



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



RESPUESTA CARDIACA DURANTE CARRERAS SIMULADAS CAPTADAS  
MEDIANTE TECNOLOGÍA SATELITAL (GPS) COMPUTARIZADA EN EQUINOS  
FINA SANGRE DE CARRERAS CON DISTINTO RENDIMIENTO HÍPICO

**FELIPE TOMAS BRAVO SANCHEZ**

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

**PROFESOR GUIA: DR. ADOLFO GODOY PINTO.**

SANTIAGO, CHILE  
2009



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



RESPUESTA CARDIACA DURANTE CARRERAS SIMULADAS CAPTADAS  
 MEDIANTE TECNOLOGÍA SATELITAL (GPS) COMPUTARIZADA EN EQUINOS  
 FINA SANGRE DE CARRERAS CON DISTINTO RENDIMIENTO HÍPICO

**FELIPE TOMAS BRAVO SANCHEZ**

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

NOTA FINAL: .....

	NOTA	FIRMA
PROFESOR GUÍA : ADOLFO GODOY PINTO	.....	.....
PROFESOR CONSEJERO: ENRIQUE PINTO	.....	.....
PROFESOR CONSEJERO: LUIS IBARRA	.....	.....

**SANTIAGO, CHILE**  
 2009

## **DEDICATORIA**

Esta investigación y todo el trabajo realizado como residente de la clínica veterinaria del Club Hípico de Santiago, van dedicados a la persona que me formo para ser como soy, mi abuelo Don Luis Sánchez Váldez.

## **AGRADECIMIENTOS**

En la realización de este trabajo, deseo agradecer profundamente a todas las personas que de alguna u otra manera contribuyeron en el éxito de esta investigación.

A mis padres por ser siempre el sostén que esta ahí de manera incondicional y que siempre desean lo mejor para sus hijos. A mis hermanos por la alegría y felicidad que transmiten para seguir trabajando en momentos de flaqueza. A mis abuelos por ser como soy.

Al Dr. Ramón Martínez, mi maestro, por todos las horas de experiencia, paciencia, el entusiasmo de aprender, los consejos de vida y profesionales, de manera desinteresada, durante y posterior a la realización de este trabajo.

Al Dr. Mario Soto, por la valiosa cooperación prestada, acogida y consejos en el transcurso de este trabajo.

Al Dr. Adolfo Godoy, por haber confiado en mí, y por todo lo que contribuyó en mi formación profesional.

Al Dr. Mariano Goic, por toda la confianza depositada, conocimientos entregados, consejos de vida y el apoyo para el desarrollo profesional.

Al Dr. Cristian Madariaga, un gran amigo, por todo el apoyo incondicional, enseñanzas y consejos traspasados durante toda la vida.

A la Dra. María Antonieta Jara, mi segunda madre, por todo lo entregado durante la estadía en esta facultad, experiencias que me hacen querer ser cada día mejor persona.

Al Dr. Luis Ibarra, por su ayuda desinteresada en el análisis estadístico de los datos.

Al Dr. Marcelo Barraza, gran amigo, por la amistad regalada, la paciencia y consejos para ser un buen profesional, pero a la vez una mejor persona.

A mis grandes amigos y hermanos Rafael, Mauricio, Daniela y Javiera por su amistad que me brindan diariamente, el apoyo y comprensión en momentos difíciles, el entusiasmo y alegría de que las cosas saldrán bien y toda la incondicionalidad que siempre han mostrado de manera absolutamente desinteresada. Sin ellos nada de esto sería posible.

A los viejos y nuevos amigos, por toda la alegría y los lindos momentos vividos, los consejos entregados y todo el apoyo brindado.

A Don Sergio Avendaño, a su hija Paulina y familia por la ayuda y apoyo desinteresado en el desarrollo de este trabajo.

A los señores Ricardo Herrera, Miguel Arismendi, Claudio Toledo, Guillermo Ríos, Daniel Salinas y Marcos Contreras, personal de la Clínica Veterinaria del Club Hípico de Santiago, por todos los lindos momentos vividos, las experiencias entregadas, enseñanzas, siempre buscando lo mejor para uno, tanto como médico veterinario y como persona. Eternamente agradecido de todos ustedes.

A los señores preparadores, jinetes, capataces y cuidadores de caballos fina sangre de carreras del Club Hípico de Santiago, que sin su desinteresada cooperación, apoyo y consejos nada de esto hubiese sido posible de realizar. Muy en especial agradezco a los preparadores Juan Pablo y Patricio Baeza, Jhon Pinochet, Gabriel y Pedro Melej, Alberto y Felipe González, Oliverio Martínez y José Tomás Allende.

A Carla por toda la alegría que me irradia, apoyo incondicional y felicidad que me entrega día tras día, además de las tardes de Domingo en pos de este trabajo. Muchas Gracias de Corazón.

Y a todas las personas que de alguna u otra manera fueron parte de este trabajo, que sin su valiosa ayuda, física y emocional nada de esto podría haber sido posible.

## ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN .....	1
2	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	2
2.1	Entrenamiento y rendimiento deportivo .....	6
2.1.1	Cambios fisiológicos producto del ejercicio.....	10
2.2	Adaptación cardiovascular para el trabajo muscular competitivo.....	11
2.2.1	Parámetros de control del ritmo cardiaco.....	17
2.2.2	Ritmo cardiaco como monitor de la aptitud física.....	18
2.3	Pruebas de Tolerancia al ejercicio .....	19
2.3.1	Razones para realizar pruebas de ejercicio.....	20
2.3.2	Pruebas de ejercicio para la detección de menor capacidad funcional.....	20
2.4	Métodos de Monitoreo de frecuencia cardiaca .....	28
2.5	Mantenimiento de Registros de Evaluación .....	31
2.6	Frecuencia cardíaca como método de vigilancia para detectar signos de lesiones tempranas .....	32
3	OBJETIVOS .....	34
3.1	Objetivo General .....	34
3.2	Objetivos Específicos.....	34
4	MATERIAL Y METODOS.....	35
4.1	Análisis Estadístico .....	36
5	RESULTADOS .....	37
6	DISCUSION .....	40
7	CONCLUSIONES .....	45
8	BIBLIOGRAFÍA.....	46

## **RESUMEN**

En 32 equinos fina sangre de carreras, 16 de buen y 16 de mal rendimiento hípico, se estudió el comportamiento, mediante tecnología satelital (GPS), que presentó la frecuencia cardiaca (FC) en forma continua, durante y después de finalizado el trabajo luego de haber corrido 1000 a 1400 metros a velocidad máxima.

El análisis de los datos obtenidos desde la memoria del instrumento, mostró que existen diferencias estadísticamente significativas, entre ambos grupos experimentales, en los tiempos de recuperación de FC una vez superada la meta, siendo estos significativamente más breves en los ejemplares de buen rendimiento desde los 30 a los 300 segundos momento en que los caballos reducen considerablemente su velocidad.

A su vez, se determinó que no existen diferencias estadísticamente significativas entre ambos grupos en las frecuencias cardiacas máximas obtenidas durante el trabajo realizado; como así también a los 45 kilómetros/hora, punto correspondiente al umbral anaeróbico equino, por lo cual el factor decisivo para triunfar en una carrera, se basa en el volumen de expulsión que alcanza corazón para cada ejemplar.

Estos resultados indican que el registro y análisis de la frecuencia cardiaca, durante y en la posterior realización de un ejercicio estandarizado, se constituye como un excelente recurso de estimación de aptitud de ejemplares equinos atletas para enfrentar competencias y a su vez medir los progresos alcanzados con el entrenamiento, al compararlo con registros precedentes.

## **ABSTRACT**

In 32 race horses Thoroughbred, 16 good and 16 poor performance riding through satellite technology (GPS), were studied the behavior that made the heart rate (HR) continuously before, during and after finishing work, after running from 1000 to 1400 meters at maximum speed.

The analysis of data obtained from the instrument's memory, showed statistically significant differences between the two experimental groups in HR recovery time once the goal, these being significantly shorter in individuals of good performance from the 30 to 300 seconds when the horses greatly reduce their speed.

In turn, it was determined that there were no statistically significant difference between the maximum heart rates obtained during physical work, as well as at 45 kilometers per hour, corresponding to the anaerobic threshold point horses, between the two groups, so the factor crucial for success in a career, is based on the stroke volume that reaches the heart to each copy.

These results indicate that the recording and analysis of heart rate during and subsequent implementation of a standardized exercise, is constituted as an excellent resource for fitness estimation copies equine athletes to meet their skills and time to measure progress with the training, when compared with earlier records.



# 1 INTRODUCCIÓN

El equino fina sangre de carreras (F.S.C.) es un verdadero atleta, siendo cada vez más altas las metas que se le imponen con el fin de lograr los objetivos propuestos previamente por su preparador y propietario. Debido a estas altas exigencias, es que cada vez hay un mayor interés tanto de la comunidad deportiva, como científica, por el conocimiento y entendimiento de las distintas variables que intervienen en el desarrollo de ejemplares exitosos.

Así, durante las dos últimas décadas son innumerables las publicaciones sobre fisiología y medicina deportivas como consecuencia del gran auge experimentado tanto en el terreno estrictamente deportivo, como en la medicina propiamente tal. Los estudios realizados han permitido evaluar los cambios funcionales que el organismo va poniendo en marcha, frente a la actividad muscular locomotiva, en aras de una mejora de la condición física para optimizar las variables velocidad y resistencia a la fatiga.

Actualmente, una forma de evaluar los progresos logrados en el entrenamiento y adaptación al ejercicio es la medición de la frecuencia cardíaca, durante la realización de un trabajo y la declinación posterior en la fase de recuperación, siendo una prueba de campo adecuada para la valoración de la condición física y para apreciar los progresos del deportista en el transcurso del entrenamiento. Resulta interesante comprobar que la asimilación del entrenamiento mostrará que a igual velocidad y carga de trabajo, cada vez se hace con menor FC.

En este estudio, se compararán 2 grupos de equinos F.S.C. de diferente rendimiento competitivo, con el fin de conocer el comportamiento de la frecuencia cardíaca a diferentes velocidades. Este trabajo implica la aplicación del equipo E-Trakka, lo que debiera constituir un gran aporte a la asesoría veterinaria hípica.

## **2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

La fisiología del ejercicio es una disciplina científica que se dedica a dilucidar los efectos de la actividad física, en sus diversas formas, sobre la fisiología de sistemas y tejidos que componen el organismo. El interés de esta disciplina, radica en las adaptaciones fisiológicas del organismo que tienen lugar con la participación regular en el ejercicio y en la influencia que ejercen los estresantes ambientales sobre dichas respuestas fisiológicas de adaptación (Pate y Durstine, 2004).

El desarrollo histórico de la fisiología del ejercicio tiene lógicamente sus orígenes antiguos en los mismos cimientos que la fisiología. La influencia que se produce es reciproca, los avances fisiológicos que se producen contribuyen al conocimiento de la fisiología, en aquellas situaciones de gran demanda metabólica, mientras que el conocer el comportamiento de los órganos durante el ejercicio, permite profundizar sobre el funcionamiento habitual (Huertas, 2005).

A lo largo de la historia se ha mantenido un denominador común para el desarrollo de esta disciplina. El motor de estudio que ha estimulado los diversos avances en el estudio del organismo animal en el desarrollo de un ejercicio, ha sido la posibilidad de incrementar cada vez mas el rendimiento y llevarlo a los limites mas extremos (Huertas, 2005).

De esta manera, una de las aplicaciones más importantes de la fisiología del ejercicio en medicina deportiva equina, tiene relación con la evaluación de factores fisiológicos relacionados con el rendimiento atlético de los diversos ejemplares analizados. Actualmente muchos de los determinantes fisiológicos de rendimiento están identificados, lo cual permite utilizar las pruebas fisiológicas en diversas formas. Estas pruebas a menudo se aplican para asesorar equinos atletas acerca de las actividades en las cuales es

posible que logren los mayores beneficios. El rendimiento de un atleta equino, en la mayoría de las variables fisiológicas tiene que ver con la predisposición genética que presente el ejemplar y con factores ambientales, como lo es el entrenamiento (Pate y Durstine, 2004).

Las diversas pruebas fisiológicas existentes pueden caracterizar el estado físico actual del atleta en relación con una variable particular, pero el estudio en un momento determinado no permite predecir con precisión como responderá dicho ejemplar luego del entrenamiento durante un tiempo prolongado. En otros términos, el estudio fisiológico puede indicar si un atleta presenta o no la capacidad potencial de lograr un estado altamente competitivo, pero no puede establecer con precisión absoluta que atletas específicos alcanzaran tal evolución (Pate y Durstine, 2004).

Por otro lado, las pruebas fisiológicas, también son de utilidad para monitorear la eficacia del programa de entrenamiento. Esto se debe, ya que el entrenamiento eficaz, científicamente programado, produce cambios favorables en las variables fisiológicas más relevantes en el desarrollo de un atleta. De esta manera, la administración periódica de protocolos fisiológicos estandarizados permite ajustes objetivos en características de rendimiento a lo largo del tiempo. Esta información es de utilidad para la modificación de programas de entrenamiento preestablecidos y así poder optimizar rendimientos (Huertas, 2005).

Es importante evaluar el progreso a lo largo del protocolo de entrenamiento establecido, para de esta manera identificar la presentación de posibles problemas emergentes y así mejorar elementos fisiológicos claves relacionados con el rendimiento deportivo del equino atleta. Cabe destacar que cada técnica de entrenamiento produce efectos distintivos sobre diferentes factores fisiológicos (Pate y Durstine, 2004).

Los atletas equinos a menudo se ven enfrentados durante la realización de trabajos en su entrenamiento, a dificultades que no son esperadas, tales como la falta de mejoría en el rendimiento a pesar de respetar y cumplir rigurosamente las pautas de entrenamiento científicamente programado (Pate y Durstine, 2004). Basado en esto en primer lugar se debe descartar situaciones médicas que puedan requerir un manejo particular. En caso contrario, la realización de una comparación entre el perfil fisiológico del atleta con el anterior, es de ayuda para identificar la base del problema en cuestión. De esta manera al identificar el origen de la deficiencia, el programa de entrenamiento puede ser modificado. Asimismo, el perfil fisiológico es de gran ayuda, ya que puede revelar trastornos clínicos, que el examen físico regular no pone en manifiesto (Pate y Durstine, 2004).

La actividad hípica en general y las carreras de caballos en particular, constituyen una actividad deportiva que convoca un gran número de espectadores en nuestro país, como así también en el mundo. Al igual como ocurre en el atletismo humano, el interés por la ciencia deportiva ha surgido como un intento en la prevención de lesiones y aumentar la vida útil del atleta equino, dándole así mas probabilidades, a través de su participación en competencias, de retornar dinero a sus propietarios (García *et al.*, 1999).

El atleta de alto rendimiento, precisa de un seguimiento constante de su salud y condición física. Aunque los progresos en el rendimiento deportivo son multifactoriales, resulta fundamental la adaptación cardiorrespiratoria y metabólica muscular para lograr el éxito (Equitronics, 2006).

En la actualidad existe consenso en que en el desempeño de un atleta de alto rendimiento como lo es el atleta equino, pasa por la intervención, en algún grado de

fisiólogos del trabajo físico, profesionales especializados en todas las materias relacionadas con un óptimo funcionamiento del sistema neuro-muscular (Martínez, 1998).

Tal es el interés, que en países destacados por el rendimiento que obtienen sus deportistas, se cuenta con centros de alto rendimiento, que disponen de todo el equipamiento tanto material como humano profesional para atender las evaluaciones periódicas de los individuos considerados talentos (Martínez, 1998).

Toda la atención selectiva que se realiza en los deportistas de alto rendimiento como lo es el atleta equino, junto a la asimilación de nuevas técnicas y estrategias específicas, han llevado a una influencia positiva en el logro de marcas y rendimientos individuales (Martínez, 1998).

Actualmente existe consenso en que en el desempeño de un atleta de alto rendimiento, como lo es el equino F.S.C., debe realizarse un seguimiento constante de su estado físico, previo al inicio del entrenamiento, durante éste y en el desarrollo de la actividad física que se realiza (Hinchcliff, 2005). Para esto existe una amplia información acerca de la fisiología del ejercicio del caballo F.S.C., ya sea en condiciones de reposo como durante la competencia atlética, la cual ha permitido caracterizar su adaptación fisiológica y bioquímica al ejercicio o trabajo de variada intensidad o duración (García *et al.*, 1999).

Los resultados que muestran estos estudios, han demostrado que durante el ejercicio se producen diversos cambios en la composición del plasma, reflejando el nivel de adaptación cardiorrespiratoria y metabólica para lograr un adecuado aporte de oxígeno a los tejidos. Todos estos cambios, presentan una estrecha relación con la intensidad del trabajo realizado, la velocidad alcanzada, tiempo de ejercicio y nivel de entrenamiento (Pérez *et al.*, 1997).

## **2.1 Entrenamiento y rendimiento deportivo**

Como es de conocimiento general los equinos desde ya muchos años han sido seleccionados para realizar diversas actividades de alto rendimiento; sin embargo para la realización de las distintas actividades en que se ven involucrados, estos necesitan de un trabajo muscular de variada intensidad y duración, siendo necesario para esto el contar con un adecuado entrenamiento (Díaz, 2000).

Para que un ejemplar de alto rendimiento alcance y mantenga un alto potencial de performance en el tiempo, se hace necesario contar no solo con un aparato cardiovascular y respiratorio en optimas condiciones; sino también un nivel de desarrollo muscular adecuado capaz de adaptarse a las altísimas condiciones físicas impuestas durante la realización del entrenamiento, como así también, en la realización de los eventos competitivos (Díaz, 2000).

Las diversas adaptaciones fisiológicas y bioquímicas que ocurren en el sistema músculo esquelético del equino de alto rendimiento, en respuesta a los diferentes programas de entrenamiento que se ve sometido, los cuales están dirigidos al aumento de la capacidad aeróbica y disminuir el metabolismo anaeróbico en la obtención de energía, es lo que va permitiendo al ejemplar competir con éxito en las diversas competencias ecuestres que participa, con una minimización de los riesgos que pudieran deteriorar su integridad física (Sprohnle, 2007).

Estos ejemplares son sometidos a la realización de grandes esfuerzos físicos, por lo que están muy expuestos a padecer con mayor frecuencia patologías de diversa índole y muy en especial claudicaciones, reflejando muchas veces una condición de entrenamiento incompleta (Cofré, 2005). Debido a esto ultimo es que cada vez existe un mayor interés,

por parte de los profesionales de la hípica, en encontrar métodos de evaluación para poder estimar la respuesta del equino al entrenamiento (Rudolph, 1985).

Sin embargo, a pesar de los antecedentes mencionados en nuestro medio hípico existe una preocupante quietud, en lo que concierne a las marcas alcanzadas por los ejemplares en las distintas distancias en las que estos participan. Al respecto se suele tomar como argumento a esto, que el sistema de cruzamiento empleado, desde hace ya tantos años por los criadores, ha ido en desmedro en el logro de ejemplares que ya expresaron todo cuanto potencialmente era logable en materia de rendimiento hípico. Existe un convencimiento que en hípica, específicamente en el tema de materia de selección genética de los productores, el cruzamiento dirigido no ha sido lo suficientemente analizado y poco o nada de los aspectos fisiológicos adaptativos al esfuerzo muscular que se conocen, han sido llevados a la práctica del entrenamiento equino (Martínez, 1989).

Esto es explicable por la falta de un nexo real entre quienes abordan la hípica desde un punto de vista científico y las diversas instituciones encargadas de definir y propiciar el desarrollo y fomento equino (Martínez, 1998).

Debido a esto es que se hace fundamental el estudio objetivo, con la consiguiente comunicación de varios aspectos fisiológicos relacionados con el rendimiento locomotivo equino, los cuales benefician directamente a todos los estamentos participantes en el desarrollo de un atleta equino de alto rendimiento como lo es el ejemplar fina sangre de carreras (F.S.C.).

El entrenamiento tiene como objetivo inducir una transición del metabolismo energético durante el desarrollo del ejercicio con destino final el perfeccionamiento de las vías metabólicas energéticas que se utilizan en el trabajo muscular, causando un

predominio del metabolismo aeróbico, como así también, la preparación a los ejemplares equinos para una mejor tolerancia a los efectos de un trabajo de alta intensidad (Couroucé, 1998). El entrenamiento induce adaptaciones en los sistemas cardiorrespiratorio y músculo esquelético, tales como el aumento en la capacidad de transporte de oxígeno, el cual, durante la realización de un trabajo intenso, puede aumentar hasta 35 veces, muy superior a la capacidad que presentan otras especies (Yarza, 2007).

Se hace de vital importancia conocer las diversas demandas competitivas para la designación de un programa de entrenamiento adecuado que se focalice en los requerimientos específicos, en este caso del equino velocista, para así poder presentar la mejor performance posible y a su vez tener la certeza de que los ejemplares logren un nivel suficiente de capacidad deportiva para así reducir el nivel de sobrecarga y los riesgos de presentación de enfermedad, como así también desarrollar las adaptaciones estructurales y fisiológicas apropiadas para permitir de esta manera a los ejemplares la realización de la actividad atlética mas fácilmente (Couroucé, 1998).

El entrenamiento de los ejemplares requiere ser sistemático, no solo buscando una buena respuesta en la realización del evento competitivo; sino también, para el estado de salud del atleta en cuestión (Melfsen-Jessen *et al.*, 2002). Además de incrementar la capacidad del sistema respiratorio y cardiovascular, el entrenamiento, produce a su vez un aumento progresivo de la masa muscular del ejemplar, favoreciendo de esta manera el rendimiento físico del equino (López, 1993).

Actualmente se conoce que el entrenamiento físico en equinos implica la exposición del organismo a una carga de trabajo de intensidad, duración y frecuencia suficientes para



la producción de un efecto observable y medible; es decir, una mejora de las funciones para las cuales el individuo no está completamente capacitado (Sepúlveda, 2005).

Por medio de la realización del entrenamiento se puede modificar el grado de respuesta a una carga atlética fijada (Couroucé *et al.*, 2002). El incremento en la capacidad de trabajo es atribuible a un incremento en la capacidad aeróbica (Ohmura *et al.*, 2002; Sepúlveda, 2005) y anaeróbica (Hinchcliff *et al.*, 2002) lo que se manifiesta en aumentos del consumo máximo de oxígeno ( $\dot{V}O_2$  máx) (Michaux *et al.*, 1987; Art y Lekeux., 1993; Ohmura *et al.*, 2002).

Como se conoce, el proceso adaptativo implicado en el entrenamiento físico encierra, entre otros, la puesta en marcha y modificación de variados mecanismos fisiológicos destinados a perfeccionar las condiciones metabólicas energéticas en que se utiliza el trabajo muscular (Sepúlveda, 2005). Por tanto el entrenamiento en equinos, presenta como objetivo principal, la búsqueda de una adaptación a las exigencias físicas a las que será sometido en la realización de una futura actividad deportiva. Esto se logra mediante el aumento de la capacidad muscular y una correcta oxigenación para este tipo de tejido, manteniendo de esta manera la energía necesaria que este requiere (Sprohnlé, 2007).

Así, se obtiene el desarrollo de un trabajo aeróbico, ya que el metabolismo anaeróbico trae consigo la presencia de una mayor cantidad de problemas a nivel fisiológico/bioquímico, y por consiguiente, un menor rendimiento deportivo (Bernal *et al.*, 1998).

### **2.1.1 Cambios fisiológicos producto del ejercicio**

Durante la realización de un trabajo físico, se producen diversos cambios fisiológicos inmediatos, como las variaciones en la frecuencia cardiaca (FC) y respiratoria (FR) (Merino *et al.*, 1997; Marlin *et al.*, 1999). Los estudios han demostrado que existen diferencias significativas al comparar las frecuencias cardiacas y respiratorias en ejemplares de buen y mal rendimiento durante la realización de eventos competitivos (Sprohnle, 2007).

Diversas mediciones realizadas sobre la respuesta cardiovascular y respiratoria al ejercicio, junto con el mayor conocimiento de los tipos de fibras musculares que se observan en el equino (López, 1995), han permitido demostrar que esta especie presenta ciertas ventajas fisiológicas que le permiten realizar un mayor trabajo físico que las demás especies domesticas (Sprohnle, 2007).

Durante la realización de un ejercicio ocurren variados cambios cardiorespiratorios como adaptación a la mayor demanda de oxígeno que es requerida y a la disipación de energía producida por el músculo en forma de calor (Rose *et al.*, 1990; Ohmura *et al.*, 2002).

Es conocido que la medición de variables fisiológicas es de valor en la realización de un entrenamiento básico, en la oportuna detección de enfermedades; y así también en la evaluación de deportistas (Couroucé *et al.*, 2002). Por ejemplo, durante el ejercicio se requiere de un significativo esfuerzo del sistema cardiovascular asociado al tipo e intensidad del ejercicio (Engelhart, 1977; Merino *et al.*, 1997; Davidson *et al.*, 1998; Piccione *et al.*, 2000), lo que se ve reflejado en un aumento de la frecuencia respiratoria durante este, el que mejora el aporte de oxígeno a los tejidos, y además se realiza la expulsión de un mayor volumen de sangre por el corazón que trae como consecuencia un

aumento de la tensión de oxígeno y una disminución de la presión de CO<sub>2</sub> en los ejercicios de resistencia (Araya, 2005).

## **2.2 Adaptación cardiovascular para el trabajo muscular competitivo**

Los científicos que estudian la fisiología del ejercicio de los equinos están empeñados en un continuo proceso de refinamiento de los distintos métodos que utilizan para controlar con precisión la aptitud y el estado de salud de los ejemplares durante su entrenamiento físico (Freeman *et al.*, 2008).

La realización de ejercicio en equinos crea la necesidad del uso eficiente de todos los sistemas fisiológicos del organismo del ejemplar. Las respuestas que presentan los sistemas músculo esquelético, nervioso, respiratorio y cardiovascular durante la realización de un trabajo han sido estudiadas minuciosamente para ir en la ayuda de los preparadores y propietarios para el diseño de los distintos programas de entrenamiento que promuevan la máxima eficiencia atlética del caballo. Cabe destacar que la actividad del sistema cardiovascular es de primordial importancia en el equino atleta para la utilización eficiente de los demás sistemas del cuerpo (Freeman *et al.*, 2008).

El control del funcionamiento del sistema cardiovascular es un método fiable y prácticamente define el estado físico de un equino. Este sistema es fácilmente controlable por la medición de la frecuencia cardíaca antes, durante y después de la realización de un trabajo físico (Freeman *et al.*, 2008).

El sistema cardiovascular es responsable de la entrega de sangre a los músculos del atleta equino. Las diversas fuentes de energía, sumado al oxígeno son dos importantes componentes de la sangre necesarios para la realización de la actividad muscular. Así también el sistema cardiovascular es el encargado del transporte de productos obtenidos

como resultado del metabolismo energético, como el dióxido de carbono y el lactato de los músculos. Sin estas funciones, el sistema músculo esquelético del ejemplar no sería capaz de presentar un correcto funcionamiento. El flujo de sangre que llega a los tejidos se encuentra regulado por el número de veces que corazón late por minuto (frecuencia cardíaca). El ritmo cardíaco que corazón presenta es influido por la cantidad de oxígeno y niveles de dióxido de carbono presentes en la sangre. Durante el ejercicio, los músculos presentan una mayor demanda de oxígeno necesaria para la actividad y recuperación muscular. Además, la elevada tasa de flujo cardíaco que se presenta durante un trabajo, permite a su vez la extracción de grandes cantidades de dióxido de carbono que se producen durante la actividad muscular. Existen además otros tipos de estímulos que pueden producir un aumento de la frecuencia cardíaca, los cuales se relacionan con dolor y emociones (Freeman *et al.*, 2008).

Se ha demostrado que la frecuencia cardíaca constituye un evaluador confiable para estimar el nivel de esfuerzo que realiza un equino durante el trabajo muscular en competencia, cualquiera sea la naturaleza del ejercicio realizado y que existe una estrecha relación entre el aumento de la velocidad y los cambios observados en los valores de frecuencia cardíaca (Evans y Rose, 1988).

Así también, se considera un parámetro que se usa para estimar el rendimiento físico en equinos, humanos y otros animales, puesto que sus modificaciones pueden indicar el nivel de ajuste del sistema cardiovascular al ejercicio (Spröhnle, 2007). De esta manera, varios autores señalan a este parámetro como uno de los principales indicadores que permiten medir el grado de adaptación del equino al ejercicio (Cofré, 2005).

En el área de la medicina equina de alto rendimiento, la evaluación de la función cardíaca en deportistas ha tenido un importante rol. Esto ha ido acrecentándose con

progresos en técnicas clínico-fisiológicas, sumado a los conocimientos de las diversas adaptaciones del sistema cardiovascular generadas por el desarrollo del entrenamiento (Davidson *et al.*, 1998; Piccione *et al.*, 2000).

El incremento de la frecuencia cardiaca parece ser uno de los principales indicadores del nivel de esfuerzo que realiza un equino atleta durante el ejercicio, así ha sido posible establecer una relación directa entre el aumento de la velocidad y el incremento de la frecuencia cardiaca (Engelhardt, 1977).

Se ha podido comprobar que la frecuencia cardiaca por minuto disminuye desde potrillo hasta cuando se ha logrado la plenitud física para correr (Martínez, 1989). Así es fácil constatar que el producto de año y medio de edad, antes de enfrentar el trabajo inicial de picadero en el haras, tiene una FC promedio de 50 ciclos por minuto, y cuando ya ha culminado su preparación en el hipódromo, está se haya estabilizado en alrededor de 40 latidos por minuto (Martínez, 1989).

Los ejemplares sin entrenamiento y en una condición física pobre se caracterizan por una FC relativamente alta en el periodo de reposo, una alta FC durante el ejercicio y una lenta recuperación de la FC post ejercicio; mientras que los equinos bien entrenados y en buen estado físico, se caracterizan por una FC baja en reposo, una FC relativamente disminuida durante la ejecución del ejercicio y una rápida recuperación de la misma después del esfuerzo (Cofré, 2005).

Conocido es que la medición de la frecuencia cardiaca en ejercicio, es una valiosa ayuda en la evaluación del rendimiento de ejemplares para la realización de eventos competitivos, permitiendo el reconocimiento de un daño músculo-esquelético y el grado de entrenamiento presente, otorgando de esta manera un manejo individual del ejemplar, de

acuerdo a sus aptitudes, adecuando la carga atlética a una intensidad progresiva, estimando la respuesta en cada etapa (Erickson *et al.*, 1987).

Se conoce que un ejemplar bien entrenado bajo condiciones similares de carga atlética trabaja a una FC más baja que uno no entrenado. Frente a la realización de un trabajo estándar, el corazón de un caballo entrenado es capaz de bombear un mayor volumen de sangre a una FC más baja que el de uno no entrenado. Por lo tanto, la FC constituye un evaluador confiable para determinar aptitud física, ya que debe existir una relación entre su aumento y el nivel de esfuerzo que realiza el ejemplar durante el ejercicio (Martínez, 2001).

Por lo tanto, la adaptación fisiológica de equinos F.S.C. al ejercicio conseguida con el entrenamiento puede ser evaluada mediante el estudio de esta variable fisiológica durante y post ejercicio, especialmente cuando es posible crear las condiciones de una carrera simulada (Evans, 1985).

La frecuencia cardiaca de los equinos en reposo es de aproximadamente de 42 latidos por minuto o incluso menor, empero, durante ejercicios de alta intensidad, puede lograr valores que bordean los 240 latidos/minuto (Cofré, 2005). Este incremento de la FC durante una prueba de esfuerzo físico es una adaptación fisiológica del organismo cuyo objetivo principal es mejorar la oxigenación al sistema muscular (Illkiw *et al.*, 1989).

La recuperación de la FC de los equinos es progresiva y dentro de los cinco minutos se alcanzan valores promedio de 67 latidos / minuto (Cabezas *et al.*, 1994). La FC se recupera rápidamente dentro de los 2 primeros minutos, para posteriormente declinar de forma más gradual (Harris y Snow, 1992). Esta recuperación es alcanzada entre 2 a 20 minutos post ejercicio y va a depender de la carga de trabajo del animal y factores externos tales como sudoración, humedad del aire, componentes del viento y factores

emocionales, los que pueden afectar marcadamente el periodo de recuperación (Cofré, 2005).

Harris y Snow (1992), han demostrado que posterior al ejercicio aquellos equinos con bajo rendimiento se caracterizan por presentar FC más altas que aquellos de mayor rendimiento. Como es conocido, el entrenamiento permite adecuar la acción del sistema nervioso autónomo –simpático y parasimpático- sobre su actividad cronotrópica; el progresivo incremento de la actividad vagal permite evitar la excesiva aceleración inducida por el sistema simpático (Martínez, 1989). Así, al final del proceso preparatorio, el corazón muestra una menor frecuencia en pesebrera y también en plena carrera (Martínez, 1989).

La taquicardia que se presenta durante el ejercicio, produce una modificación en la distribución de tiempo destinado a la fase sistólica y diastólica, acortando de esta manera significativamente la diastólica (Martínez, 2009). El acortamiento del tiempo diastólico que se presenta en elevadas taquicardias puede comprometer la perfusión coronaria del miocardio subendocárdico, ya que el miocardio respira en diástole (Martínez, 2009). En la fase sistólica la musculatura ventricular produce un efecto de presión sobre el lumen de los vasos coronarios, el mismo efecto produce la elevada presión cavitaria ventricular, privando de una adecuada oxigenación al cercano miocardio subendocárdico (Martínez, 2009).

La menor FC en ejercicio de un ejemplar tiene relación con un aumento del tono vagal sobre corazón. Efectivamente, las terminaciones nerviosas parasimpáticas, con la liberación de acetilcolina en el marcapaso y nódulo atrio ventricular (Ashoff-Tawara) tienden a un aplanamiento de la fase de despolarización espontánea, demorando de esta manera la llegada del potencial al nivel del prepotencial de descarga del marcapaso, con ello la emisión de descargas del marcapaso se enlentece (Martínez, 2009).

Al mismo tiempo, la estimulación vagal al nódulo atrio ventricular permite filtrar el número de estímulos depolarizantes destinados a los ventrículos, frenando la velocidad depolarizante y dando mayor tiempo a la fase de llene ventricular (Martínez, 2009).

La respuesta cardiovascular tiene una importancia fundamental en el desarrollo de un trabajo y esta relacionada con dos variables: frecuencia cardiaca y volumen sistólico, que en forma independiente o en conjunto son capaces de aumentar el volumen minuto cardiaco; y por consiguiente, el aporte de oxígeno a los tejidos (Asheim *et al.*, 1970; Engelhardt, 1977; Sprohnlé, 2007). Cabe destacar que en el equino, la mayor contribución para proporcionar un incremento en el aporte de oxígeno a los tejidos, se produce gracias a un aumento de la frecuencia cardiaca (Asheim *et al.*, 1970; Engelhardt, 1977; Sprohnlé, 2007); además, este aumento está directamente relacionado con la intensidad y velocidad en que se realice el trabajo o ejercicio (Gottlieb *et al.*, 1988; Hinchcliff *et al.*, 2002; Sprohnlé, 2007).

El ejercicio científicamente programado, con una carga atlética progresivamente creciente, permite que corazón experimente una adecuación anatómica consistente en la aparición de fuertes paredes (ventricular izquierda), sin restar capacidad diastólica; es decir, se establece una hipertrofia de tipo excéntrico (Martínez, 2009). En términos generales, las sobrecargas en el volumen de retorno venoso a corazón, con una elevación moderada de la presión arterial, siempre tiende a estructurar corazones con hipertrofia de tipo excéntrico (Martínez, 2009). Este cambio permite una mayor capacidad diastólica de corazón, lo que en un atleta como lo es el equino fina sangre de carreras, facilita la eficiencia del proceso eyectivo, con una menor fracción de acortamiento sistólico. Comparativamente se eyecta más, lo que implica por consiguiente un menor gasto de energía (Martínez, 2009).



A partir de estos cambios queda claro que un corazón con un adecuado llene ventricular, que se encuentra entre los límites fisiológicos del llenado diastólico, ve facilitado el proceso de eyección ventricular y su rol de bomba eyectora (Martínez, 2009). Esto es el fundamento de la ley de Frank y Starling que enuncia "la fuerza de contracción ventricular es una función de la elongación diastólica de sus fibras", lo que se cumple si la diástole ocurre entre los límites fisiológicos de llenado ventricular (Martínez, 2009).

### **2.2.1 Parámetros de control del ritmo cardiaco**

El ritmo cardiaco normal en reposo de un ejemplar equino atleta oscila entre los 30 a 40 latidos por minuto. Estos valores pueden ser difíciles de obtener en ciertas situaciones, como los son equinos excitados por estímulos externos, lo cual conlleva a la elevación del ritmo cardiaco en reposo. La simple aplicación de un dispositivo de medición de frecuencia puede producir la elevación de está. Se sabe que la frecuencia en reposo en equinos atletas puede disminuir sensiblemente como resultado de un acondicionamiento físico adecuado (Evans *et al.*, 2005).

Un punto de referencia que debe definirse en corazón es la tasa de umbral anaeróbico. Corazones con tasas por debajo de este umbral, sea 150 a 170 latidos por minuto, caracterizan un gran porcentaje de ejercicio aeróbico que se realiza. Este tipo de ejercicio utiliza vías de energía que son apoyadas por el consumo de oxígeno, sumado al uso de ácidos grasos y glucosa que se encuentran en sangre como fuentes de combustible. Cuando se realiza un trabajo físico de intensidad progresiva, los requisitos del sistema cardiovascular van aumentando, lo que a su vez se traduce en un incremento de la frecuencia cardiaca (Evans *et al.*, 2005).

Frecuencias cardiacas por sobre el umbral anaeróbico caracterizan el tipo de metabolismo que excede la capacidad de las vías dependientes de oxígeno como fuente abastecedora de energía. Frecuencias de 170 latidos por minuto o superiores caracterizan un gran aporte de metabolismo anaeróbico como fuente energética. Este metabolismo se apoya principalmente en glucosa y glicógeno como fuente de combustible energético. Frecuencias cardiacas máximas en ejemplares atletas maduros van desde los 220 hasta los 260 latidos por minuto. Las frecuencias cardiacas máximas son variables entre los individuos y no parecen cambiar con la aptitud física. El valor de las frecuencias cardiacas máximas, no debe ser utilizado como una guía importante dentro de la realización de un acondicionamiento físico, mas bien, estas deben ser supervisadas como advertencia ante una fatiga que pueda ocurrir rápidamente (Freeman *et al.*, 2008).

### **2.2.2 Ritmo cardiaco como monitor de la aptitud física**

La comprensión de la respuesta de la frecuencia cardiaca que puede alcanzar diferentes valores y duraciones, será de vital importancia en el diseño de un programa de entrenamiento. Inicialmente la frecuencia cardiaca aumenta repetidamente al inicio del ejercicio a niveles muy elevados. Este exceso de respuesta se debe a la excitación mediada por la liberación de catecolaminas, que produce el ejercicio en la sangre. La acción de la epinefrina, produce varias de las respuestas fisiológicas que ocurren durante el ejercicio. Durante esta fase el ejemplar se encuentra realizando trabajo aeróbico. El sistema cardiovascular se encuentra condicionando el ejercicio de si mismo y el sistema músculo esquelético es la demostración de su tolerancia al estrés del ejercicio. Durante esta fase, en el inicio del entrenamiento de un ejemplar, se debe lograr tasas de frecuencia cardiaca por debajo de los 150 a 170 latidos por minuto, por bajo el umbral anaerobio. Ejemplares, que presenten tasas de recuperación más rápidas, representaran

al ejemplar mas adaptado. Un equino con buena condición atlética, presentara recuperación del ritmo cardiaco a 100 latidos por minuto, alrededor de 2 minutos posteriores del ejercicio en cercanías al umbral anaeróbico. Luego de 10 minutos posteriores al ejercicio las frecuencias deben ser inferiores a 60 latidos por minuto (Freeman *et al.*, 2008).

### **2.3 Pruebas de Tolerancia al ejercicio**

La respuesta cardiovascular al ejercicio ha sido objeto con el correr de los años, ha la realización de varios estudios y revisiones exhaustivas. Las pruebas de ejercicio deben realizarse en ejemplares que presenten tolerancia al estrés de un trabajo competitivo. El Medico veterinario no debe poner en riesgo a un ejemplar que exhiba signos de patologías sistémicas. Los ejemplares que presenten evidencias de signología de función cardiaca marginal en reposo, no requieren pruebas de ejercicio para su evaluación. Cabe destacar que aunque la prueba sea sofisticada, la respuesta del ejemplar debe seguirse con mucha atención y suspenderse en caso que el atleta muestre signos de angustia (por ejemplo dificultad respiratoria o frecuencia cardiaca inapropiadamente alta), inestabilidad o dificultad para seguir las instrucciones del jinete a cargo. No obstante, se debe tener en consideración que los equinos presentan una capacidad de reserva cardiovascular superlativa y con excepción de los ejemplares sin entrenamiento o aquellos que presenten cuadros cardiovasculares de consideración (arritmias graves), no suele haber ninguna razón para evitar la realización de estos trabajos (Colahan *et al.*, 1998).

### **2.3.1 Razones para realizar pruebas de ejercicio**

Desde un punto de vista del examen cardiovascular, las pruebas de ejercicio, pueden ser llevadas a cabo en cuatro circunstancias:

1. Para una mayor evaluación de soplos y arritmias observadas en reposo.
2. Durante la evaluación de animales que exhiben una disminución de su rendimiento deportivo.
3. Para medir la capacidad funcional de corazón durante la realización de estos trabajos.
4. Como apoyo en un examen precompra.

Durante la realización de estos trabajos, el medico veterinario va en búsqueda, por lo general de signos discretos de enfermedad, como lo son soplos, arritmias o un excesivo aumento de frecuencia cardiaca o una limitada tolerancia al ejercicio. Los problemas básicos que se suelen enfrentar y que hay que resolver se relacionan con la existencia de alguna evidencia de función cardiaca anormal durante la realización de un trabajo intenso y si alguna de estas observaciones presenta una real importancia en el contexto del tipo de uso que presenta el ejemplar. Como no es posible presuponer que la presencia de una anomalía cardiaca presente siempre un efecto clínico detectable, los hallazgos deben interpretarse por medio de una apreciación adecuada de la naturaleza de la respuesta fisiológica al ejercicio (Colahan *et al.*, 1998).

### **2.3.2 Pruebas de ejercicio para la detección de menor capacidad funcional**

Para utilizar las pruebas de ejercicio con este fin se debe tener en cuenta la relación entre enfermedad cardiaca vs. capacidad funcional. Es conocido que un corazón enfermo funciona en forma ineficiente. En las alteraciones cardiacas en las que el ritmo es normal,

se puede presentar una ineficiencia en el funcionamiento, presentando consecuencias en la realización de un ejercicio, tales como:

- Si el nivel en el cual un ejemplar con una enfermedad cardiaca adquirida se encuentra dentro del rango normal de capacidad aeróbica (por ejemplo requiere una velocidad de consumo de oxígeno por debajo de su máxima capacidad de trabajo aeróbico actual) no tendrá un efecto aparente sobre su rendimiento posterior, aun si su máxima capacidad se redujo y la frecuencia cardiaca actual inducida por el esfuerzo es algo mas alta que al inicio de la enfermedad. Si el deseo es lograr que el ejemplar rinda al máximo de su capacidad de trabajo aeróbico, este se fatigara como cualquier ejemplar normal en las mismas condiciones, pero antes de los esperado según su rendimiento previo.
- Sin presumir una evaluación objetiva de la capacidad de rendimiento anterior, si una alteración cardiaca adquirida es progresiva en el tiempo, se observara una eventual reducción de la tolerancia al ejercicio ante cierto nivel de esfuerzo que antes era bien tolerado.
- Un ejemplar que presente una patología cardiaca congénita, presentara una menor tasa máxima de capacidad de trabajo aeróbico, en comparación a ejemplares que no la presenten. Siempre que se le haga trabajar dentro de su baja capacidad aeróbica, su rendimiento no parecerá anormal.

La relación que existe entre esfuerzo de trabajo, medida como velocidad y frecuencia cardiaca es lineal entre 120 y 210 latidos por minuto. El gradiente de esta línea disminuye con el entrenamiento, de forma tal que cualquier nivel particular de un esfuerzo físico maximal puede realizarse a una menor frecuencia cardiaca en relación con la observada antes del entrenamiento. Por el contrario, en el ejemplar enfermo este gradiente aumenta

y la frecuencia cardiaca requerida para realizar un trabajo de esfuerzo maximal será mayor que antes de que ocurriese la enfermedad. Si el rendimiento del ejemplar fue evaluado por medio de pruebas de ejercicio estandarizados antes y después del comienzo de la cardiopatía es posible demostrar un menor rendimiento. Sin embargo, si la enfermedad estuvo presente durante cierto tiempo, pudiendo ocurrir cierta compensación o adaptación, sus efectos no serán tan fáciles de detectar (Colahan *et al.*, 1998).

Es importante recalcar que como implicancias de estas pruebas de ejercicio, si se desea realizar una evaluación con seguridad del efecto clínico de la alteración cardiaca, se deberán encontrar dos condiciones:

- La prueba a realizar debe ser necesariamente estandarizada, progresiva y maximal, evaluando la frecuencia cardiaca en una serie de carreras a velocidad maximal.
- Se debe disponer de mediciones objetivas acerca de la capacidad de trabajos realizados antes de la presentación de la cardiopatía.

Si por otro lado, el objeto de estudio es simplemente la detección de una alteración clínica, el desorden se deberá manifestar por si mismo por medio de la detección de algún signo clínico, como arritmia o soplo. De otra forma, debe realizarse pruebas de ejercicio capaces de descartar otras causas de limitación del rendimiento para confirmar el problema cardiaco por medio de un proceso de eliminación o descarte. Como rara vez cuenta con resultados previos y posteriores al comienzo de la enfermedad, el médico veterinario opinara acerca de la alteración sin el beneficio de una medición objetiva (Colahan *et al.*, 1998).

Hay que poner énfasis acerca del requerimiento de pruebas estandarizadas. De otra forma, la utilización de trabajos físicos como parte de la evaluación de la función

cardiovascular, sobre la base de pruebas maximales, a menudo solo tendrá valor para controlar ritmo y sonidos cardiacos (Martínez, 2009). Consideraciones similares son aplicables a la recuperación de frecuencia cardiaca. Si el esfuerzo se ha realizado dentro de la capacidad de reserva cardiovascular del ejemplar, no se presentara deuda de oxigeno y los otros sistemas del organismo son normales, la recuperación será normal en la mayoría de los casos, sin considerar el grado de enfermedad cardiaca. Las anomalías del ritmo, en particular las que tienden a aparecer con cierta variación en especial de la frecuencia cardiaca, complican esta situación (Colahan *et al.*, 1998).

En la actualidad, se utilizan diversas pruebas para la medición de la capacidad funcional en equinos atletas. La realización de embestidas y ejercicios livianos sobre arena, aunque muy convenientes, rara vez resultan apropiados para las pruebas de capacidad funcional en ejemplares condicionados para trabajo aeróbico. Cuando se anticipa una limitación importante de la capacidad funcional sobre la base de los signos en reposo, una ligera embestida puede ser suficiente para demostrar la elevación desproporcionada de la frecuencia cardiaca, resultando ser una guía para el medico veterinario, acerca de la inconveniencia de realizar trabajos mas pesados. Si un ejemplar no puede ser expuesto a otra forma de ejercicio que la expuesta anteriormente, no es buen candidato para determinar la capacidad funcional. En los demás casos deberán efectuarse pruebas estandarizadas (Colahan *et al.*, 1998). Cuando se realiza este ultimo tipo de pruebas, se evalúa la respuesta al ejercicio por parte de todo el cuerpo del ejemplar. Tales pruebas de capacidad funcional, que pueden aplicarse en forma no invasiva sobre una rutina básica, utilizan valores como velocidad como medida del esfuerzo de trabajo y frecuencia cardiaca y los cambios de la bioquímica sanguínea como indicador de respuesta. La respuesta al ejercicio se origina desde muchos órganos que

incluyen el sistema respiratorio, como si también la sangre, y el sistema cardiovascular. En la aplicación de una prueba específica para evaluar la capacidad cardiaca funcional se presume que no hay ninguna enfermedad en otro sistema corporal que pueda influir en el resultado. También es aceptable que el único componente de transporte de oxígeno que ha variado entre los dos episodios de las pruebas es el cardiaco (Colahan *et al.*, 1998).

Aunque el valor utilizado para controlar la respuesta al ejercicio es la frecuencia cardiaca, esto no representa una prueba específica de capacidad funcional cardiaca. De hecho, en las pruebas maximales, la elevación inusual de la frecuencia cardiaca puede reflejar la presencia de enfermedad en otro sistema, mientras que el lento retorno a la normalidad es poco probable que se deba a una patología cardiovascular (Colahan *et al.*, 1998).

Un ejemplo para destacar es la prueba que mide la velocidad cuando el ejemplar presenta 200 latidos por minuto (V200). Esta prueba presenta como ventaja, que permite el establecimiento de una relación lineal entre frecuencia cardiaca y esfuerzo de trabajo, sobre un rango de frecuencia cardiaca de 120 a 210 latidos por minuto. El objetivo de esta prueba es la obtención de 4 puntos que permitan dibujar una regresión lineal, relacionando estas 2 variables dentro de este rango. A pesar de las reservas de los estadísticos acerca de la confiabilidad de esta prueba, para los fines prácticos se ha probado que las pequeñas diferencias que surgen entre un estudio y otro no son significativas. Idealmente para permitir el error experimental, la prueba se repite varias veces y se realiza un "pool" de resultados. Estos se comparan luego con los de la misma prueba aplicada mas tarde, a los efectos de evaluar la posibilidad de progresión de un problema cardiaco. En condiciones estandarizadas, la relación entre velocidad y frecuencia cardiaca es muy reproducible (Colahan *et al.*, 1998).



El ejemplar debe realizar su trabajo en forma ligera durante varios minutos para entrar en calor y hacer los ajustes necesarios, comenzando luego la prueba. La estandarización se alcanza utilizando una distancia establecida y un cronometro. La velocidad puede controlarse a nivel de 3 a 4 puntos seleccionados de referencia. El objetivo es lograr una velocidad que induzca una respuesta de frecuencia cardiaca dentro del rango indicado. Por debajo de 100 latidos/minuto la respuesta de la frecuencia cardiaca no refleja por completo el esfuerzo de trabajo; por encima de 180-200 latidos/minuto no se puede cuantificar la contribución anaeróbica al esfuerzo y la relación pierde su línea. Cada velocidad debe mantenerse durante 2 minutos para alcanzar un nivel estable, midiendo la frecuencia cardiaca al final de cada periodo, antes de pasar al próximo nivel. Es importante destacar que la cantidad de trabajo realizado puede ir más allá de la capacidad de ejercicio de un ejemplar que no esta en condiciones, siendo necesario realizar la prueba en diferentes estadios (Colahan *et al.*, 1998).

En situaciones de campo debe mantenerse una perfecta sincronización entre el jinete y quien mide la velocidad, para asegurarse que la frecuencia cardiaca y la velocidad se puedan medir con exactitud. El establecimiento de un protocolo le permite al jinete trabajar en el ejemplar en la forma correcta para proveer la respuesta de frecuencia cardiaca. La estandarización de la prueba se extiende no solo al protocolo de la prueba en si sino también a la superficie sobre la que se realiza el esfuerzo. Un ambiente "pesado", como el que se encuentra durante las estaciones húmedas, puede invalidar completamente los resultados (Colahan *et al.*, 1998).

La frecuencia cardiaca puede evaluarse por medio de un aparato Holter, pero algunos medidores de frecuencia disponibles en la actualidad proveen una alternativa preferible para usar a campo. Este tipo de medidor con memoria puede registrar la respuesta de la

frecuencia cardiaca a lo largo de toda la prueba. Luego se equipara la velocidad con la frecuencia cardiaca y se determina su relación (Freeman *et al.*, 2008).

La medición manual de la frecuencia cardiaca no es una vía alternativa, ya que esta disminuye con mucha rapidez una vez concluido el ejercicio. La frecuencia cardiaca máxima es predecible con seguridad razonable, evaluándola a los 5 minutos del periodo de reposo. Es probable que esto solo sea seguro si el ejemplar ha trabajado en forma vigorosa y sólo si provee un punto por curva. La radio telemetría es la alternativa a utilizar en estos casos (Freeman *et al.*, 2008).

En lo que concierne a la interpretación de resultados, estos se pueden evaluar por medio de la determinación de la velocidad a una determinada frecuencia cardiaca a partir de la línea de regresión frecuencia cardiaca/velocidad. En la V200 es decir velocidad a los 200 latidos por minuto, se piensa que la frecuencia revela tanto la capacidad aeróbica como la velocidad máxima de trabajo. Este punto se determina por extrapolación. No es necesario trabajar el ejemplar a 200 latidos por minuto. Un aumento progresivo de la V200 indica el efecto del entrenamiento, mientras se espera una disminución ante una enfermedad cardiaca adquirida o por cambios en cualquier otro aspecto que marque la disponibilidad de oxígeno. Debe observarse que la relación no es verdaderamente lineal, aun en el rango declarado. Ante una menor capacidad de rendimiento del individuo, es decir una mayor frecuencia cardiaca como respuesta al ejercicio, mayor será el error en el establecimiento de la V200 por extrapolación. Este problema es neutralizable al tener en cuenta que la frecuencia cardiaca mas alta a determinada velocidad, utilizada para expresar la relación, es la mas alta posible en forma razonable (Colahan *et al.*, 1998).

Si un ejemplar manifiesta algún tipo de arritmia durante la realización de la prueba, el resultado no es interpretable por que no reflejara el esfuerzo de trabajo. En los casos de

debilidad miocárdica es esperable cierto grado de taquicardia que va mas allá del trabajo realizado y el ejemplar se fatiga con mayor rapidez. En los defectos adquiridos, como lo es la disfunción cardiovascular, la frecuencia cardiaca responde en la forma usual siempre que la prueba este dentro del rango de su capacidad de trabajo aeróbico. En forma similar, el enlentecimiento de la frecuencia posterior al ejercicio se considera como normal. En general, los equinos presentan una reserva cardiovascular superlativa. Una vez que se ve suspendido el trabajo se dispone de toda esa reserva para soportar la recuperación. Si el ejemplar no excedió su tasa máxima de trabajo aeróbico y por lo tanto no incurrió en una importante falta de oxígeno, la recuperación será rápida. Aun cuando haya existido una falta considerable de oxígeno, la mayoría de los ejemplares presentan suficiente reserva circulatoria disponible para soportar la corrección normal de la deuda de oxígeno una vez suspendido el ejercicio. Si el desorden cardiovascular es tan grave como para interferir en la recuperación, la prueba no ha sido realizada en forma adecuada (se ha mantenido una frecuencia cardiaca superior a 180 latidos/minuto durante un tiempo considerable) y el ejemplar ha desarrollado una arritmia intensa que limita necesariamente el volumen minuto. Si la recuperación es prolongada, el médico veterinario debe investigar la posibilidad de otros problemas clínicos, como lo son patologías respiratorias y así también focos de dolor o alteraciones metabólicas de importancia (Freeman *et al.*, 2008).

Como regla general, un ejemplar que entró en calor y es sometido a una prueba de ejercicio estandarizada, con el último componente realizado como un ejercicio estabilizado (2 minutos) a una frecuencia cardiaca aproximada a 180 latidos/minuto, presentará una frecuencia cardiaca de 40 a 60 latidos/minuto dentro de los 30 a 40 minutos posteriores a la finalización del ejercicio. La velocidad de recuperación es utilizable como un indicador del estado de entrenamiento, mientras que la intensidad del esfuerzo físico, es

correlacionable con los valores bioquímicos. Como fue mencionado anteriormente, recuperaciones prolongadas de frecuencia cardiaca se deben a problemas en otros sistemas y no en el cardiovascular (Colahan *et al.*, 1998).

#### **2.4 Métodos de Monitoreo de frecuencia cardiaca**

La tecnología de vigilancia de medición de la frecuencia cardiaca en atletas equinos, esta avanzando más y más, siendo de valiosa ayuda para los preparadores y propietarios, como un componente de apoyo en los distintos programas de entrenamiento. Varios métodos se encuentran disponibles desde hace muchos años. Un simple método consiste en sentir el pulso digital o mandibular colocando un dedo en la parte posterior de la arteria facial. Sin embargo este método es aplicable para ejemplares en reposo, existe el riesgo de la pérdida de pulsos y además es de poco uso práctico durante el ejercicio. El uso del estetoscopio es un método más coherente en el seguimiento de la frecuencia. La ubicación de este instrumento en el cuarto espacio intercostal por sobre la línea del encuentro puede proveer del sonido de los golpes de corazón. Este método identifica con mayor precisión las frecuencias de corazón en reposo que el de la palpación de la arteria facial. Sin embargo en frecuencias por sobre los 100 latidos por minuto, se hace difícil interpretar con precisión los latidos por minuto. Además como el método del uso del dedo, no es práctico durante la realización de ejercicio (Evans *et al.*, 2005).

El método más fiable para la vigilancia y detección de la frecuencia cardiaca es la vigilancia electrónica. El uso de vigilancia electrónica permite la detección de los impulsos eléctricos de corazón y su posterior transformación a un número digital. Hasta hace un tiempo estos sistemas son de un costo prohibitivo para los distintos preparadores y criadores; sin embargo, en la actualidad existe un método que permite medir los cambios

en la aptitud deportiva en equinos fina sangre de carreras mediante la realización de mediciones de frecuencia cardiaca (FC) derivados de la velocidad alcanzada durante el ejercicio mediante un sistema de posicionamiento global (Evans, 2005). Este nuevo enfoque permite realizar un seguimiento regular del trabajo físico en equinos atletas, sin el uso de estrictos protocolos de pruebas de ejercicio. Esta nueva técnica evita también, la necesidad del uso de cintas rodantes (treadmill), con el consiguiente gasto monetario asociado (Evans, 2005).

La frecuencia cardiaca en equinos F.S.C. ha sido medida durante el desarrollo de un ejercicio o trabajo en pista o sobre cinta transportadora con diferentes equipos, entre los que se menciona el registro electrocardiográfico con radio telemetría, Hippocard PEH 200 y E-Trakka (Filgueira, 1994; Martínez, 2005).

En mediciones de FC realizadas en 40 equinos F.S.C., incluyendo ejemplares de buen (BR) y mal rendimiento (MR), mediante un equipo electrónico "Hippocard PEH 200" se encontraron diferencias estadísticamente significativas en las FC correspondientes al inicio del ejercicio ( $181,3 \pm 11,9$  (BR) versus  $190,0 \pm 12,3$  (MR) ) ; (  $p < 0,05$ ). La declinación una vez pasada la meta, fue significativamente mas rápida en el grupo de BR, desde los 40 hasta los 300 segundos, momento en que los ejemplares ya reducen considerablemente su velocidad (Filgueira, 1994). La mayor declinación de la FC en los mejores ejemplares, ratifica que éstos presentan mecanismos de mayor eficiencia para restablecer la normalidad de su frecuencia, que es alterada por un ejercicio intenso. Cabe destacar que el registro de FC con el equipo Hippocard no pudo establecer diferencias significativas de FC entre ganadores y perdedores durante el recorrido de la carrera, en lo que pudo estar implicado la pérdida de pulsos por la elevada frecuencia. Sin embargo, sí

hubo diferencia significativa después de haber pasado la meta, con una significativa mayor velocidad de declinación de los ganadores habituales (Martínez, 1998).

Otra experiencia importante de recalcar es la realizada en un ejemplar equino F.S.C. sobre un "treadmill" de alta velocidad, el cual fue entrenado para correr sobre una cinta rodante. Los resultados de esta experiencia sobre el comportamiento de la FC revelan un aumento progresivo, junto al incremento de velocidad hasta el nivel habitual de una carrera. En la misma experiencia se pudo confirmar que la FC sube junto con la velocidad, hasta que se llega a un nivel de velocidad en que la FC no aumenta, no obstante siga subiendo la velocidad, lo que coincide con el umbral anaeróbico y el momento del consumo máximo de oxígeno (Martínez, 2001).

En la actualidad el registro de la FC ha mejorado notablemente; no se pierden pulsos en frecuencias muy elevadas, de modo que hay certeza de un registro real; lo otro, la velocidad del corredor, ha sido posible incorporarla gracias a los avances de la telemetría satelital GPS (Equitronics, 2006). De modo que con esta nueva tecnología el trabajo en cancha de un equino puede ser analizado mucho más objetivamente, mucho más allá del simple tiempo vs. distancia que ha imperado en todo el mundo hípico (Equitronics, 2006).

Dados todos los conocimientos existentes sobre el comportamiento de la FC en equinos atletas, es que se hace necesario tener un instrumento que pueda medir el comportamiento de esta variable, en la cancha misma, lugar donde se desenvuelven rutinariamente los ejemplares, sin que haya una adecuación previa al instrumento utilizado y que pueda dar datos reales sobre el desempeño del equino en cuestión (Equitronics, 2006).

Afortunadamente, fisiólogos del ejercicio equino e ingenieros electrónicos lograron crear un equipo que, sin incomodar al ejemplar, permite entregar segundo a segundo todo lo acontecido en la cancha de entrenamiento en materia de las tres variables señaladas, FC, velocidad y capacidad aeróbica (Equitronics, 2006).

De esta manera nace E-Trakka®, el cual es un nuevo instrumento de ayuda tanto a Médicos Veterinarios como a preparadores para el monitoreo y cuidado de equinos atletas (Equitronics, 2006). E-Trakka® tiene incorporado un monitor de FC, con sistema de posicionamiento global (GPS), el cual es capaz de medir la velocidad y posición del ejemplar segundo por segundo cuando es utilizado (Equitronics, 2006).

También ofrece valiosa ayuda visual a los Médicos Veterinarios, preparadores y jinetes, actores principales del entrenamiento, ya que entrega una página de reporte, a tiempo real, sobre la pista captada por el satélite, pudiéndose graficar todo el trabajo realizado (Equitronics, 2006). Este instrumento posibilita la realización de una prueba sencilla en el medio hípico habitual, la pista de carrera, que puede ser repetido a intervalos de tiempo adecuados, permitiendo establecer diferencias en forma objetiva.

Esta vez, se podrá conocer el comportamiento de la FC durante la carrera, la velocidad en que ella alcanza su nivel máximo, la velocidad de declinación de esta variable y la capacidad aeróbica de ejemplares que difieren en su rendimiento hípico.

## **2.5 Mantenimiento de Registros de Evaluación**

La mantención de registros precisos es una necesidad para la realización del monitoreo del ritmo cardiaco, si es para ser utilizado como indicador de aptitud. Gran parte del éxito de la utilización de la frecuencia cardiaca, es la observación de los cambios en respuesta al trabajo durante el transcurso del tiempo. La magnitud de estos cambios

viene determinada por las decisiones que han sido tomadas en relación a la intensidad, duración o tipo de ejercicio para promover el desarrollo del estado físico del atleta equino. Por otro lado la mantención de estos registros precisos permite la comparación con otros ejemplares en el transcurso del tiempo, como así también la comparación de un caballo con si mismo sobre el progreso en sucesivos ejercicios (Freeman *et al.*, 2008).

Actualmente varias posibilidades de utilización de monitoreos de frecuencia cardiaca están siendo usados por los médicos veterinarios, preparadores y criadores del área. Una posibilidad es la utilización de índices de eficiencia para la selección de productos. Estos índices pueden ser desarrollados mediante la comparación de elementos como son la velocidad o la frecuencia cardiaca (Freeman *et al.*, 2008).

## **2.6 Frecuencia cardíaca como método de vigilancia para detectar signos de lesiones tempranas**

Un método de control que se puede utilizar es la aptitud que presenta el ejemplar al observar la gráfica del ritmo cardiaco que presenta un ejemplar a velocidad constante como respuesta a un ejercicio realizado durante el entrenamiento. En ejemplares entrenados, la tendencia indica una disminución de frecuencia cardiaca a velocidad constante. Es muy probable que exista la presentación de una lesión, si existiese un aumento brusco de la frecuencia durante la realización de un trabajo determinado. Una cuidadosa monitorización del ritmo cardiaco en equinos atletas hace posible la detección temprana de lesiones mucho antes de los que es posible con otras técnicas (Colahan *et al.*, 1998).

Otro método a utilizar es mediante el gráfico de la velocidad necesaria que se necesita para inducir una frecuencia constante durante la realización de un ejercicio; por ejemplo, la velocidad necesaria para inducir el umbral anaeróbico determina una



frecuencia cardiaca que oscila entre los 150 a 170 latidos por minuto. De esta manera se puede determinar la velocidad necesaria para obtener un aumento constante de frecuencia cardiaca durante un trabajo físico en equinos atletas. Si durante este evento se produjere una lesión, esta velocidad seria menos de la esperada (Colahan *et al.*, 1998).

Un punto importante es la necesidad de reducir el nivel y la intensidad del entrenamiento si los primeros signos de lesión se detectan a través de una elevada tasa de respuesta por parte de corazón. Detener el programa de entrenamiento puede no ser necesario, si el equino es capaz de manejar la lesión; sin embargo, los preparadores no deben considerar estos ejemplares para la participación en carreras u otros tipos de trabajos que inducen a la máxima tensión. Esta técnica de detección es un apoyo a las técnicas semiológicas comunes utilizadas por los médicos veterinarios del área, por tanto la opinión de este profesional es la que finalmente determinara el pronóstico, manejo y tratamiento de la lesión respectiva. Por otro lado frecuencias cardiacas elevadas, también es indicativo de fatigas crónicas o sobreentrenamiento en equinos atletas. Al igual como ocurre con las lesiones la intensidad del entrenamiento debe reducirse en intensidad. El entrenamiento puede tener que ser cesado por completo, con el consiguiente descanso para el ejemplar, durante 30 a 60 días aproximadamente, si persiste la fatiga durante el tiempo (Colahan *et al.*, 1998).

### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo General**

Estudiar comparativamente la respuesta cardiaca en equinos fina sangre de carreras de buen y mal rendimiento, en el transcurso de carreras simuladas mediante tecnología satelital (GPS) computarizada.

#### **3.2 Objetivos Específicos**

- Registrar la frecuencia cardiaca máxima que presentan los ejemplares de ambos grupos, durante el transcurso de una carrera simulada, considerando la velocidad con que la logran (VFCMáx).
- Medir la frecuencia cardiaca que presentan los ejemplares cuando estos llevan una velocidad de 45 kilómetros por hora (V45, umbral anaeróbico equino).
- Analizar comparativamente los tiempos de recuperación de la frecuencia cardiaca y su comportamiento en ambos grupos.

#### **4 MATERIAL Y METODOS**

En el presente estudio se evaluarón 32 equinos F.S.C. (machos, hembras y ejemplares castrados), clínicamente sanos, entre 3 y 6 años de edad y 400 a 550 kilos de peso, en etapa de entrenamiento en el Club Hipico de Santiago, 7 a 10 días antes de competir.

Los ejemplares fueron divididos en 2 grupos, uno de buen rendimiento (BR; índice superior a 30 y ganadores de clásicos) y otro de mal rendimiento (MR; índice inferior a 18) de acuerdo a su índice hípico oficial. A todos estos ejemplares se les midió la frecuencia cardiaca (FC) antes, durante y después de correr 1000 a 1400 metros a velocidad máxima en cancha de arena, como así también la velocidad que éstos alcanzaron.

Para la medición de la frecuencia cardiaca se utilizó el equipo E-Trakka®, diseñado para el monitoreo de la frecuencia cardíaca originada en el marcapaso auricular. El equipo consta básicamente de un módulo de control que va fijado a una carpeta especial del equipo, la que se ubica bajo la montura del jinete. Por debajo de esta montura quedan los pequeños y cómodos dispositivos del equipo, del que penden dos electrodos cardíacos a ser ubicados en puntos cercanos a la cruz del costado derecho uno y el otro donde está el latido ventricular izquierdo, en el cuarto espacio intercostal y sobre la línea del encuentro.

Las señales eléctricas de cada pulso cardíaco captadas por los dispositivos fueron enviadas teleméricamente a un visor ubicado entre las orejas del caballo, donde también se pudo leer la velocidad de crucero.

Esta información fue recibida por un satélite de posicionamiento global (GPS), el cual envió los datos obtenidos al módulo de control en la carpeta, desde donde fueron

traspasados a un computador habilitado con el software E-Trakka® que permitió el posterior análisis de los datos. La información obtenida por el módulo de control reveló el registro de la FC, segundo por segundo, y de la velocidad de desplazamiento alcanzada en la pista.

Según los datos captados por el satélite de posicionamiento global (GPS), fue posible analizar la gráfica entregada por el software E-Trakka®, interpretándose la correlación entre la frecuencia cardiaca y el ejercicio realizado por el ejemplar.

#### **4.1 Análisis Estadístico**

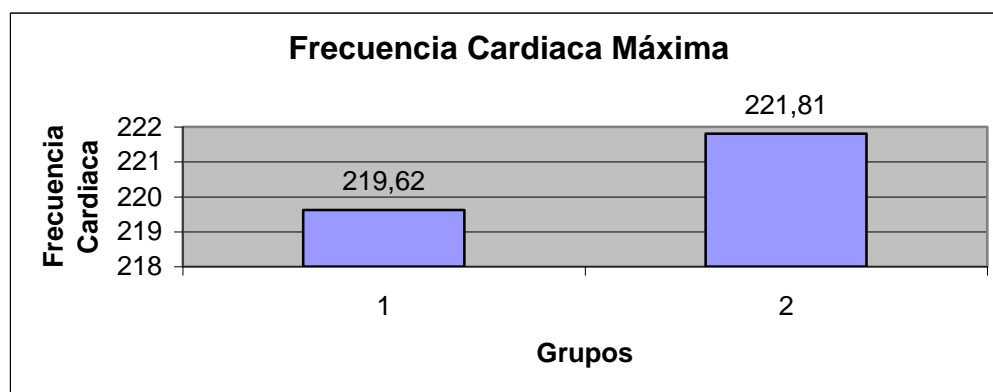
El cálculo del número de ejemplares utilizado en el presente estudio, se ajustó considerando una confianza de 95%, potencia de 80% y un error beta de 0,05 sobre la experiencia previa en trabajos de FC realizados en equinos. Esto dio como resultado la necesidad de estudiar 32 ejemplares (Blas *et al.*, 2008), divididos en grupos de diferente rendimiento competitivo, 16 de buen rendimiento y 16 de mal rendimiento.

Para determinar si hubo diferencias en cada una de las variables estudiadas y si resultaron estadísticamente significativas, se realizó una comparación de promedios de ambos grupos a través del test de "t" Student, para muestras independientes.

## 5 RESULTADOS

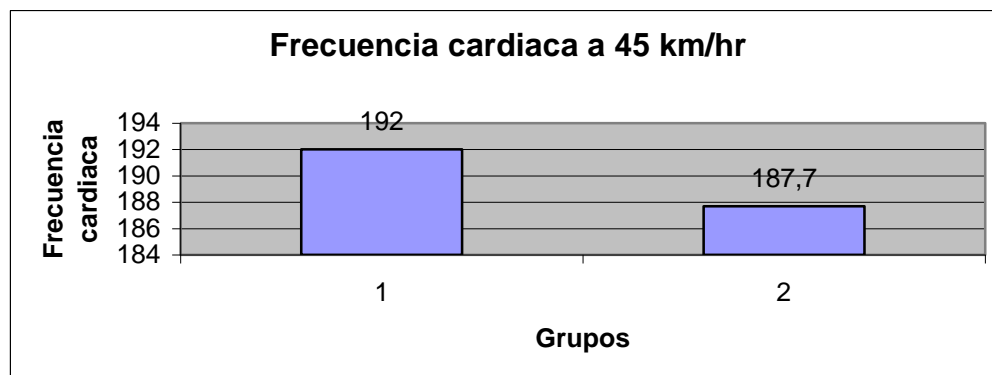
Los resultados obtenidos luego de la realización de este estudio se presentan a continuación:

- **Frecuencia Cardiaca Máxima (Figura N°1)**



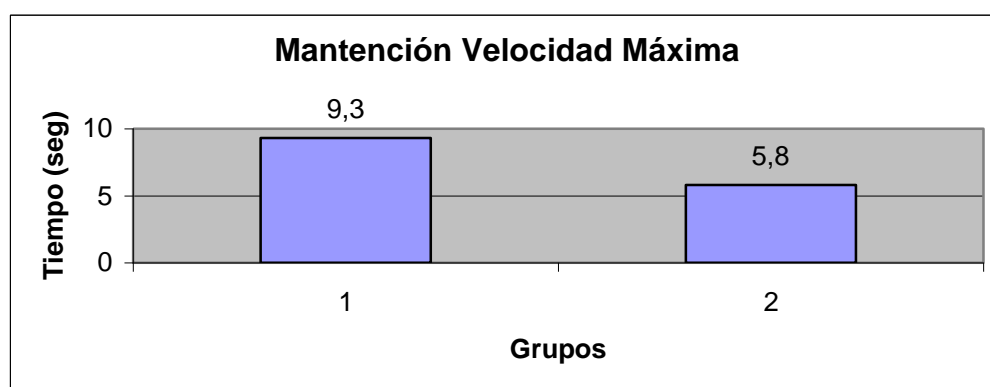
En este gráfico se presentan los promedios de frecuencia cardiaca máxima obtenidos, entre los ejemplares ganadores (219,62) y perdedores (221,81). Cabe destacar que no existen diferencias estadísticamente significativas entre ambos valores obtenidos para la frecuencia cardiaca máxima, durante la realización de un trabajo maximal en equinos fina sangre de carreras ( $p > 0,05$ ).

- **Frecuencia cardiaca a 45 Km/hr (Figura N°2)**



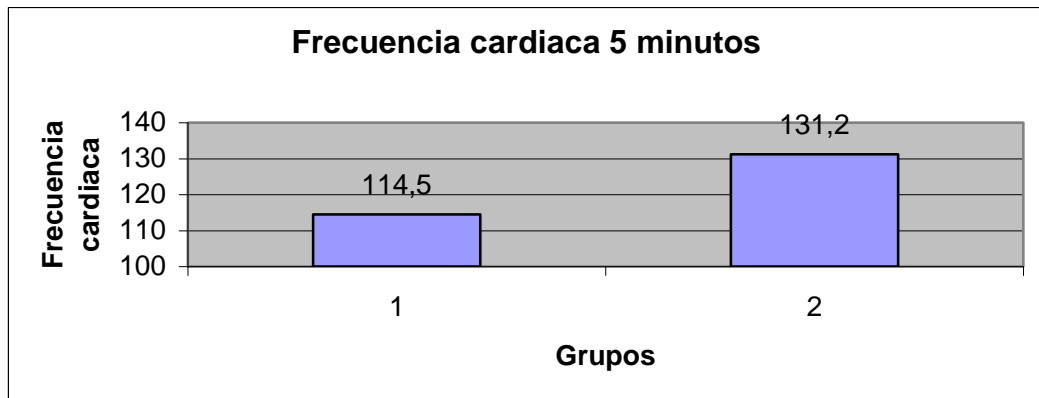
En este gráfico se presentan los valores promedios de frecuencia cardiaca obtenidos por ambos grupos de ejemplares, en el instante correspondiente a los 45 km/hr, momento coincidente con el umbral anaeróbico equino. Los resultados revelan un valor de 192 latidos por minuto para el grupo de ganadores y de 187,7 latidos por minuto en el grupo de los ejemplares perdedores. Cabe señalar que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los valores presentados ( $p > 0,05$ ).

- **Mantención Velocidad Máxima (Figura N°3)**



En este gráfico se presenta el comportamiento dispar que presentan ambos grupos evaluados, en lo relativo al tiempo de mantención de velocidad máxima, expresado en kilómetros/hora, el cual indica una mantención de máxima velocidad promedio de 9,3 segundos en el grupo de ganadores vs. los 5,8 segundos obtenidos por el grupo de perdedores. Las diferencias presentadas son estadísticamente significativas ( $p \leq 0,05$ ).

- **Frecuencia cardiaca 5 minutos post carrera (Figura N°4)**



En este gráfico se presentan los promedios de frecuencia cardiaca, luego de 5 minutos de haber superado la meta, en ambos grupos experimentales posterior a la realización de un trabajo de maximal. Se puede observar que el grupo de ganadores presenta un promedio de frecuencia cardiaca de 114,5 latidos por minuto, muy inferior al obtenido por los ejemplares perdedores que marcaron 131,2 pulsaciones por minuto. En este caso la diferencia si es estadísticamente significativa ( $p \leq 0,05$ ).

## 6 DISCUSION

Se ha demostrado que la medición de la frecuencia cardiaca constituye un evaluador confiable para la estimación real del nivel de esfuerzo físico que debe imprimir un equino durante la realización de una competencia, cualquiera que sea las características del trabajo realizado, con la existencia de una estrecha relación entre el incremento de velocidad y los cambios observados en los parámetros de la frecuencia cardiaca (Pérez, *et al.*, 1997).

Efectivamente, en este estudio se observó, que el registro de la frecuencia cardiaca mostró un comportamiento de una brusca caída en cuanto los ejemplares cruzaron la meta y fueron perdiendo velocidad, al ser sometidos a la acción de freno por parte del jinete. Se presentó una más rápida declinación de la frecuencia cardiaca en el grupo de ejemplares de buen rendimiento, lo que ratifica que estos ejemplares cuentan con mecanismos de mayor eficiencia para reestablecer la normalidad alterada por la realización de un trabajo intenso (Martínez, 2009).

Es conocido que el sistema cardiovascular va respondiendo al ejercicio con un incremento de la frecuencia cardiaca, la fuerza de contracción cardiaca y consecuentemente un incremento en el volumen eyectado (Hinchcliff, 1995; Araya, 2005). Estos mecanismos tienen como objetivo el envío de un mayor volumen de sangre a los músculos, incremento que persiste hasta que los requerimientos de oxígeno superan la capacidad de compensación del sistema cardiovascular (Araya, 2005). La recuperación de la frecuencia cardiaca puede ser dividida dentro de dos periodos; la presentación de un descenso rápido dentro de los primeros dos minutos post ejercicio y un descenso lento dentro de los 25 a 30 minutos post ejercicio en ejemplares que son sometidos a diferentes tipos de trabajos (Cabezas *et al.*, 1994; Araya, 2005). Se debe considerar que la



recuperación se encuentra condicionada por diversos factores tales como el ambiente y el nivel de entrenamiento, siendo esta última una variable manejable y que por lo tanto, permitiría mejorar los tiempos de recuperación (Couroucé, 2002). Cabe destacar, que este tiempo dependerá también de factores fisiológicos, los cuales están determinados principalmente por la duración e intensidad del trabajo realizado, acompañado de la respuesta individual de cada ejemplar (Yarza, 2007).

Como fue mencionado, en este estudio se obtuvo que la menor frecuencia cardíaca post trabajo fue registrada en los ejemplares de buen rendimiento y la mayor en los equinos de mal performance. Cabe destacar que un estudio, realizado anteriormente en nuestro medio hípico, revela este mismo resultado, sumado a la inexistencia de diferencias estadísticamente significativas en otras variables de control adrenérgico, tales como una mayor concentración plasmática de catecolaminas o la presencia de un desequilibrio iónico que pudiese alterar la excitabilidad miocárdica (Filgueira, 1994). Una de las razones válidas para explicar esta conducta de la frecuencia cardíaca en los ejemplares de mal rendimiento, es la presentación de una menor adecuación anatómica de corazón (hipertrofia concéntrica restando por tanto capacidad diastólica) de naturaleza genética y/o adquirida por la realización de una preparación inadecuada.

En términos comparativos, la adaptación anatómica cardiológica de un ejemplar F.S.C. le permite contar con una verdadera bomba, con una capacidad real de eyectar un débito sistólico cercano a un litro y a su vez poder repetirlo más de 200 veces por minuto. El menor tiempo de recuperación de la frecuencia cardíaca post carrera de los ejemplares de buen rendimiento hípico, se relaciona con una adecuada preparación, basada en un programa de entrenamiento progresivamente incrementado tanto en distancia como velocidad, lo que trae como consecuencia una adecuación hipertrófica que engruesa las

paredes de corazón, sin disminuir su capacidad diastólica; es decir, una hipertrofia de tipo excéntrico (Martínez, 2009).

Por otro lado, en este estudio se pudo confirmar, que no existen diferencias entre las frecuencias cardiacas máximas en carrera entre ejemplares ganadores y perdedores habituales, resultados que coinciden con lo encontrado en otro trabajo (Filgueira, 1994), el cual no estableció diferencias estadísticamente significativas entre calidad hípica y frecuencia cardiaca máxima. Por tanto, el logro del éxito en una carrera entre un ejemplar ganador y perdedor radica en gran medida en el volumen expulsivo que presenta el corazón durante el transcurso de la competencia (Martínez, 2009). Esto se respalda en que los mejores ejemplares de la historia hípica del mundo presentaban corazones de gran desarrollo y a su vez capacidad expulsiva; el peso de los corazones de Eclipse (6 Kg) y Secretariat (10 Kg) así lo ratifican (Martínez, 2009). Este último ejemplar se le asigna un gasto cardiaco por minuto de 500 litros y un consumo máximo de oxígeno (VO<sub>2</sub>Max) de 240 ml/kg/min (Martínez, 2009).

En este trabajo también se determinó la inexistencia de diferencias estadísticamente significativas entre la frecuencia cardiaca que presentan los equinos a los 45 km/hr (umbral anaeróbico equino) entre ejemplares de buen y mal rendimiento hípico. No obstante, la diferenciación entre ambos ejemplares se basa en la mantención de la velocidad máxima por un mayor periodo de tiempo, durante la carrera misma, siendo esta mayor en los ejemplares de buen rendimiento. Esto se basa en la mejor asimilación del entrenamiento que presentan estos ejemplares, con la consiguiente postergación de la llegada de la etapa anaeróbica del ejercicio (Martínez, 2009). Es conocido que un individuo entrenado, presenta una postergación notoria del punto de carga atlética en el cual se produce el quiebre en el incremento de la frecuencia cardiaca, utilizando de esta manera

mucho menos energía proveniente del metabolismo anaeróbico fatigante (Martínez, 2009). Esto se explica, en la ventaja que presenta el individuo con entrenamiento adquirido, quien gracias a esto, presenta un consumo comparativo mayor de oxígeno por kilo de peso, comprometiéndose menos con la producción y utilización de energía proveniente de la glicólisis anaeróbica, manteniendo así la velocidad máxima durante mayor tiempo, postergando la fatiga (Blas *et al.*, 2001; Martínez, 2009).

Conocido es que para poder ganar resistencia en velocidad (capacidad anaeróbica), se hace necesario primariamente un incremento de la capacidad aeróbica del ejemplar; es decir, se debe emplear un carga de trabajo de baja velocidad pero de duración superior a una carrera de fondo, en la que el consumo de oxígeno se ubique entre el 50% y 75% del valor máximo (VO<sub>2</sub> Máx), que en los ejemplares FSC esta próximo a los 170 ml/kg/minuto (Martínez 1998). En términos prácticos, un nivel de velocidad en que la frecuencia cardiaca no supere los 150 latidos por minuto, y la velocidad no exceda los 11 metros por segundo, crean una adecuada resistencia aeróbica (Blas *et al.*, 2001). El tiempo de trabajo y secuencia son muy individuales, lo que obliga a evaluaciones periódicas de la respuesta fisiológica que presenta el ejemplar durante el ejercicio y en los minutos que le siguen, hasta que alcanza la completa vuelta a la condición basal (Blas *et al.*, 2001).

En equinos con pleno entrenamiento competitivo se ha comprobado que a una velocidad superior al 75% del VO<sub>2</sub> Máx (+/- 50 Km/hr), la producción de energía por la vía aeróbica se hace insuficiente, creciendo de esta manera la utilización de energía anaeróbica a niveles en que la producción de ácido láctico excede el nivel de reversibilidad metabólica (Martínez, 1998). El transporte a intersticio y la difusión a sangre determina un exponencial incremento lactatémico, proporcional a las velocidades desarrolladas. El punto en cuanto a carga de velocidad en que se produce el brusco incremento en sangre de las

concentraciones de ácido láctico, se llama umbral anaeróbico. Este umbral se va desplazando hacia la derecha, con la consecuente ganancia en velocidad, en la medida que el entrenamiento aeróbico va siendo asimilado por el equino, pudiendo llegar a ser superior a los 40 km/hr en un FSC sillero o fondista.

## 7 CONCLUSIONES

- Los resultados de este estudio, permiten concluir que existe diferencias en la respuesta cardiaca entre los ejemplares de buen y mal rendimiento, en lo que concierne a tiempos de recuperación de frecuencia cardiaca post carrera.
- Al concluir el recorrido de la carrera a velocidad máxima, y ya en franca disminución de velocidad, en los ejemplares de buen rendimiento hípico se pudo observar, una declinación de la frecuencia cardiaca, significativamente más rápida que la mostrada por los ejemplares de mal rendimiento.
- La frecuencia cardiaca por encima de los 100-120 latidos por minuto presenta una correlación positiva con la velocidad y con el VO<sub>2</sub> hasta alcanzar la FC<sub>máx</sub>, en este momento la curva muestra un techo donde a pesar del incremento de velocidad no se registra aumento de la FC.

## 8 BIBLIOGRAFÍA

1. **ARAYA, H. 2005.** Evaluación de parámetros fisiológicos (FC, FR Y Temperatura), enzimas (CK, AST Y LDH) y ácido láctico en equinos mestizos durante el entrenamiento para competir n pruebas de enduro. Memoria Título Médico Veterinario. Concepción, Chile. U. de Concepción, Fac. Med. Vet. pp: 6-10.
2. **ART, T.; LEKEUX, P.** 1993. Training induced modifications in cardiorespiratory and ventilatory measurements in Thoroughbred horses. In: Equine Vet. J. 25 (6): 532-536.
3. **ASHEIM, A. ; KNUDSEN, A. ; LINDHOLM, A. ; RULKER, C. ; SALTIN, B.** 1970. Heart rates and blood lactate concentrations of standardbred horses during training and racing. In: J. American. Veterinary. 157 (3): 304-312.
4. **BERNAL, A.; CAVADA, A.; CROSSLEY, J.** 1998. Estimación de parámetros indicadores del potencial de rendimiento físico en caballos de salto. In Arch. Med. Vet. 30 pp: 349-350.
5. **BLAS, N.; ORTEGA, C.; FRANKENA, K.; NOORHUINZEN, J.; THRUSFIELD, M.** 2008. Win Episcopo 2.0. [en línea] <<http://www.epidemiologia.vet.ulpgc.es/software.html>> [consulta: 12-04-2008].

6. **CABEZAS, I.; VALENZUELA, V.; MERINO, J.; RIQUELME, M.; GARCIA, M.; HERTZ, E.; PEREZ, R.** 1994. Rendimiento físico, requerimientos de energía y adaptación fisiológica del caballo de tiro en faenas de aradura. In: Arch. med. Vet. 26(2): 15-26.
7. **COFRÉ, S.** 2005. Determinación de parámetros fisiológicos, ácido láctico y enzimas en equinos de silla francés durante el segundo año de entrenamiento para competencia ecuestre. Memoria Titulo Médico Veterinario. Concepción, Chile. U. de Concepción, Fac. Med. Vet. pp: 3-40.
8. **COLAHAN, P.; MAYHEW, I.; MERRIT, A.; MOORE, J.** 1998. Medicina y Cirugía Equina. 3° ed. Intermedica. Buenos Aires. Argentina. pp: 182-190.
9. **COUROUCÉ, A.** 1998. Endurance and sprint training. In: Arno lidner. pp: 190-202.
10. **COUROUCÉ, A. ; CHERÉTIEN, M. ; VALETTE, P.** 2002. Physiological variables measured under field conditions according to age and state of training in French trotters. In: Equine Vet. J. 34(1): 91-97.
11. **DAVIDSON, N.; MARLIN, P.; HARRIS, ROGERSON, J.; RICE, A.** 1998. Practical assessment of heart rate responses to exercise under field conditions. In: Lidner. Cesmas. pp: 230-233.

12. **DELDAR, A.; FREGIN, F.; BLOOM, J.; DAVANIPOUR, Z.** 1982. Changes in selected biochemical constituents of blood collected from horses participating in a 50 mile endurance. In: Am. Vet. Res. 43(12):2239-2243.
  
13. **DIAZ, C. 2000.** Evaluación del efecto del entrenamiento sobre las características histoquímicas, inmunohistoquímicas y morfométricas del músculo *Gluteus medius* en equinos mestizos. Memoria Titulo Médico Veterinario. Concepción, Chile. U. de Concepción, Fac. Med. Vet. pp: 1-30.
  
14. **ENGELHARDT, W.** 1977. Cardiovascular effects of exercise and training in horses. In: Adv. Vet. Sci. Comp. Med. 21:173-205.
  
15. **EQUITRONICS, PTY LTD.;** 2006. E-TRAKKA® Fitness assessment and training tool for racehorses. International Patent Application Number PCT / AU 2004/000380.
  
16. **ERICKSON, B.; ERICKSON, H.; SEXTON, W.; COFFMAN, J.** 1987. Performance evaluation and detection of injury during exercise training in the quarter horses using a heart rate computer. **In:** Equine Exercise Physiology 2. Gillespie J. R. and Robinson N. E. ICEEP Publications. Davis, California. pp. 92-101.
  
17. **EVANS, D.** 1985. Cardiovascular adaptation to exercise and training. The Vet. Clin. Of North America. Equine Practice. 1(3): 513-131.



18. **EVANS, D.; ROSE, J.** 1988. Determination and repeatability of maximum oxygen uptake and other cardio respiratory measurements in the exercising horse. In: Equine Vet J. 20 (2): 94-98.
19. **EVANS, D.; VERMEULEN, A.; GRAMKOW, H.; STUART, A.** 2005. Heart rate and velocity derived from a global positioning system assesses fitness in thoroughbred racehorses. [en línea].  
<http://www.australianequinescience.com/Proceedings%20AESS%202006.pdf>.  
[consulta: 18-02-2009].
20. **FILGUEIRA, G.** 1994. Respuesta cardiaca y otras variables fisiológicas de control adrenérgico durante y post-ejercicio en caballos fina sangre de carrera con distinto rendimiento hípico. Memoria Título Médico Veterinario. Santiago, Chile. U. Chile, Fac. Cs. Veterinarias y Pecuarias. pp: 1-14.
21. **FREEMAN, D.; TOPLIFF, D. ; COLLIER, M.** 2008. Monitoring fitness of horses by heart rate. [en línea].  
<http://pods.dasnr.okstate.edu/docushare/dsweb/Get/Document-2078/ANSI-9118web.pdf>. [consulta: 18-02-2009].

22. **GARCIA, M.; GUZMAN, R.; CABEZAS, I.; MERINO, V.; PALMA, C.; PEREZ, R.** 1999. Evaluación del entrenamiento tradicional del caballo criollo chileno de rodeo mediante el análisis de variables fisiológicas y bioquímicas sanguíneas. Arch. med. vet. 31(2): 167-176.
23. **GOTTLIEB, M.; ESSEN GUSTAVSSON, B.; LINHOLM, A.; PERSSON, B.** 1988. Circulatory and muscle metabolic response to draught work compared to increasing trotting velocities. In: Equine Vet. J. 20 (6): 430- 434.
24. **HARRIS, P.; SNOW, D.** 1992. Plasma potassium and lactate concentrations in Thoroughbred horses during exercise of varying intensity. In: Equine Vet. J. 23:220-225.
25. **HINCHCLIFF, K.; LAUDERDALE, J.; DUSTON, R.; GEOR, V.; LACOMBE, A.; TAYLOR, E.** 2002. High intensity exercise conditioning increase accumulated oxygen deficit of horses. In: Equine Vet. J. 34 (1): 9-16.
26. **HINCHCLIFF, K.** 2005. Introduction to the Physiology of Exercise. [en línea] <<http://www.ivis.org/proceedings/geneva/2005/hinchcliff1/chapter.asp?LA=1>> [consulta: 25-03-2008].
27. **HUERTAS, J.** 2005. Desarrollo histórico de la fisiología del ejercicio. [en línea] <[http://www.ugr.es/~jhuertas/FH-FE/fe\\_historia.html](http://www.ugr.es/~jhuertas/FH-FE/fe_historia.html)> [consulta: 10-07-2008].

28. **ILLKIW, J.; DAVIS, P.; CHURCH, D.** 1989. Hematologic, biochemical, blood gas and acid base values in greyhounds before and after exercise. In: Am. J. Vet. Res. 50 (4): 583- 586.
29. **LOPEZ RIVERO, J.** 1993. Características histoquímicas, bioquímicas y morfológicas del músculo esquelético del equino. In: Agro ciencia 9(2) pp: 113-126.
30. **LOPEZ RIVERO, J.** 1995. Efecto del entrenamiento sobre el músculo esquelético del equino. In: Agro ciencia 11 (1):71-85.
31. **MARLIN, D.; SCOTT, M.; SCHROTER, R.; HARRIS, P.; ROBERTS, C.; MILLS, P.** 1999. Physiological responses of horses to a treadmill simulated speed and endurance test in high head and humidity before and after humid heat acclimation. In: Equine Vet. J. 31 (1) pp: 31-42.
32. **MARLIN, D; ALLEN, C;** 1999. Cardiovascular demands of competition on low-goal (non elite) polo ponies. In: Equine vet. 31(5) pp: 378-382.
33. **MARTÍNEZ, R.** 1989. Bases fisiológicas para el manejo hípico del equino F.S.C. Monografías de medicina veterinaria. 11(2): 20.

34. **MARTÍNEZ, R.; FILGUEIRA, G.; CARRILLO, R.; WHITE, A.** 1994. Registro continuo de frecuencia cardiaca en equinos de diferente aptitud competitiva sometidos a ejercicio. Monografías de Medicina Veterinaria. 16(1-2).
35. **MARTÍNEZ, R.** 1998. Proyecciones del empleo de la fisiología del ejercicio en el manejo hípico del equino F.S.C. TecnoVet. 4(2): 18.
36. **MARTINEZ, R.** 2001. Fisiología del ejercicio equino. Análisis de una experiencia sobre Treadmill de alta velocidad. Avances en Ciencias Veterinarias. 16(1-2): 15-20.
37. **MARTINEZ, R.** 2009. Cambios fisiológicos inducidos por el ejercicio. [en línea] <<http://www.itrconsultores.cl/docs/Cambios%20fisiologicos%20%20inducidos%20por%20el%20ejercicio.pdf>> [consulta: 10-07-2008].
38. **MELFSEN-JENSSEN, J. ; KALLWEIT, E. ; ELLENDORF, F.** 2002. Development of performance indicators in three year old Hanoverians during 25 weeks of treadmill treaning. In: Arno Lidner. The elite dressage and three day event horse. pp: 165-167.
39. **MERINO, V.; VALENZUELA, I.; CABEZAS, M.; GARCIA, C.; AVILA, G.; PÉREZ, R.** 1997. Respuesta fisiológica y bioquímica del caballo de tiro a faena de aradura en suelos arroceros. In Arch. Med. Vet. 29 (2) pp: 235-241.

40. **MICHEAUX, J. ; RIOU, C. ; ROCHE FONDEUR, S.** 1987. Particularités de la biochimie équine. In : Rec. Med. Vet. 163 : 1083-1089.
41. **OHMURA, H.; HIRAGA, A.; MATSUI, AIDA, H.; INOE, K.; SAKAMOTO, M.; TOMITA, M.; ASAI, Y.** 2002. Changes in running velocity at Heart rate 200 beats/min (V200) in young Thoroughbred horses undergoing conventional endurance training. In: Equine Vet. J. 34 (6): 634-635.
42. **PATE, R.; DURSTINE, J.** 2004. Exercise Physiology and its Role in Clinical Sports Medicine. Southern Medical Journal. 97(9):881-885.
43. **PÉREZ, R.; GARCIA, M.; CABEZAS, M.; GUZMAN, R.; VALENZUELA, S.; GONZALEZ, C.; MERINO, V.** 1997. Actividad física y cambios cardiovasculares y bioquímicos del caballo chileno a la competencia de rodeo. Arch. med. vet. 29 (2): 221-234.
44. **PICCIONE, G.; FAZIO, F.; GIUDECE, E.** 2000. Cardiac parameters of the evaluation of performance in the athlete horse. In: The elite show jumper. pp: 161-164.
45. **ROSE, R.; HENDRICKSON, D.; KNIGHT, P.** 1990. Clinical exercise testing in the normal Thoroughbred racehorse. In: Aus. Vet. J. 67 (10): 345-348.

46. **RUDOLPH, W.** 1985. Perfiles bioquímicos en los animales domésticos. Monografías medicina veterinaria. 7 (2): 15-16.
47. **SEPÚLVEDA, A.** 2005. Medición de proteínas plasmáticas, electrolitos, gases sanguíneos y equilibrio ácido base en equinos que comienzan el entrenamiento para pruebas ecuestres. Memoria Titulo Médico Veterinario. Concepción, Chile. U. de Concepción, Fac. Med. Vet. pp: 2-4.
48. **SPROHNLE, P.** 2007. Evaluación en treadmill de parámetros fisiológicos (FC, FR y T°) y ácido láctico en equinos mestizos que participarán en competencias de enduro. Memoria Titulo Médico Veterinario. Concepción, Chile. U. de Concepción, Fac. Med. Vet. pp: 8-30.
49. **YARZA, S.** 2007. Evaluación de parámetros fisiológicos (FC, FR y T°), enzimas (CK, AST y LDH) y ácido láctico en equinos mestizos sometidos a entrenamiento para competencia de resistencia. Memoria Titulo Médico Veterinario. Concepción, Chile. U. de Concepción, Fac. Med. Vet. pp: 3-5.