FC y la azul, la V. La línea azul muestra como el equino en un par de segundos alcanza 67 kph. Analizado con E-Trakka (Equitronics, 2006).



Se encontraron diferencias estadísticamente significativas en los individuos para la FC_{45} en la medición de los 700 y 1000 metros (Tabla 1). A nivel grupal comparando las medias en los distintos trabajos (700 y 1000 metros), hubo un incremento promedio de la FC a los 45 kph de un 6.5%.

Tabla 1. Diferencias de FC_{45} entre un trabajo y otro (700 y 1000 metros), considerando sus medias en ambas distancias registradas ($p \leq 0,5$).

Variable	n	Media	DE	t	p
Frecuencia Cardiaca 45kph -700 mts	14	182,64	11,6	-2,271	0,041
Frecuencia Cardiaca 45kph -1000 mts	14	194,50	15,1		

Se esperaba que con mayor tiempo de entrenamiento se lograra una disminución de la variable FC_{45} , implicando que el equino debía esforzarse menos físicamente para lograr una misma velocidad, (45 kph). En este estudio se observó un aumento de la FC_{45} desde la medición en 700 a la de 1000 metros. Lo que estaría indicando que la diferencia de 300 metros a este nivel de preparación, sí influye en la proporción de aumento de la FC. De modo que para evaluar el cambio de la FC_{45} se debe realizar sobre la misma distancia después de haber recibido un mayor tiempo de entrenamiento, sin modificar pista ni jinete.

En relación a las otras variables, a nivel de grupo, hubo diferencias en V_{200} y en el $\%FC_{45}$, pero no fueron las esperadas para evaluar su rendimiento, debido a que su valoración se hizo en distancias diferentes. En la variable VFC_{max} no hubo diferencias estadísticamente significativas, pero sí en terreno. Se debe tener en cuenta que en la pista, una diferencia de 1 kph puede hacer la diferencia para ganar una carrera (tabla 2).

Tabla 2. Diferencias, a nivel grupal, entre los 700 y 1000 metros, en la variable VFC_{max} .

Variable	n	Media	DE	t	P
Velocidad en FC máxima 700 metros	14	53,8	7,9	-0,735	0,475
Velocidad en FC máxima 1000 metros	14	55,6	5,8		

Se evidencia el progreso del rendimiento físico de los ejemplares, en la variable VFC_{max} . Al analizar la correlación entre FC_{45} y V_{200} , se pudo constatar que son variables inversamente proporcionales (tabla 4), con una correlación negativa fuerte ($r = -0,71$) entre ellas. Incluso en los 1000 metros hubo un aumento de la correlación negativa ($r = -0,80$), este incremento estaría indicando que los equinos necesitaron una FC más alta para los 45 kph y que alcanzaron los 200 lpm con una menor velocidad.

Se observó también una correlación positiva ($r= 0,47$) entre FC_{45} y la FC_{max} en los 700 metros, incrementándose en los 1000 metros ($r= 0,78$). Esto puede deberse a que ambas variables aumentaron en la segunda medición. Entre la FC_{45} y el $\%FC_{45}$ se observó una correlación positiva moderada ($r=0,67$) en la primera medición y alta ($r =0,92$) en la segunda. El $\%FC_{45}$ también se esperaba que disminuyera conforme se incrementa la intensidad de ejercicio, pero como la FC_{45} aumentó, esta variable también lo hizo ya que es su numerador en la fórmula ($FC_{45} \cdot 100 / FC_{max}$) (Equitronics, 2006), Significando que la FC_{45} incrementó en mayor proporción que la FC_{max} . Ambas variables (FC_{45} y $\%FC_{45}$) presentaron una correlación positiva fuerte (tabla 4), que se hizo mayor con el incremento del entrenamiento, implicando que a mayor intensidad (por el incremento de la distancia), mayor es el porcentaje de FC que usaron en relación a su FC_{max} . No hubo correlación significativa entre las variables estudiadas y la duración de la V_{max} .

Tabla 3. Muestra los promedios del grupo en las variables registradas en valores absolutos, según distancia de 700 y 1000 metros.

Variable	Media V_{max}	Media VFC_{max}	Media FC_{max}	Media FC_{45}	Media $\%FC_{45}$	Media V_{200}
Distancia						
700 mts	58,52	53,7	213,1	182,6	85,8	50,3
1000 mts	59,1	55,6	219	194,5	88,4	46,2

Tabla 4. Nivel de asociación de variables registradas en relación a la distancia recorrida, 700 y 1000 metros. El nivel de asociación se calculó con coeficiente de Pearson ($\alpha=0,05$).

r	V_{max}/VFC_{max}	FC_{max}/FC_{45}	$FC_{45}/\%FC_{45}$	FC_{45}/V_{200}
Distancia				
700 mts	0,42	0,47	0,67	-0,71
1000 mts	0,85	0,78	0,92	-0,85

Hubo incrementos en la variable VFC_{max} . Entre VFC_{max} y V_{max} hubo un aumento considerable en su correlación, mostrando en los 700 metros un $r= 0,42$ y en los 1000 metros $r=0,85$. Esto se explica porque al aumentar la V_{max} , debe haber alcanzado a la FC_{max} con mayor velocidad. En 10 de los equinos aumentó la velocidad en la frecuencia cardiaca máxima (VFC_{max}) en un promedio de 14% (ver Tabla 3 y 5). Se debe destacar que esta variable depende de características individuales (Evans, 1985), hubo ejemplares que presentaron un aumento de casi un 50 %, otros de 1,8 %, otros no presentaron cambios y algunos disminuyeron en esta variable. El incremento en VFC_{max} puede ser indicador de que ha ocurrido una adaptación cardiovascular, respiratoria y musculo-esquelética. Demostrándose (como se mencionaba anteriormente) que, en la medida que avanza el entrenamiento, el ejemplar al alcanzar su FC_{max} lleva una mayor velocidad; así, el equino se esfuerza menos frente a una misma carga de trabajo, lo que se traduce en una economía energética y mejor desempeño en su locomoción (Evans, 1985; Martínez, 1989).

Tabla 4. Muestra la VFC_{max} (valor absoluto) en ambas distancias en cada uno de los individuos. Se puede apreciar el progreso en 9 de los 14 ejemplares (valores en amarillo).

Individuo	Metros	VFC_{max}
1	700	55,9
	1000	56,4
2	700	40,6
	1000	56,6
3	700	54,6
	1000	49,1
4	700	60,2
	1000	59,7
5	700	40,6
	1000	48,2
6	700	59,8
	1000	40,9
7	700	59,6
	1000	55,3
8	700	60,9
	1000	61,2
9	700	52,7
	1000	55,3
10	700	56,6
	1000	61,9
11	700	59,1
	1000	59
12	700	55,7
	1000	56,6
13	700	39,1
	1000	58,7
14	700	54,6
	1000	59,1

Como se mencionó anteriormente la velocidad a la cual un equino alcanza el VO_{2max} es la misma VFC_{max} (Reece, 2004), infiriendo que si hubo un incremento en la VFC_{max} , también lo hubo en el consumo de oxígeno. Esto implica que hubo una respuesta de adaptación del

sistema cardio-respiratorio al entrenamiento físico; para que esto se haya presentado debe ocurrir un cambio desde el nivel enzimático celular (Mc Ardle *et al*, 1994). Se ha estudiado que durante la actividad muscular, la tasa metabólica del músculo esquelético activo puede aumentar cientos de veces por sobre la tasa en reposo, intentando mantener constante la tasa de concentración de ATP requerido para la excitación-contracción (Hodgson *et al*, 1987; Martínez, 1989); de esta manera la célula muscular puede obtener y metabolizar su sustrato energético en la medida requerida, favoreciendo el movimiento del trabajo físico, lo que se traduce en mejor rendimiento atlético. La VFC_{max} sería un reflejo de esta adaptación multisitémica.

Estudios previos han demostrado que el volumen sistólico (VS) y el consumo de oxígeno máximo aumentan en el entrenamiento de equinos Fina Sangre de Carrera de 2 o más años y estos cambios los han asociado al aumento de la VFC_{max} (Evans, 1985). Por lo tanto, el aumento de VFC_{max} en este estudio, debe ser parte de los aumentos en el VS y del mayor consumo de oxígeno en la etapa inicial de su entrenamiento. Quizás lo que se ha registrado como progreso en estas variables, sea más notable al madurar atléticamente el ejemplar.

A los 90 segundos post ejercicio (PE) de 700 metros, con velocidades que variaron entre los individuos de 4,2 a 11, 6 kph, se observó un promedio de FC de 169 lpm; en cambio, en los 1000 metros a los 90 segundos PE, con velocidades de 5 a 21,3 kph, se observó un promedio de FC de 169 lpm (tabla 7).

Tabla 7. Efecto de las distancias recorridas (700 y 1000 metros) sobre frecuencia cardiaca (FC) en distintos tiempos, posterior al ejercicio, alcanzado a nivel grupal. Promedio (DE).

Variable	Tiempo (seg)	Distancia	
FC Latidos/minuto		700	1000
	0	212±11,78	217±7,93
	30	215±5,69	216±7,42
	60	196±38,65	200±32,42
	90	169±19,16	169±22,01

Habiendo transcurrido 90 segundos post trabajo, la recuperación de la FC fue muy similar, no obstante la diferencia de la distancia sometida. La declinación de la FC post ejercicio es rápida, pero sabemos que en carreras oficiales, sobre mayores distancias, a 10 minutos post carrera, en el momento del examen clínico posterior, hay diferencias significativas entre ganadores (114/min) y segundo y tercer lugar (132/min), para una misma distancia (Bravo, 2009). De modo que la adecuada condición física del ejemplar favorece la declinación de la FC post ejercicio, en lo que también influyen factores poco manejables como los genéticos individuales. Además, si bien los mejores ejemplares muestran una más rápida declinación de la FC, también muestran una mayor duración de la velocidad máxima (9,3" vs. 8", respectivamente) (Bravo, 2009). En esta investigación, no se confirmó diferencias significativas de la duración de la velocidad máxima grupal ni individual para ambas distancias.

Se observó una correlación positiva entre FC y V durante el período de declinación posterior a la meta ($r = 0,74$) y ($r = 0,68$) en 700 y 1000 metros, respectivamente. Esta disminución en la correlación puede deberse a la mayor distancia en la segunda medición, por lo tanto el equino a la misma velocidad de trote PE requiere más FC para compensar el gasto energético del trabajo realizado.

4. CONCLUSIONES

La FC_{max} y la V_{max} , aumentan conforme progresa la etapa de entrenamiento inicial. Los valores de FC y de V en los equinos presentan una alta y significativa correlación ($r \geq 0,8$; $\alpha = 0,05$).

La FC_{max} , se mantiene aprox. 12 segundos, para luego declinar paralelo a la curva de velocidad.

Se encontró diferencia estadísticamente significativa en la FC45 entre los 700 y los 1000 mts. Sin embargo este resultado debe ser considerado con cautela, ya que se debería evaluar bajo la misma carga atlética.

Las variables VFC_{max} y FC post ejercicio, resultan más adecuadas para evaluar los progresos en la aptitud física del ejemplar.

6. REFERENCIAS

1. **BRAVO, F.** 2009. Respuesta cardiaca durante carreras simuladas captadas mediante tecnología satelital (gps) computarizada en equinos fina sangre de carreras con distinto rendimiento hípico. Santiago, Universidad de Chile. Facultad Ciencias Veterinarias y Pecuarias.
2. **BOFFI, F.** 2006. Fisiología del ejercicio en equinos. Inter-Médica. Buenos Aires, Argentina. 320 p.
3. **BROOKS, G.** 1985. Anaerobic threshold: Review of the concept and directions for future research. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. pp. 22-31.
4. **EQUITRONICS, PTY LTD.** 2006. E-TRAKKA® Fitness assessment and training tool for racehorses. International Patent Application Number PCT / AU 2004/ 000380.
5. **EVANS, D.** 1985. Cardiovascular adaptations to exercise and training. *The Veterinary Clinics of North America. Equine Practice*. pp. 513-531.
6. **EVANS, D.; ROSE, R.** 1988. Cardiovascular and respiratory responses to submaximal exercise training in the thoroughbred horse. *Pflüger Archiv European Journal of Physiology*. pp. 316-321.
7. **EVANS, D.; VERMEULEN, A.; GRAMKOW, H.; STUARD, A.** 2005. Heart rate and velocity derived from a global positioning system assesses fitness in thoroughbred horses. In: 51 Annual Convention of the American Association of Equine Practitioners. Seattle, Estados Unidos. 7 Diciembre, 2005.
8. **GANONG, W.** 1998. Fisiología médica. Manual Moderno. México. pp.73.
9. **GUYTON, A.; HALL J.** 2004. Manual de fisiología médica. Mac Graw Hill-Interamericana. España.728 p.
10. **HODGSON, D.; KELSO, T.; BAYLY, W.; GOLLNICK, P.** 1987. Responses to repeated high intensity exercise: Influence on muscle metabolism. In: Proceedings of the Second International Conference on Equine Exercise Physiology: Equine Exercise Physiology 2. San Diego, Estados Unidos. 7-11 de Agosto, 1986. ICEEP publications. pp. 302-311.
11. **INFOSTAT. DI RIENZO J.A.; CASANOVES F.; BALZARINI M.G.; GONZALEZ L.; TABLADA M.; ROBLEDO C.W.** InfoStat versión 2011. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
12. **KUBO, K.; TAKAGI, S.; MUKARAMI, M.; KAI, M.** 1984. Heart rate and blood lactate concentration of horses during maximal work. *Bulletin of Equine Research Institute*. pp. 39-45.
13. **MARTÍNEZ, R.** 1989. Bases fisiológicas para el manejo hípico del equino F.S.C. *Monografías de Medicina Veterinaria* 11(2):20.
14. **MARTÍNEZ, R.; GODOY, A.; NARETTO, E.; WHITE, A.** 1988. Neuroendocrine changes produced by competition stress on the Thoroughbred race horse. *National Center for Biotechnology Information. Comparative Biochemistry and Physiology*. 91:599-602.

15. **MC ARDLE, W.; KATCH, F.; KATCH, V. 1994.** Essentials of exercise physiology. Lea & Febiger. Philadelphia, Estados Unidos. pp. 96-99.
16. **PERSSON, S.** 1983. Evaluation of exercise tolerance and fitness in the performance horse. **In:** Equine exercise physiology. Granta Editions, Cambridge, Reino Unido. pp. 441-457.
17. **REECE, W.** 2004. Dukes' physiology of domestic animals. 12th ed. Cornell University Press, Ithaca, Nueva York. 999 p.
18. **ROSE, R.; EVANS, D.** 1987. Cardiovascular and respiratory function in the athletic horse. **In:** Proceedings of the Second International Conference on Equine Exercise Physiology: Equine Exercise Physiology 2. San Diego, Estados Unidos. 7-11 de Agosto, 1986. ICEEP publications. pp. 1-24.
19. **YOUNG, L.** 2003. Equine athletes, the equine athlete's heart and racing success. Cambridge Journals. Experimental Physiology. 88: 659-663