

2015

## **Determinación de parámetros fisiológicos frecuencia cardiaca, frecuencia respiratoria y pH sanguíneo de caballos paso fino colombiano en reposo, ejercicio y post ejercicio en la sabana de Bogotá**

Juvenal Ricardo Chaparro Mantilla  
*Universidad de La Salle, Bogotá*

Follow this and additional works at: [https://ciencia.lasalle.edu.co/medicina\\_veterinaria](https://ciencia.lasalle.edu.co/medicina_veterinaria)



Part of the [Large or Food Animal and Equine Medicine Commons](#)

---

### **Citación recomendada**

Chaparro Mantilla, J. R. (2015). Determinación de parámetros fisiológicos frecuencia cardiaca, frecuencia respiratoria y pH sanguíneo de caballos paso fino colombiano en reposo, ejercicio y post ejercicio en la sabana de Bogotá. Retrieved from [https://ciencia.lasalle.edu.co/medicina\\_veterinaria/301](https://ciencia.lasalle.edu.co/medicina_veterinaria/301)

This Trabajo de grado - Pregrado is brought to you for free and open access by the Facultad de Ciencias Agropecuarias at Ciencia Unisalle. It has been accepted for inclusion in Medicina Veterinaria by an authorized administrator of Ciencia Unisalle. For more information, please contact [ciencia@lasalle.edu.co](mailto:ciencia@lasalle.edu.co).

UNIVERSIDAD DE LA SALLE

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Programa de Medicina Veterinaria



DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS FISIOLÓGICOS (FRECUENCIA CARDIACA,  
FRECUENCIA RESPIRATORIA Y PH SANGUINEO) DE CABALLOS PASO FINO  
COLOMBIANO EN REPOSO, EJERCICIO Y POST EJERCICIO EN LA SABANA DE  
BOGOTÁ.

JUVENAL RICARDO CHAPARRO MANTILLA

Bogotá, Colombia  
2015

UNIVERSIDAD DE LA SALLE

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Programa de Medicina Veterinaria



DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS FISIOLÓGICOS (FRECUENCIA CARDIACA, FRECUENCIA RESPIRATORIA Y PH SANGUÍNEO) DE CABALLOS PASO FINO COLOMBIANO EN REPOSO, EJERCICIO Y POST EJERCICIO EN LA SABANA DE BOGOTÁ.

JUVENAL RICARDO CHAPARRO MANTILLA  
COD: 14082051

Directora:  
Dra. CLAUDIA AIXA MUTIS BARRETO

Bogotá, Colombia  
2015

## APROBACIÓN

DIRECTOR.

---

Dra. CLAUDIA AIXA MUTIS BARRETO

JURADO.

---

Dr. JOSE ALEJANDRO ESPINOSA

JURADO.

---

Dr. PEDRO VARGAS PINTO

## DIRECTIVOS

RECTOR

Hno. Carlos Gabriel Gómez Restrepo

VICERRECTOR ACADÉMICO

Hno. Carlos Enrique Carvajal Costa

VICERRECTOR DE PROMOCIÓN  
Y DESARROLLO HUMANO

Hno. Frank Leonardo Ramos Baquero

VICERRECTOR ADMINISTRATIVO

Dr. Eduardo Ángel Reyes

VICERRECTOR DE INVESTIGACIÓN  
Y TRANSFERENCIA

Dr. Luis Fernando Ramírez Hernández

DECANA DE LA FACULTAD DE  
CIENCIAS AGROPECUARIAS

Dra. Claudia Aixa Mutis Barreto

DIRECTOR PROGRAMA  
MEDICINA VETERINARIA

Dr. Fernando Nassar Montoya

## **COMPROMISO**

El presente trabajo no contiene ideas que sean contrarias a la doctrina católica en asuntos de dogma y moral.

Ni la Universidad, ni el director, ni el jurado calificador son responsables de las ideas expuestas por las graduando.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco al autor de la ciencia, la sabiduría y la vida: Dios. Y al gran número de personas que colaboraron para hacer de mi vida profesional un éxito.

A todos los docentes que contribuyeron en la formación tanto personal como profesional, en especial el Dr. Geovanny Mendoza.

**“Recibid mi enseñanza y no plata; y ciencia antes que el oro escogido. Porque mejor es la sabiduría que las piedras preciosas; y todo cuanto se puede desear, no es de compararse con ella”**

**Proverbios 9: 10 – 11**

## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	10
ABSTRACT.....	12
INTRODUCCIÓN.....	13
1.MARCO TEÓRICO .....	14
1.1. INFLUENCIA DEL EJERCICIO SOBRE LA FRECUENCIA RESPIRATORIA (FR).....	14
1.1.1. Aparato respiratorio.....	14
1.1.2. Auscultación pulmonar.....	14
1.2. INFLUENCIA DEL EJERCICIO SOBRE LA FRECUENCIA CARDIACA (FC).....	15
1.2.1. Función cardiaca.....	15
1.2.2. Examen cardiaco .....	15
1.2.3. El cardiotacómetro .....	15
1.2.4. Corazón .....	15
1.3. INFLUENCIA DEL EJERCICIO SOBRE EL pH .....	18
1.3.1. Equilibrio Ácido Base .....	18
1.3.2. Ácidos y Bases .....	19
1.3.3. Sistemas Amortiguadores .....	19
1.3.4. Sistema Amortiguador Bicarbonato.....	20
1.3.5. Sistema Amortiguador Proteínas.....	21
1.3.6. Control respiratorio del equilibrio ácido base.....	21
1.3.7. Control renal del equilibrio ácido base .....	22
1.3.8. Control de la secreción tubular de H+ .....	22
1.4 FISIOLÓGÍA DE LA CONTRACCIÓN MUSCULAR .....	24
1.4.1. Estructura general del músculo esquelético .....	25
1.4.2. Regulación de la Contracción muscular .....	25
2.OBJETIVOS.....	27
2.1. GENERAL.....	27
2.2. ESPECIFICOS.....	27
3.JUSTIFICACIÓN.....	28
4.PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	29
5.MATERIALES Y MÉTODOS .....	30



5.1. METODOLOGÍA .....	30
5.1.1. Selección de los animales:.....	30
5.1.2 Toma de muestras: .....	30
5.1.2.1. Proceso para la toma de sangre:.....	31
5.1.2.2. Estadística: .....	31
5.1.2.3. Materiales de trabajo:.....	31
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	32
7. LISTA DE REFERENCIAS.....	41

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Comparación constantes fisiológicas de equinos de diferentes razas .....	17
Tabla 2. Valores de la frecuencia respiratoria en caballos de salto Holsteiner. ....	17
Tabla 3. Diferentes constantes encontradas según los autores en diferentes equinos criollos. .....	32
Tabla 4. Frecuencia respiratoria, cardiaca y pH en diferentes tiempos de entrenamiento en equinos de paso fino colombiano.....	33
Tabla 5. Frecuencia cardiaca en tres diferentes tiempos de entrenamiento en caballos hembras y machos de paso fino colombiano.....	34
Tabla 6. Determinación de diferencias significativas para los promedios de Frecuencia Cardiaca entre machos y hembras .....	34
Tabla 7. Frecuencia respiratoria en tres diferentes tiempos de entrenamiento en caballos machos y hembras de paso fino colombiano. ....	35
Tabla 8. Determinación de diferencias significativas para los promedios de Frecuencia Respiratoria entre machos y hembras .....	36
Tabla 9. Valores de pH en tres diferentes tiempo de entrenamiento en caballos hembras y machos de paso fino colombiano.....	37
Tabla 10. Determinación de diferencias significativas para los promedios de pH entre machos y hembras.....	37

## LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1: Valores medios de frecuencia cardiaca, obtenidos en caballos de distinta raza sometidos a un ejercicio de intensidad creciente y en la recuperación .....	18
Gráfica 2. Representación de los promedios de Frecuencia cardiaca y sus correspondientes desviaciones estándar .....	34
Gráfica 3. Representación de los promedios de Frecuencia respiratoria y sus correspondientes desviaciones estándar .....	36
Gráfica 4. Representación de los promedios de pH y sus correspondientes desviaciones estándar.....	38

## RESUMEN

En esta investigación se evaluaron 115 equinos de Paso Fino Colombiano, entre 43 y 78 meses de edad, seleccionados de los criaderos asociados a la Federación Colombiana de Asociaciones Equinas (Fedequinas). El pH, frecuencia cardíaca y frecuencia respiratoria fueron tomadas en reposo (T0), a los 45 minutos de ejercicio (T1) y a los 60 minutos luego del ejercicio (T2). Todo esto para determinar los valores promedios de la frecuencia cardíaca, respiratoria y pH. De igual forma discutir si existen diferencias de estos parámetros entre machos y hembras en los diferentes tiempos de entrenamiento. La frecuencia cardíaca en T0 fue de 49,44 lpm, similar a los observados en equinos Holsteiner y caballos criollos chilenos de rodeo. El valor de la misma constante en T1 fue 132,231 lpm, dato parecido al de equinos criollos chilenos y en T2 retorno a un valor cercano al de reposo con 52,17 lpm. Aunque este último valor no es registrado con frecuencia en muchas investigaciones, los valores encontrados fueron superiores a los reportados por otros autores. Los valores de frecuencia cardíaca entre machos y hembras no tuvieron diferencias significativas, aunque los machos presentaron una mejor tasa de recuperación de la frecuencia post-ejercicio (T2= 49,49 lpm en machos y 53,81 lpm en hembras). De igual forma, la constante respiratoria no presentó ninguna diferencia entre los sexos. Sin embargo, los valores promedio de la frecuencia respiratoria (Respiraciones por minuto: R/m) variaron notoriamente (T0=17,11 R/m, T1= 98,72 R/m y T2=24,66 R/m). En cuanto el pH sanguíneo aumentó durante el ejercicio y volvió a sus valores normales luego de un periodo de descanso.

## ABSTRACT

In this research, an assessment of physiological parameters (pH, heart rate and respiratory rate) were analyzed in 15 horses of the breed "Paso Fino Colombiano", between 43 and 78 months old. All individuals were selected from hatcheries members of the National Federation of Colombian Equines (Fedequinas). The physical parameters were taken on three conditions: (T0) quiescent, (T1) after 45 minutes of exercise and (T2) at 60 minutes after exercise. All this in order to determine the mean values of cardiac and respiratory frequency and pH. Likewise to discuss whether there sex differences in these parameters in different training times. Heart rate was 49.44 at T0 bpm, similar to those observed in "Holsteiner horses" and "Chilean Rodeo Horses". The same constant in T1 was 132.231 bpm, similar to "Chilean Rodeo Horses" and at T2 this value returned close to T0 nearly to 52.17 bpm. Although this last value is not recorded frequently in various tests, is emphasized that in this assessment the value was higher than reported by other authors. In the same way, the heart rate values between males and females were not significantly different, although males showed a better recovery rate after exercise frequency (T2=49.49 lpm in males and 53.81 lpm in females. Respiratory constant presented no difference between the sexes. However, average values of respiratory rate (breaths per minute: R / m) varied markedly (T0=17,11 R/m, T1=98,72 R/m and T2=24.66 R/m). while blood pH in the resting state was 7.45 and spent 45 minutes of exercise 7.5, returning at 60 minutes post-exercise to normal value of 7.48.

## INTRODUCCIÓN

Determinar las constantes fisiológicas en equinos de Paso Fino colombiano es importante para establecer un parámetro de evaluación clínico en medicina deportiva ya que estos parámetros como frecuencia cardíaca y frecuencia respiratoria ayudan a definir el tipo de entrenamiento físico para preparar un equino y evaluar clínicamente su condición física.

Los parámetros fisiológicos utilizados actualmente en la clínica de Caballos de Paso Fino Colombiano son extrapolados de estudios realizados en otras razas, las cuales se encuentran en condiciones geográficas diferentes a las que se reportan en la sabana de Bogotá, lo que impide al médico veterinario estar seguro a la hora de tomar decisiones para procedimientos clínicos, médicos y quirúrgicos. Razón por lo cual surge la necesidad de caracterizar el caballo criollo colombiano y así no incurrir en errores diagnósticos (Arias, Mejía y Sáenz, 2014).

Conocer los valores aproximados de estas constantes y la forma en cómo se alteran, puede ser de utilidad en la medicina veterinaria, ya que se puede realizar diagnósticos más certeros y en medicina deportiva realizar programas de entrenamiento y manejos adecuados sobre la descanso post-ejercicio.

En esta investigación se realizó una evaluación en 115 equinos de Paso Fino Colombiano, entre los 43 y 78 meses de edad, seleccionados de los criaderos asociados a la Federación Nacional Colombiana de Asociaciones Equinas (Fedequinas), pH, frecuencia cardíaca y frecuencia respiratoria se tomó en reposo, a los 45 minutos de ejercicio y a los 60 minutos luego del ejercicio. Todo esto con el fin de para determinar los valores promedios de las frecuencias y el pH y así poder determinar su promedio y la diferencia entre machos y hembras y los diferentes tiempos de entrenamiento.

## 1. MARCO TEÓRICO

### 1.1. INFLUENCIA DEL EJERCICIO SOBRE LA FRECUENCIA RESPIRATORIA (FR)

Según Corvalán (2010), se puede afirmar que la ventilación se incrementa de forma paralela a las demandas metabólicas impuestas por el tipo de esfuerzo que ejerce el equino. La taquipnea durante la actividad física puede ser consecuencia de la actuación conjunta de numerosos factores, tales como un cierto grado de variación en la presión parcial de CO<sub>2</sub> en sangre arterial o venosa, el pH sanguíneo, la estimulación de los receptores medulares por los H<sup>+</sup>, el efecto del sistema cardiovascular o los cambios en la presión parcial de O<sub>2</sub> (Lekeux, 1994). En el ejercicio, la elevación en la Frecuencia Respiratoria (FR) depende de los requerimientos energéticos que imponen al mismo, o la función termorreguladora del organismo. Se sabe que la termorregulación es un mecanismo en el cual interviene la evaporación y por lo tanto el sistema respiratorio, al aumentar la temperatura ambiental sin cambios en la temperatura corporal, se incrementa la FR y se reduce el volumen tidal (Lekeux, 1994). Esta información es reconfirmada por Araya, 2005.

#### 1.1.1. Aparato respiratorio

El sistema respiratorio del equino es aerodinámico para disminuir la resistencia al flujo de aire. Los ollares se dilatan y la vasoconstricción dentro del tejido eréctil dentro de la nariz sirve para ensanchar las fosas nasales. Luego el flujo de aire pasa por laringe donde las cuerdas vocales se retiran hacia atrás para reducir la resistencia y la misma laringe transversalmente se expande para aumentar el paso de aire, además la mucosa elástica que reviste la parte superior e inferior de nasofaringe y faringe se estira proporcionando una superficie más lisa (Nancy, 2006). También en el techo de la nasofaringe los músculos del paladar blando se elevan y cuando el equino extiende cabeza y cuello las vías respiratorias se estiran eliminando ángulos y turbulencias en la entrada de aire (Riera, 2014).

Además de esto existe una relación de la frecuencia respiratoria con la marcha, al paso y al trote la frecuencia respiratoria tiene poca relación mientras que al galope la frecuencia se sincroniza con la frecuencia del paso. Los músculos abdominales y torácicos y el diafragma hacen que funcione el movimiento respiratorio y su acondicionamiento es importante porque de ellos depende el ritmo respiratorio (Riera, 2014; Nancy, 2006). Por estas razones el examen sobre todas las vías respiratorias y la frecuencia cardíaca son importantes para evaluar la capacidad física y la tolerancia al ejercicio en un caballo (Nancy, 2006).

#### 1.1.2. Auscultación pulmonar

Entre las costillas 9, 11 y 17 se delimita el espacio para auscultar y percutir clínicamente los pulmones, en el examen clínico se revisa la frecuencia respiratoria, la amplitud respiratoria, el tipo de respiración y el ritmo. La frecuencia respiratoria es el número de movimientos respiratorios completos que se producen en una unidad de tiempo, minuto. Siempre se debe realizar en un lugar tranquilo, el examen clínico para auscultar se ubica desde el latero caudal

y latero craneal en un ángulo de cuarenta y cinco grados con respecto al animal. El valor clínico normal es de 12 respiraciones por minuto, se debe tener en cuenta para evaluar taquipnea y bradipnea (Marek, 1973; Radostis, 2001).

## **1.2. INFLUENCIA DEL EJERCICIO SOBRE LA FRECUENCIA CARDIACA (FC)**

### **1.2.1. Función cardiaca**

En la clínica es importante la valoración durante la compra de animales y los controles en las competiciones deportivas, además de las revisiones clínicas. La intolerancia al ejercicio es uno de los síndromes más importantes porque afecta el rendimiento del animal, en este caso el conocimiento de los parámetros cardiovasculares en reposo y actividad del animal son importantes ya que entendemos la adaptación al ejercicio y el diagnóstico de deficiencias o alteraciones (Clayton, 1975).

### **1.2.2. Examen cardiaco**

Es ideal realizar un examen general sobre la actitud y alerta de un caballo además de los pulsos en la arteria facial y las arterias digitales, por ejemplo, el pulso yugular se altera en cardiopatías, en lesiones del pie equino se presentan pulsaciones aumentadas. También es importante realizar una minuciosa anamnesis del historial deportivo, entrenamientos y respuesta al ejercicio. Además de esto las pruebas paraclínicas pueden ser de gran ayuda, hematología, bioquímica sanguínea, electrolitos, pH sanguíneo y gasimetrías. Pruebas que aportan información para el diagnóstico y pronóstico de diferentes patologías (Clayton, 1975).

### **1.2.3. El cardiotacómetro**

Es un monitor de rendimiento cardiaco que permite la lectura inmediata del ritmo cardiaco mientras el equino realiza alguna actividad física. Este equipo consta de dos electrodos almohadillados que conectan con un transmisor que se engancha a la silla o al collar del pecho y a un receptor en forma de reloj digital. Uno de los electrodos se fija a la cincha para que entre en contacto con una zona cercana al corazón y el otro electrodo se fija al lado de la cruz del caballo, debajo de la perilla de la silla para que haga polo a tierra. El equipo calcula en promedio a cada dos segundos la actividad del corazón. En este tipo de equipos se almacena información hasta una hora de trabajo para elaborar gráficos del rendimiento cardiaco (Nancy, 2006).

### **1.2.4. Corazón**

Ubicado en la parte inferior izquierda del tórax, entre los espacios intercostales tres y cinco, importante para auscultación y percusión. En equinos la base cardiaca se ubica por debajo de la mitad total de tórax, pero ligeramente por encima de la cavidad torácica. El examen clínico se aplica entre el cuarto y sexto espacio intercostal (Ramírez, 2005).

La capacidad del corazón de bombear suficiente cantidad de sangre para soportar las necesidades del animal en ejercicio, y la redistribución efectiva de sangre hacia el músculo esquelético, son las dos circunstancias clave para que el caballo proporcione un buen



rendimiento según García et al., 1995. Las mediciones de la frecuencia cardiaca durante el ejercicio en caballos atletas son empleadas para cuantificar la intensidad de la carga de trabajo, monitorear el acondicionamiento físico y para estudiar los efectos del ejercicio sobre el sistema cardiovascular (Cunningham, 2002). Este responde al ejercicio con un aumento de la frecuencia cardiaca, de la fuerza de contracción, del volumen sistólico y del trabajo cardiaco; estas respuestas cardiovasculares son rápidas y concomitantes a la vasoconstricción y vasodilatación arterial para un trabajo muscular adecuado a las exigencias del ejercicio. Durante la actividad física, se observa un aumento lineal de la frecuencia cardiaca, proporcional al aumento de la velocidad del ejercicio hasta llegar a valores de 210 bpm, y frecuentemente llega a un valor máximo, el cual no se eleva con el aumento de la intensidad de trabajo, esta característica esta denominada de la frecuencia cardiaca máxima (FC<sub>máx</sub>), que para caballos de carreras se sitúa en torno de 240 – 250 bpm (Thomassian, 2000).

El ejercicio es un factor sumamente importante en la fisiología del caballo, ya que debido a la intensidad del mismo se producen muchas variaciones referentes a las constantes fisiológicas (Corvalán, 2010). El corazón y la circulación sanguínea son los elementos directamente relacionados con los cambios durante el ejercicio ya que ellos son los encargados del transporte de oxígeno desde los pulmones a los tejidos periféricos, y a mayor exigencia deportiva, mayor será el gasto cardiaco (Cunningham, 2002).

El sistema cardiovascular se caracteriza por poseer una parte funcional, determinada por el rendimiento cardíaco (RC) y una parte dimensional, representada por el volumen sanguíneo y variables relacionadas. Ambos componentes son determinantes de la liberación de oxígeno a tejidos metabólicamente activos, el rendimiento cardiaco viene determinado por la FC frecuencia cardiaca y el volumen latido. Conocer la frecuencia cardiaca puede dar una idea fiable de la condición física de un caballo, ya que sus variaciones le permiten al veterinario saber cómo responde al ejercicio, como es su recuperación posterior y además permite obtener un indicador de la salud del animal (Cunningham, 2002).

No obstante son muy diversos los factores que pueden modificar esta FC además del ejercicio, como son el dolor, la excitación, el estado hídrico del animal o la estimulación del sistema nervioso simpático, que puede inducir aumentos de hasta 110 ppm (pulsaciones por minuto), frente a los 25 y 40 ppm de frecuencia basal, la cual fue estudiada por Hamlin, 1972. Dicho estudio fue ratificado por Couroucé *et al.*, 2002, en donde determina diferentes signos útiles para obtener resultados acerca de la salud de un caballo.

La FC depende, entre otros factores, de la intensidad y duración del esfuerzo. (Evans, 1994 & Evans, 2000). El incremento de la actividad metabólica en los tejidos (sobre todo en el músculo esquelético), que sucede a partir del ejercicio físico, requiere unas adaptaciones del sistema cardiovascular, que garantizan el aporte correcto de oxígeno a la fibra muscular, y la retirada de los productos de desecho metabólico (Couroucé *et al.*, 2002). Ese aporte extraordinario de oxígeno, se consigue con un incremento en la FC, proporcional a la intensidad metabólica muscular, si la FC es superior a 200 ppm, nos está indicando una

limitación en el transporte y utilización del oxígeno por la miofibrilla y por tanto un metabolismo predominantemente anaerobio (Serrano, 2002).

En la tabla 1, se pueden observar diferentes valores de frecuencia respiratoria y frecuencia cardiaca en diferentes trabajos realizados en equinos y en la tabla 2 los valores de frecuencia respiratoria para equinos Holsteiner en tiempos de reposo y luego de actividad física, donde se puede ver un importante incremento de la frecuencia para compensar el gasto de energía y mantener el cuerpo dentro de un equilibrio metabólico adecuado.

Tabla 1. Comparación constantes fisiológicas de equinos de diferentes razas

Constante	Caballos de salto, México	Caballos de salto Bogotá	Caballos mestizos Chile
F. Cardiaca	37,29±1,17 lat/min	41,6 lat/min	41 lat/min
F. Respiratoria	16,79±2,04 res/min	20 Res/min	22 res/min

Adaptado de: Guerrero et al., (2009), Araya (2005), Ruiz (2011)

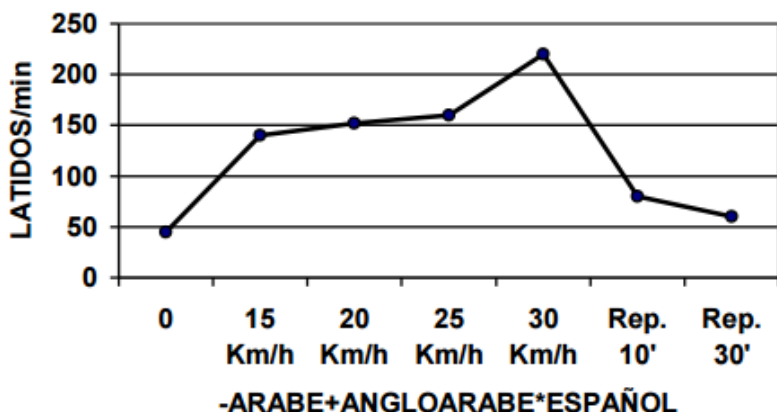
Tabla 2. Valores de la frecuencia respiratoria en caballos de salto Holsteiner.

Constante	reposo (promedio ± de)	post – ejercicio (promedio ± de)
F. Respiratoria	13,4 ± 1,3	96,8 ± 6,9

Adaptado de: Gómez, et al. (2006)

En la gráfica 1 se puede apreciar los latidos por minutos de diferentes razas de caballos que son sometidos a actividad física de intensidad creciente hasta por 30 minutos, aquí la frecuencia cardiaca presenta su mayor valor a los 30 km por hora con más de 200 latidos por minuto ya que el sistema cardiaco debe mantener una buena irrigación en toda la musculatura que está trabajando. Los valores de los latidos cardiacos vuelven a descender casi a la normalidad a los 30 minutos luego del ejercicio porque el metabolismo del cuerpo y el gasto energético se ve reducido (García et al., 1995).

Gráfica 1: Valores medios de frecuencia cardiaca, obtenidos en caballos de distintas razas sometidos a un ejercicio de intensidad creciente y en la recuperación posterior.



Tomado de: García et al., 1995.

### 1.3. INFLUENCIA DEL EJERCICIO SOBRE EL pH

#### 1.3.1. Equilibrio Ácido Base

El trabajo muscular que se traduce en movimiento requiere una cantidad determinada de sustratos para realizar el proceso de contracción, este es un proceso fundamental para el trabajo físico según Jones & Heigenhauser, 1992, que también describieron las consecuencias de la liberación de hidrogeniones ( $H^+$ ), y se considera ésta, como la primer causa de acidificación de músculos y sangre. Hinchcliff, 2004, confirma dicha información y agrega diciendo que el lactato también contribuye a la acidificación muscular, ya que este es eliminado por células musculares en su afán de liberar energía a falta de oxígeno cuando no hay una alta disponibilidad de este y que por ello es necesario realizar procesos de metabolismo anaeróbico.

El equilibrio ácido base es controlado por distintos sistemas corporales, en el equino atleta estos sistemas conocidos como renal, respiratorio, muscular, vascular, hepático, y cutáneo; trabajan de una manera más exigente debido a la gran liberación de componentes ácidos, que ocurre como consecuencia de la actividad física (Hinchcliff, 2004).

En defensa a circunstancias acidóticas o alcalóticas el organismo realiza una serie de respuestas para equilibrar el pH y mantener el ambiente celular de la mejor manera posible, para esto los pulmones aumentan la eliminación de  $CO_2$ , el sistema vascular actúa como amortiguador distribuyendo los metabolitos acidificantes por todo el organismo, y permitiendo gran cantidad de reacciones químicas amortiguantes (sistema amortiguador bicarbonato), así como también contribuyendo al almacenamiento en glóbulos rojos (Engelhardt, 2004).

El sudor eliminado por la piel al igual que la orina contienen electrolitos o hidrogeniones que selectivamente se eliminan como mecanismo defensor (Hinchcliff, 2004). Por último el hígado metaboliza gran parte del lactato eliminado para de esta manera colaborar también en el equilibrio ácido base. La medición de respuestas variables a la acidificación del medio corporal da una idea del status bioquímico y ácido-base del organismo, con estas es posible realizar un análisis de los trastornos ácido base, determinar si son patológicos o fisiológicos y cómo se comportan los mecanismos defensores con respecto a una exigencia física (Álvarez & Pérez, 2009).

### 1.3.2. Ácidos y Bases

Los hidrogeniones son iones muy activos y pueden reaccionar frecuentemente con distintas moléculas, una molécula recibe el nombre de ácido cuando posee el ión hidrogeno y la capacidad de liberarlo y disociarse de este cuando se añade dicha molécula en una solución. Un ácido es fuerte cuando tiene la propiedad de disociarse rápidamente y liberar grandes cantidades de  $H^+$  a una solución (Engelhardt, 2005). El ejemplo más común es el HCl, una molécula ácida que se disocia rápidamente en una solución. Por el contrario un ácido es débil cuando su tendencia a disociarse es menor y por lo tanto la liberación de hidrogeniones por parte de esta molécula tiene menor vigor, un ejemplo común es el  $H_2CO_3$  (Álvarez & Pérez, 2009).

Una molécula recibe el nombre de base cuando se añade a una solución y es capaz de captar iones  $H^+$ , las bases fuertes son grandes captadores de  $H^+$  y reaccionan rápida y potentemente con los hidrogeniones en una solución, un ejemplo típico es el  $OH^-$  que se une con  $H^+$  para formar  $H_2O$ . Las bases débiles no son tan potentes y rápidas captadoras de captar  $H^+$ , una base típica es el  $HCO_3^-$  (García et al., 1995). Existen tres sistemas fundamentales mediante los cuales se regula la concentración de  $H^+$  en el organismo:

- Sistemas amortiguadores
- Centro respiratorio
- Función renal.

### 1.3.3. Sistemas Amortiguadores

Se llama amortiguador a cualquier sustancia capaz de unirse de manera reversible a los iones hidrógeno, de esta manera se controla la concentración de  $H^+$  en el organismo, liberando o captando hidrogeniones dependiendo de la concentración de este ión en el organismo (Cunningham, 2002). De esta manera las moléculas que contienen hidrogeniones, se disocian cuando la concentración de  $H^+$  es baja y los captan cuando la concentración de  $H^+$  aumenta (Senson, 1999). Existen tres sistemas amortiguadores importantes:

- Sistema Amortiguador Bicarbonato
- Sistema Amortiguador Fosfato
- Sistema amortiguador Proteínas

### 1.3.4. Sistema Amortiguador Bicarbonato

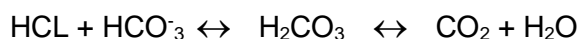
Es cuantitativamente el sistema amortiguador más importante en mantener la concentración de hidrogeniones dentro de un rango normal y eliminar la gran cantidad de ácidos que se producen al día en el organismo, el sistema amortiguador del bicarbonato consiste en una solución acuosa que contiene un ácido débil como  $\text{H}_2\text{CO}_3$  y una sal de bicarbonato como el  $\text{NaHCO}_3$ . La molécula de  $\text{H}_2\text{CO}_3$  se forma dentro del organismo mediante la reacción de  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$  (Cunningham, 2002).



Esta reacción es lenta, y necesita la presencia de la enzima anhidrasa carbónica para aumentar la cantidad de  $\text{H}_2\text{CO}_3$ . La anhidrasa carbónica se encuentra en los alvéolos pulmonares y su función es eliminar  $\text{CO}_2$  en los túbulos renales donde elimina  $\text{HCO}_3^-$ . El  $\text{H}_2\text{CO}_3$  se ioniza débilmente para formar pequeñas cantidades de  $\text{H}^+$  y  $\text{HCO}_3^-$ . Gracias a la débil disociación del  $\text{H}_2\text{CO}_3$ , la concentración de  $\text{H}^+$  es muy pequeña (Cunningham, 2002).

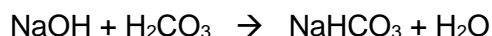


Cuando se añade un ácido fuerte como el HCl al sistema amortiguador bicarbonato; el  $\text{HCO}_3^-$  amortigua los iones hidrógeno disociados a partir del ácido clorhídrico, liberando moléculas de  $\text{H}_2\text{CO}_3$  que se disocian en  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$  (Cunningham, 2002).

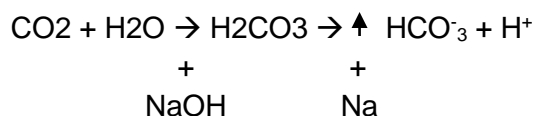


El efecto neto de este sistema amortiguador cuando se agrega un ácido, es un aumento en la concentración de  $\text{CO}_2$  con un consiguiente aumento de  $\text{CO}_2$  eliminado por pulmón.

Al contrario cuando es añadido al sistema una base fuerte como el NaOH (hidróxido sódico), se producen reacciones opuestas.



Donde el NaOH reacciona con el  $\text{H}_2\text{CO}_3$  para formar más  $\text{HCO}_3^-$ , de esta manera una base fuerte (NaOH) es reemplazada por una base débil  $\text{NaHCO}_3$ , esta información es ratificado por Álvarez & Pérez, 2009.



La concentración de  $\text{H}_2\text{CO}_3$  disminuye, lo cual favorece la reacción de  $\text{H}_2\text{O}$  y  $\text{CO}_2$  para reponer las cantidades de  $\text{H}_2\text{CO}_3$ . El efecto neto es una disminución en la concentración de  $\text{CO}_2$ , por lo tanto la eliminación de  $\text{CO}_2$  por pulmón también disminuye aumentando los niveles

sanguíneos de  $\text{CO}_2$ , el exceso de  $\text{HCO}_3^-$  en la sangre, se compensa aumentando su excreción renal (Cunningham, 2002).

### **1.3.5. Sistema Amortiguador Proteínas**

Corresponde al sistema amortiguador más importante al interior de la célula. La membrana celular permite un cierto grado de difusión de los iones hidrógeno y bicarbonato, sin embargo, salvo en el caso de los hematíes, la lentitud del movimiento de los iones hidrógeno y bicarbonato a través de las membranas celulares suele retrasar varias horas el momento en que las proteínas intracelulares alcanzan su máxima capacidad de amortiguamiento de las anomalías ácido básicas extracelulares (Cunningham, 2002).

El  $\text{CO}_2$  difunde rápidamente a través de todas las membranas celulares, dicha difusión de los elementos del sistema amortiguador bicarbonato producen cambios de pH de los líquidos intracelulares que siguen a los cambios del pH extracelular, por esta razón los sistemas amortiguadores del interior de las células ayudan a evitar los cambios de pH de los líquidos extracelulares, aunque pueden pasar varias horas hasta que logren su eficacia máxima (Guyton, 2001).

### **1.3.6. Control respiratorio del equilibrio ácido base**

La segunda línea de defensa ante desequilibrios ácido base, se lleva a cabo a nivel pulmonar, allí la ventilación pulmonar y la frecuencia respiratoria juegan un papel importante en la concentración de  $\text{CO}_2$  del líquido extracelular (Cunningham, 2002). Cuando la ventilación aumenta, la concentración de  $\text{CO}_2$  del líquido extracelular, disminuye ya que, por vía pulmonar se pierde  $\text{CO}_2$ , el cual por acción de masas, aumenta la concentración de iones hidrógeno (Cunningham, 2002), al contrario cuando la ventilación disminuye, el  $\text{CO}_2$  a nivel de líquido extracelular aumenta debido a que su eliminación por vía pulmonar está un tanto limitada, esto hace que la concentración de iones hidrógeno se amplíe (Cunningham, 2002).

La cantidad de  $\text{CO}_2$  disuelto normalmente en los líquidos corporales es de 1.2 mmol/L, lo que corresponde a una presión parcial de dióxido de carbono ( $\text{PCO}_2$ ) de 40 mmHg. Cuando la producción metabólica de  $\text{CO}_2$  aumenta, la  $\text{PCO}_2$  también aumentará simultáneamente, cuando la producción de  $\text{CO}_2$  disminuye así mismo lo hace la  $\text{PCO}_2$ . Por tanto los cambios en la ventilación pulmonar y la tasa de producción de  $\text{CO}_2$  en los tejidos pueden modificar la  $\text{PCO}_2$  del líquido extracelular (Jablonska, 2001).

La ventilación alveolar puede modular la concentración de  $\text{CO}_2$ , pero ella a su vez se ve afectada por la concentración de iones hidrógeno, la razón es una disminución de la presión parcial y cantidad de  $\text{O}_2$  en la sangre cuando el pH disminuye, por consiguiente el sistema respiratorio se ve obligado a mejorar la ventilación a través de un aumento de la frecuencia respiratoria (Cunningham, 2002), es decir que el aparato respiratorio actúa por retroalimentación negativa, esto quiere decir que tiene la capacidad de regular la cantidad de iones hidrógeno aumentando o disminuyendo la ventilación (Cunningham, 2002).

La eficacia del mecanismo respiratorio de control ácido-base es de un 50 – 75%, es decir cuenta con una ganancia de retroalimentación de 1 a 3. Esto traduce en una caída del pH de 7.4 a 7.0 que puede ser compensada por el pulmón hasta 7.2 o 7.3. En general la capacidad de amortiguamiento global del aparato respiratorio es 1 o 2 veces mayor que la de todos los demás amortiguadores químicos del líquido extracelular combinados (Jablonska, 2001).

### **1.3.7. Control renal del equilibrio ácido base**

El riñón por medio del manejo de iones hidrógeno y bicarbonato, es capaz de producir orina de pH alcalino o ácido, dependiendo de la compensación que necesite realizar al equilibrio ácido base. El filtrado glomerular generalmente contiene bicarbonato que ha sido filtrado de la sangre, y las células endoteliales de los túbulos son las encargadas de secretar hidrogeniones a la luz del túbulo (Engelhardt & Breves, 2004). Si son excretados más iones hidrógeno que el bicarbonato filtrado se produce una pérdida neta de ácidos del organismo, por el contrario si la cantidad de bicarbonato filtrado es mayor que la de los iones hidrógeno secretados, existe una pérdida neta de bases. En general el riñón regula la concentración de iones hidrógeno mediante tres mecanismos básicos: secreción de iones hidrógeno, reabsorción de iones bicarbonato filtrados, y producción de nuevos iones bicarbonato (García et al., 1995) información reconfirmada por (Engelhardt & Breves, 2004).

A diario el riñón filtra grandes cantidades de bicarbonato que son reabsorbidas siempre y cuando haya una igual cantidad de iones hidrógeno secretados en los túbulos renales para este efecto (García et al., 1995).

### **1.3.8. Control de la secreción tubular de H+**

En circunstancias normales, los túbulos renales deben secretar iones hidrógeno en una cantidad suficiente para reabsorber casi todo el bicarbonato filtrado, también deben existir iones hidrógeno suficientes para eliminar metabolitos de desecho como los ácidos grasos no volátiles, producidos cada día en el metabolismo. Los principales estímulos para la secreción de iones hidrógeno en los túbulos durante la acidosis son: aumento de la  $PCO_2$  del líquido extracelular y un aumento de la concentración de iones hidrógeno en el líquido extracelular. Cuando la  $PCO_2$  aumenta en el líquido extracelular, lo hace también en las células endoteliales de los túbulos, de esta manera el exceso de  $CO_2$  al interior de la célula, estimula la reacción de este con  $H_2O$ , liberando  $H_2CO_3$  el cual se disocia liberando un ion  $H^+$  (Lindinger, 2007).

#### **1.3.8.1. Acidosis**

En casos de acidosis hay una disminución en la relación de  $HCO_3^-$  y  $H^+$ , es decir, existe un aumento en la cantidad de  $H^+$  o una disminución de  $HCO_3^-$ , cuando este trastorno es debido a una disminución de iones bicarbonato recibe el nombre de acidosis metabólica. A nivel renal esta acidosis metabólica traduce en una disminución de iones bicarbonatos filtrados, por este motivo el bicarbonato filtrado es reabsorbido en su totalidad (Argyle, 1996). En el proceso de generar nuevo bicarbonato a nivel renal, el exceso de hidrogeniones se amortigua con el sistema amortiguador fosfato de esta manera se añaden moléculas de bicarbonato al líquido extracelular, a diferencia de lo anteriormente explicado este bicarbonato no reemplaza las moléculas de bicarbonato filtradas, sino que resulta en una ganancia, es decir que siempre

que un ion hidrogeno es secretado a la luz tubular y reacciona con otro tipo de amortiguador, el efecto neto es la adición de un nuevo ión bicarbonato a la sangre (Lindinger, 2007).

A su vez cuando aumenta la  $PCO_2$  la acidosis recibe el nombre de acidosis respiratoria. En este caso el exceso de iones hidrógeno en el líquido extracelular se debe a un aumento en la  $PCO_2$  que estimula la secreción de iones hidrógeno a nivel de los túbulos renales y conductos colectores (Lindinger, 2007).

### **1.3.8.2. Alcalosis**

En casos de alcalosis la relación entre  $HCO_3$  y  $H^+$  aumenta, es decir que la concentración de bicarbonato en líquido extracelular aumenta o la concentración de  $H^+$  disminuye. Cuando la alcalosis es producida por aumento de iones bicarbonato recibe el nombre de alcalosis metabólica, la concentración de iones hidrogeno a nivel renal no es suficiente para reabsorber todo el bicarbonato filtrado, y el exceso es excretado en orina, ayudando así a que la concentración de hidrogeniones y por tanto el pH vuelvan a la normalidad (Argyle, 1996). La alcalosis producida por disminución de  $PCO_2$  recibe el nombre de alcalosis respiratoria, en este caso la depleción de  $PCO_2$  disminuye a su vez la secreción de iones hidrógeno a nivel tubular, esta disminución ocasiona una limitación en la reabsorción de todo el bicarbonato filtrado, de este modo incrementa la eliminación de bicarbonato por orina, la frecuencia respiratoria disminuye reteniendo moléculas de  $CO_2$  para conseguir de esta manera contribuir también a una disminución de pH (Lindinger, 2007).

### **1.3.8.3. Aproximación físico química al equilibrio ácido base**

El equilibrio ácido base de los equinos atletas se encuentra ampliamente estudiado, sin embargo hoy en día las aproximaciones a los disturbios ácido base se realizan de una manera distinta; enfocándose en un abordaje fisicoquímico donde una serie de variables y ecuaciones son utilizadas para un mejor entendimiento clínico y fisiológico de los trastornos ácido-base (Lindinger, 2007). Este abordaje tiene un fundamento basado en 3 aspectos:

- La molécula  $H^+$  es altamente reactiva y no se considera de existencia física, se relaciona con moléculas proteicas negativas,  $OH^-$ ,  $HCO_3^-$  y aminoácidos.
- El agua, la molécula más abundante en el cuerpo, provee una gran cantidad de  $H^+$  para reacciones bioquímicas y fisicoquímicas.
- Debido a las características físicas de los protones  $H^+$  y el agua, es imposible añadir protones a una solución fisiológica sin añadir agua.

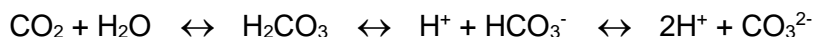
Algunas de los grupos de variables usadas en este tipo de abordaje nuevo son:

- Diferencia de iones fuertes (*SID*): Es el resultado de la resta de los cationes fuertes y los aniones fuertes. A estos protones se les llama fuertes por su alta capacidad de disociación (<4.5 para los aniones y mayor a 9 para los cationes) en un medio acuoso; es decir al añadir iones fuertes a una solución base de agua resultarán completamente separados aquellos iones fuertes que fueron añadidos en forma de molécula a la misma solución (Engelhardt, 2005).



Los iones fuertes de importancia en el abordaje fisicoquímico del equilibrio ácido base son: Sodio ( $\text{Na}^+$ ), Potasio ( $\text{K}^+$ ), Magnesio ( $\text{Mg}_2^+$ ) y Calcio ( $\text{Ca}_2^+$ ).

- Concentración total de aniones débiles ( $A_{tot}$ ): Resulta de la suma de todos los iones débiles encontrados en determinado compartimiento corporal. Se les llama débiles a aquellos aniones o cationes que no tienen características disociativas en una solución acuosa; es decir, el añadir iones débiles a una solución acuosa resulta en la mezcla de varias moléculas que resultan de diferentes reacciones que pueden originarse al juntar la molécula de agua con estas moléculas débiles. Esta capacidad de los iones débiles les otorga excelentes características amortiguadoras. Los iones débiles de importancia en el abordaje fisicoquímico del equilibrio ácido base son: Cloro ( $\text{Cl}^-$ ), Lactato, y  $\text{SO}_4^{2-}$  (Alan, 2001).
- Sistema de dióxido de carbono: El dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) es por naturaleza un ácido fuerte debido a su habilidad de añadirse al agua y aumentar la cantidad de  $\text{H}^+$  y  $\text{HCO}_3^-$  y acidificar la solución (Alan, 2001). Las reacciones químicas envueltas en la hidratación y deshidratación del  $\text{CO}_2$  se grafican a continuación:



#### Términos importantes del abordaje fisicoquímico del equilibrio ácido-base:

*Base:* Cualquier catión presente en fluidos corporales

*Buffer Base:* Representa la concentración total equivalente de todos los componentes amortiguadores aniones (bases) de la sangre: hemoglobina, bicarbonato, proteínas plasmáticas, y fosfatos.

*Exceso/déficit de Base:* Representa la acumulación de base/ácido no volátiles en la sangre

*Brecha aniónica:* Ecuación que resta la suma de  $\text{Cl}^-$  y  $\text{HCO}_3^-$  menos la suma de  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$ .

*Brecha de iones fuertes:* Ecuación para determinar la concentración de iones fuertes insensibles, inmedibles, o no medibles en plasma (Alan, 2001).

## 1.4 FISIOLÓGIA DE LA CONTRACCIÓN MUSCULAR

El tejido muscular es una agrupación de células llamadas de fibras musculares responsables por muchas funciones vitales. En los mamíferos, estas fibras musculares, en conjunto con otros tejidos como el óseo y el conjuntivo nos ayudan a realizar actividades motoras voluntarias e involuntarias. Para desplazarnos de un lugar usamos los músculos de los miembros inferiores; para masticar y hablar, músculos que mueven las mandíbulas; para mirar hacia un determinado punto los ojos necesitan de músculos para enfocarse hacia algo deseado en apenas milésimas de segundo. Todos esos mecanismos trabajan comandados por el sistema nervioso que es quien manda señales químicas y activa la contracción muscular (García et al., 1995; Umbarila, 2007).

Tisularmente existen tres tipos de tejidos musculares. El Tejido *muscular liso*, *esquelético* y el *cardíaco*. El *tejido muscular liso* funciona por contracciones involuntarias y posee un único núcleo. El *músculo esquelético* es de forma cilíndrica, alargada y poli nucleada, generalmente

comenzando y acabando en tendones, asociados a huesos para dar locomoción y es la más grande entre todas las células musculares. Se disponen en paralelo poseyendo estrías y casi siempre asociados a sistema óseo. Los músculos lisos carecen de estrías transversales y forman parte principalmente de las vísceras huecas y no son de acción voluntaria. Ya el músculo cardíaco tiene estrías transversales pero este no posee inervaciones aunque pulsa rítmicamente de manera involuntaria. Ya que existen estos tres tipos de músculos, se discutirá aquí solamente sobre la fisiología del músculo esquelético (Umbarila, 2007).

Una vez definido el tipo de músculo a estudiarse es necesario entender cómo es que se contraen estas fibras. Entonces, para mantener la contracción muscular durante el ejercicio se requiere de provisión de grandes cantidades de energía química. La fuente molecular inmediata de esta energía para la locomoción es el ATP (Adenosin Tri Fosfato). El desdoblamiento de ATP en ADP + Pi (Piruvato) proporciona la energía necesaria para la contracción muscular. Según García et al. (1995) cuando la energía se usa para el movimiento sólo aproximadamente un 25 % de esta energía genera energía mecánica, el resto se pierde en forma de calor. Como resultado de esto, durante el movimiento se produce el desdoblamiento de gran número de moléculas de ATP (García et al., 1995).

#### **1.4.1. Estructura general del músculo esquelético**

El músculo se encuentra rodeado por una capa de tejido fibroso conjuntivo que se denomina epimisio. Esta capa se prolonga en los extremos y uniéndose a otras estructuras conjuntivas forman los tendones. Al seccionar el vientre muscular, se observan varias agrupaciones de fibras que se denominan fascículos y están envueltos en una capa de tejido conjuntivo denominada perimisio. En el interior de estos fascículos encontramos la célula muscular o fibra, que a su vez se encuentra envuelta en otra capa de tejido conjuntivo denominado endomisio. Las fibras musculares, son células cilíndricas, largas y delgadas, distribuidas de forma paralela y rodeadas de una membrana excitable eléctricamente que se denomina sarcolema. El citoplasma de estas células se denomina sarcoplasma y contiene proteínas contráctiles, glucógeno, enzimas, mitocondrias, núcleos, retículo sarcoplásmico, etc. Con la ayuda de la microscopía electrónica, la difracción de los rayos X y las técnicas histoquímicas, se ha podido conocer la ultraestructura del músculo esquelético y observar la presencia de estructuras distribuidas en haces paralelos y con un diámetro aproximado de una micra que se denominan miofibrillas. A su vez estas miofibrillas están compuestas por miofilamentos distribuidos también de forma paralela al eje longitudinal de la fibra muscular. Los miofilamentos están formados por las proteínas contráctiles y pueden ser delgados o gruesos. Como consecuencia de la distribución de los filamentos delgados y gruesos, se pueden observar una alternancia de bandas claras y oscuras a lo largo de la miofibrilla que le proporciona una apariencia estriada y de esta apariencia deriva la denominación de músculos estriados (McArdle, 1990; Lozano et al., 1995).

#### **1.4.2. Regulación de la Contracción muscular**

Los mamíferos poseen músculos formados por un conjunto de células altamente especializadas que transforman energía química en mecánica como respuesta a

acontecimientos excitadores que ocurren en la membrana celular (Umbarila, 2007). Esta característica determina que los músculos se contraigan generando tensión y produciendo movimiento, lo que permite al animal realizar actividades que pueden parecer opuestas como estar parado o correr, así como sustentar la función de los diferentes sistemas orgánicos de manera voluntaria o involuntaria (Engelhardt *et al.*, 2004; Umbarila, 2007).

Los animales como el caballo, cuya capacidad para el trabajo físico es el doble de la de un hombre, fue un factor importante para garantizar su sobrevivencia en el pasado. A pesar de esto, sus mecanismos fisiológicos básicos son esencialmente los mismos que en el hombre y otros animales, y solamente los aspectos fisiológicos cuantitativos hacen del caballo un ser físicamente superior (De Luca, 2000; Umbarila, 2007).

Como se ha mencionado anteriormente, a lo largo de la miofibrilla se alternan bandas claras con bandas oscuras, las bandas claras se denominan bandas I y las oscuras bandas A. En el centro de la banda I se encuentra una línea que se denomina Z. En la parte central de la banda A se observa una zona menos oscura que se denomina zona H y que a su vez está cruzada en el centro por otra línea denominada M. La unidad funcional contráctil del músculo y que se repite a lo largo de la miofibrilla es la zona comprendida entre dos líneas Z y se denomina sarcómero. La banda I y la banda A, así como la zona H vienen determinadas por la distribución y superposición de los filamentos gruesos y delgados. De tal forma que la banda I está formada exclusivamente por filamentos delgados, mientras que la banda A lo está por la superposición de filamentos delgados y gruesos. La zona H que se encontraba en el interior de la banda A se debe exclusivamente a filamentos gruesos. Al realizar un corte transversal en la zona de superposición de los filamentos delgados y gruesos, podemos observar que cada filamento grueso está rodeado de seis filamentos delgados y a su vez cada filamento delgado está rodeado de tres filamentos gruesos. Los filamentos gruesos están constituidos fundamentalmente por la proteína miosina. Los filamentos delgados están formados por las proteínas actina, tropomiosina y troponina. Estas proteínas son los componentes principales del sarcómero, aunque existen otras proteínas que están presentes en proporciones menores y que son: la proteína M, que se localiza en la línea M; la proteína Cap Z y la  $\alpha$ -actinina que se localizan en la línea Z y otras presentes en menor cantidad como la vinculina, la nebulina, la titina, etc (Engelhardt *et al.*, 2004; García *et al.*, 1995; Umbarila 2007).

## 2. OBJETIVOS

### 2.1. GENERAL

Determinar los valores promedios de frecuencia cardiaca, frecuencia respiratoria y pH en equinos Paso Fino Colombiano durante reposo, a los 45 minutos de ejercicio y 60 minutos después del ejercicio.

### 2.2. ESPECÍFICOS

- Realizar la medición de frecuencia cardiaca, frecuencia respiratoria y pH sanguíneo durante un los siguientes tiempos: T0, reposo, T1, animales con 45 minutos de ejercicio y T2, animales luego de 60 minutos de haber realizado actividad física.
- Evaluar estadísticamente si existen diferencias en las constantes fisiológicas y pH sanguíneo entre machos y hembras.
- Evaluar los cambios de pH sanguíneo durante T0, reposo, T1 luego de 45 minutos de ejercicio y T2, luego de 60 minutos de haber realizado actividad física.

### 3. JUSTIFICACIÓN

Es importante establecer en equinos de Paso Fino Colombiano las alteraciones que se pueden presentar en las constantes fisiológicas, como frecuencia cardiaca, frecuencia respiratoria y pH sanguíneo antes y después del ejercicio, puesto que estos animales son sometidos a estrés físico intenso y esto puede conllevar a procesos fisiológicos que modifican las constantes. Esto con el fin de tener regular y adaptar el animal a la actividad física.

Conocer los valores aproximados de estas constantes y la forma en cómo se alteran, puede ser de utilidad en la medicina veterinaria, ya que se puede realizar diagnósticos más certeros y en medicina deportiva realizar programas de entrenamiento y manejos adecuados sobre la hidratación post-ejercicio.

#### 4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los parámetros fisiológicos utilizados actualmente en la clínica de Caballos de Paso Fino Colombiano son extrapolados de estudios realizados en otras razas, las cuales se encuentran en condiciones geográficas diferentes a las que se reportan en la sabana de Bogotá, lo que impide al médico veterinario estar seguro a la hora de tomar decisiones para procedimientos clínicos, médicos y quirúrgicos. Razón por lo cual surge la necesidad de caracterizar el caballo criollo colombiano y así no incurrir en errores diagnósticos

Por ejemplo, en la termorregulación con el fin de disipar el calor originado de la actividad muscular, los receptores  $\beta_2$  de las glándulas sudoríparas son activados por el sistema nervioso simpático para producir sudoración, en donde un equino puede perder cantidades importantes de sodio, cloro, potasio, calcio y magnesio. Esto puede llevar a problemas como fatiga con o sin acidosis láctica entre otras alteraciones subclínicas (Arias, Mejía y Sáenz, 2014).

También puede determinarse la adaptación de un animal al estrés térmico, como un estudio realizado en equinos criollos brasileros, donde los animales mejor adaptados a temperaturas entre 22 y 36°C presentaron menor frecuencia cardiaca y respiratoria a comparación de otros caballos (Silva et al., 2005).

Determinar un parámetro aproximado sobre las constantes fisiológicas entre los caballos de Paso Fino Colombiano puede mejorar las condiciones de entrenamiento, manejo y mantenimiento de este tipo de animales, además de servir de guía diagnóstica en el día a día veterinario dentro del contexto geográfico (Nancy, 2006).

## 5. MATERIALES Y MÉTODOS

### 5.1. METODOLOGÍA

La investigación fue realizada en 115 equinos de Paso Fino Colombiano, entre los 43 y 78 meses de edad, seleccionados de los criaderos asociados a la Federación Colombiana de Asociaciones Equinas (Fedequinas), criaderos ubicados en la Sabana de Bogotá, con una altura promedio de 2.600 m.s.n.m.

#### 5.1.1. Selección de los animales:

Cada animal fue seleccionado por su registro en Fedequinas, historial médico con vermifugaciones y vacunaciones, además de un examen clínico general sin presentar alteraciones patológicas aparentes. El grupo de 115 animales ya presentaba adaptación física a la categoría Paso Fino Colombiano y su alimentación fue *ad libitum*.

Los equinos seleccionados oscilaron entre los 43 y 78 meses, los cuales se dividieron en dos grupos etarios:

- Animales jóvenes (machos y hembras) en entrenamiento físico y competencia (43-60 meses)
- Animales adultos (machos y hembras) en entrenamiento físico y competencia (61-78 meses)

#### 5.1.2 Toma de muestras:

La metodología se basó en los protocolos de Mejía y Arias (2008) con modificaciones, donde la muestra de sangre de cada animal y frecuencia cardíaca y respiratoria fueron tomadas en los tiempos T<sub>0</sub>, estado de reposo del animal, T<sub>1</sub>, inmediatamente luego de 45 minutos de ejercicio y T<sub>2</sub>, una hora luego del ejercicio.

Procedimiento para toma de muestras:

1. Se retiró cada animal de su pesebrera
2. **T<sub>0</sub>**, animal en reposo:
  - a. Se tomó una muestra de sangre.
  - b. La frecuencia cardíaca, Fr C, se realizó inmediatamente después de instalado el frecuencímetro POLAR® sobre el equino y calibrado el reloj del montador.
  - c. La frecuencia respiratoria (Fr R) se determinó por medio de la auscultación con fonendoscopio sobre la tráquea del equino en la porción media del cuello durante 60 segundos.
3. **T<sub>1</sub>**, 45 minutos de ejercicio:
  - a. Se tomó una muestra de sangre.
  - b. Se registró frecuencia cardíaca, Fr C.
  - c. Se midió frecuencia respiratoria, Fr R.
4. **T<sub>2</sub>**, 60 minutos luego de terminado el ejercicio:
  - a. Se tomó una muestra de sangre.

- b. Se registró frecuencia cardíaca, Fr C.
- c. Se midió frecuencia respiratoria, Fr R

#### **5.1.2.1. Proceso para la toma de sangre:**

Se limpió sobre el canal donde se encuentra ubicada la vena yugular con solución antiséptica, alcohol. A seguir, utilizando aguja *vacutainer* nro. 21, se obtuvo una muestra de sangre por medio de una punción a la misma vena, depositando la muestra en tubos con anticoagulante, EDTA. Los tubos fueron identificados con nombre y código de cada animal y refrigerados a una temperatura entre dos a ocho grados centígrados.

Todos los equinos que hicieron parte de esta investigación permanecieron en ayuno durante la toma de muestras y todos fueron sometidos al mismo tiempo y tipo de ejercicio. Las muestras se llevaron al laboratorio clínico de la Universidad De La Salle, donde fueron analizadas por medio del equipo para medir gases, *I-Stat®*.

#### **5.1.2.2. Estadística:**

Los resultados obtenidos fueron analizados por medio de un análisis de estadística descriptiva, estadística no paramétrica e histograma de frecuencias.

#### **5.1.2.3. Materiales de trabajo:**

- 1 equipo *I-Stat®*
- Cartucho No. ECG4+ *I-Stat®*
- Cartucho No. ECG8+ *I-Stat®*
- 2 frecuencímetros *POLAR®*
- Polar F11 y banda equina
- 2 Fonendoscopios
- 360 tubos *vacutainer* con anticoagulante EDTA
- 360 tubos *vacutainer* sin anticoagulante, tapa roja.
- 360 agujas *venoject*
- 360 Jeringas de 5 ml
- Algodón
- Alcohol



## 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los estudios en Latinoamérica sobre parámetros fisiológicos, como frecuencia cardiaca y respiratoria en equinos son poco relatados en la literatura. Los datos de cada una de las variables divergen al igual que las metodologías de evaluación. En la tabla 3, se puede observar que la frecuencia cardiaca para animales criollos varía entre 35 y 69 latidos por minuto (lpm) y la frecuencia respiratoria entre 11 y 17 respiraciones por minuto (resp./min) durante el reposo. Los valores para caballos en actividad y durante el periodo post-ejercicio aún no están determinados.

Tabla 3. Diferentes constantes encontradas según los autores en diferentes equinos criollos.

Tiempo		T0		T1		T2	
Autor	Raza	Fr C lpm	Fr R R/m	Fr C lpm	Fr R R/m	Fr C lpm	Fr R R/m
Mejía y Arias, 2008	Criollo Colombia	35,86	11,81	64,4	31,34	34,93	11,72
Dos Santos, 2006	Criollo Brasil	35,6	--	184,3	--	--	--
Arias, 2006	Criollo Colombia	69,86	--	160,16	--	--	--
Gómez et al., 2004	Holsteiner	40,8	10,8	74,6	65,2	--	--
Umbarila, 2007	Criollo chileno rodeo	42	--	110	--	--	--
Ruiz, 2011	Carrera	37,5	17,5				
Ruiz, 2011	Endurance	37,47	15,6				
Ruiz, 2011	Salto	36,93	17,6				

Tomada de Mejía y Arias, (2008), Dos Santos, (2006), Arias, (2006), Gómez et al., (2006), Umbarila, (2007), Ruiz, (2011).

En la tabla 4, se presentan los valores promedios encontrados para diferentes tiempos de actividad física. Para un estado de reposo, T0, la frecuencia cardiaca fue de 49,44 latidos por minutos (lpm), para los 45 minutos de ejercicio fue de 132,23 lpm y a los 60 minutos post-ejercicio de 52,17 lpm. Para frecuencia respiratoria T0 presentó una media de 17,11, en T1 de 98,72 resp/min y T2 de 24,66 resp/min. El pH sanguíneo se incrementó durante los 45 minutos de ejercicio, de 7,45 paso a 7,5 y a los 60 minutos de ejercicio disminuyó a 7,48.

Tabla 4. Frecuencia respiratoria, cardíaca y pH en diferentes tiempos de entrenamiento en equinos de paso fino colombiano.

	PARÁMETRO	n	MEDIA	DE	MÍNIMO	MÁXIMO
T0	Fr C	119	49,4454	± 12,143	37,3024	61,5884
	Fr R	114	17,114	± 5,26595	11,84805	22,37995
	pH	112	7,45134	± 0,0273284	7,4240116	7,4786684
T1	Fr C	121	132,231	± 24,9044	107,3266	157,1354
	Fr R	118	98,725	± 27,9805	70,7445	126,7055
	pH	105	7,5019	± 0,0315648	7,4703352	7,5334648
T2	Fr C	119	52,1765	± 11,2857	40,8908	63,4622
	Fr R	120	24,66	± 11,2698	13,3902	35,9298
	pH	109	7,48358	± 0,0303841	7,4531959	7,5139641

Nota: Medias y sus desviaciones estándar (DE), valores mínimos y máximos del Estudio Determinación de parámetros fisiológicos (frecuencia cardíaca (Fr C) , frecuencia respiratoria (Fr R) y pH) de caballos paso fino colombiano en reposo (T0), ejercicio (T1) y post-ejercicio.

La frecuencia cardíaca, para el estado de reposo entre los caballos colombianos, fue mayor que el valor de 35,86 lpm reportado por Mejía y Arias, (2008) y menor para el promedio presentado por Arias, (2006) con 69,86 lpm. Sin embargo, el valor encontrado en este trabajo corresponde a un valor promedio entre los datos mencionados en la tabla 3. Aquí la frecuencia cardíaca fue similar a equinos Holsteiner y criollos chilenos de rodeo.

A los 45 minutos de ejercicio la frecuencia cardíaca fue próxima al promedio presentado en equinos criollos chilenos, 110 lpm (Umbarila, 2007) e inferior a caballos brasileiros con 184,3 lpm (Dos Santos, 2006). Luego de 60 minutos de ejercicio la constante frecuencia cardíaca retorna a casi su valor en reposo con 52,17 lpm, valor que es poco registrado entre diferentes investigaciones y el cual fue superior al reportado por Mejía y Arias, (2008) con 34,93 lpm.

El promedio de latidos por minuto entre machos y hembras en la tabla 5, presentó un comportamiento similar durante el reposo y a los 45 minutos de actividad mientras que a los 60 minutos después del ejercicio los machos presentan una mejor recuperación, ya que manejaron una frecuencia significativamente menor a la de las hembras, esto con una frecuencia cardíaca de 49,49 lpm frente a las hembras con 53,81 lpm. Esto quiere decir que los machos recuperan el valor de la constante de reposo más rápido.

Una vez efectuado el test para determinar si los promedios de frecuencia cardíaca en cada T hallados para machos y hembras eran significativamente diferentes, cuyos resultados se observan en la Tabla 6, se concluyó que el promedio de frecuencia cardíaca en machos y hembras no mostró diferencias significativas, como lo muestra la gráfica 2, las hembras tienden a tenerla un poco más alta que los machos en cada uno de los T.

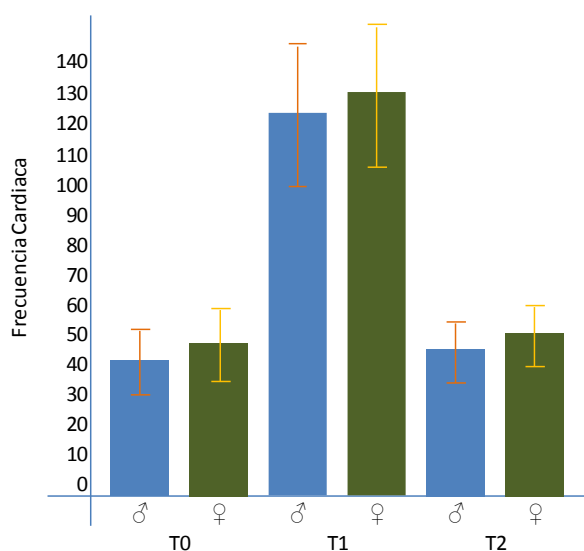
Tabla 5. Frecuencia cardiaca en tres diferentes tiempos de entrenamiento en caballos hembras y machos de paso fino colombiano.

PARAM	T	SEXO	n	MEDIA	EE	*	DE	MÍNIMO	MÁXIMO
Fr C	T	♂	61	47,5738	± 1,51702	a	11,848	35,725	59,422
	0	♀	60	51,9833	± 1,6508	a	12,787	39,196	64,770
	T	♂	61	128,541	± 3,16854	a	24,747	103,793	153,288
	1	♀	60	135,983	± 3,18927	a	24,704	111,279	160,687
	T	♂	58	49,4915	± 1,36015	b	10,447	39,044	59,939
	2	♀	58	53,8103	± 1,35757	a	10,338	43,471	64,149

Nota. a,b, letras distintas en sentido vertical expresan diferencias significativas ( $P < 0,05$ ). Frecuencia cardiaca (Fr C) comparada entre machos y hembras en reposo (T0), ejercicio (T1) y post-ejercicio (T2), EE – Error estadístico, DE – Desviación estándar, valores mínimos y máximos de los equinos en la sabana de Bogotá.

Tabla 6. Determinación de diferencias significativas para los promedios de Frecuencia Cardiaca entre machos y hembras

Frecuencia Cardiaca									
Machos			Hembras			Test diferencias (a)	P(a)	Conclusión	
Valor estimado	EE	DE	Valor estimado	EE	DE				
T0	47,5738	1,51702	11,848	51,9833	1,6508	12,787	1,96678516	a<5	No hay diferencia significativa
T1	128,541	3,16854	24,747	135,983	3,18927	24,704	1,65536897	a<5	No hay diferencia significativa
T2	49,4915	1,36015	10,447	53,8103	1,35757	10,338	2,24736278	a<5	No hay diferencia significativa



Gráfica 2. Representación de los promedios de Frecuencia cardiaca y sus correspondientes desviaciones estándar

En la tabla 7 la frecuencia respiratoria no presentó ninguna diferencia durante los tres tiempos de medición, no hubo diferencia estadísticamente significativa. El mismo hallazgo se presentó entre los sexos, no hubo diferencia. En la literatura el T0 presentó un valor promedio de 17,11 R/m, similar a equinos de endurance (15,6 R/m), carrera (17,5 R/m) y salto (17,6 R/m) (Ruiz, 2011). La frecuencia encontrada durante la evaluación en T1 fue de 98,72 R/m, valor superior a equinos Holsteiner con 65,2 R/min (Gómez et al., 2006). Aunque en este caso no fue posible hacer una comparación con exactitud, porque los tiempos de evaluación son diferentes entre los protocolos de evaluación, encontrando así una gran discrepancia con respecto a métodos para determinar valores próximos entre diferentes investigaciones.

En T2 la frecuencia respiratoria fue de 24,66 R/m, dato superior al reportado por Mejía y Arias, (2008) con 11,72 R/m en caballos criollos colombianos. Por tanto los equinos de paso fino manejan una frecuencia superior post-ejercicio a la reportada en la literatura.

Una vez efectuado el test para determinar si los promedios de frecuencia respiratoria en cada T hallados para machos y hembras eran significativamente diferentes, cuyos resultados se observan en la Tabla 8, se concluyó que el promedio de frecuencia respiratoria en machos y hembras no mostró diferencias significativas, aun cuando, como lo muestra la gráfica 3, las hembras tienden a tenerla un poco más baja en T0 que los machos, y más alta que estos en T1 y T2.

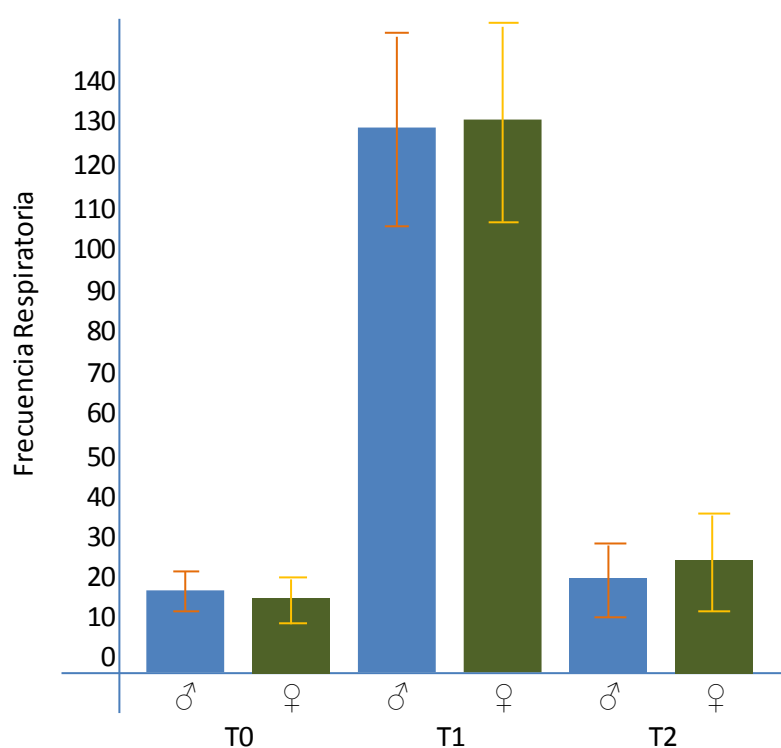
Tabla 7. Frecuencia respiratoria en tres diferentes tiempos de entrenamiento en caballos machos y hembras de paso fino colombiano.

PARAM	T	SEXO	N	MEDIA	EE	*	DE	MÍNIMO	MÁXIMO
Fr R	T0	♂	68	17,911	± 0,68044	a	5,6111	12,3006	23,5229
		♀	48	16,854	± 0,90750	a	6,2874	10,5667	23,1416
	T1	♂	73	131,56	± 2,8916	a	24,706	106,856	156,268
		♀	48	133,25	± 3,6706	a	25,431	107,818	158,681
	T2	♂	60	22,816	± 1,2535	a	9,7101	13,1065	32,5268
		♀	58	26,586	± 1,6387	a	12,480	14,106	39,0664

Nota. a,b, letras distintas en sentido vertical expresan diferencias significativas ( $P < 0,05$ ). Frecuencia Respiratoria (Fr R) comparada entre machos y hembras en reposo (-T0), ejercicio (T1) y post-ejercicio (T2), EE – Error estadístico, DE – Desviación estándar, valores mínimos y máximos de los equinos en la sabana de Bogotá

Tabla 8. Determinación de diferencias significativas para los promedios de Frecuencia Respiratoria entre machos y hembras

Frecuencia Respiratoria									
Machos			Hembras			Test			
Valor estimado	EE	DE	Valor estimado	EE	DE	diferencias (a)	P(a)	Conclusión	
T0	17,911	0,68044	16,854	0,9075	6,2874	-0,93188181	a<5	No hay diferencia significativa	
T1	131,56	2,8916	133,25	3,6706	25,431	0,36167088	a<5	No hay diferencia significativa	
T2	22,816	1,2535	26,586	1,6387	12,48	1,82730033	a<5	No hay diferencia significativa	



Gráfica 3. Representación de los promedios de Frecuencia respiratoria y sus correspondientes desviaciones estándar

En la tabla 9, el pH sanguíneo entre machos y hembras solo presentó una leve diferencia para las hembras ya que su pH se mantuvo bajo, de 7,44 hasta 7,49 durante a los 45 minutos de actividad física mientras los machos presentaron una mayor elevación de 7,44 hasta 7,51. Según Cunningham, (2002) el pH sanguíneo de grandes animales tiende a subir debido a la alcalosis respiratoria que ocasiona el ejercicio y el aumento de la frecuencia respiratoria, este fenómeno fue observado durante el tiempo de evaluación ya que el pH sanguíneo en el estado de reposo fue de 7,45 y paso a los 45 minutos de ejercicio a 7,5, volviendo a los 60 minutos

post-ejercicio a su valor normal de 7,48. Esto comprueba que el pH se eleva en tiempos de ejercicio y vuelve a sus valores iniciales luego de un periodo de descanso. Entre machos y hembras, las hembras mantienen su pH sanguíneo más bajo durante el ejercicio cuando comparado al de los machos (7,49 hembras y 7,5 machos).

Una vez efectuado el test para determinar si los promedios de pH en cada T hallados para machos y hembras eran significativamente diferentes, cuyos resultados se observan en la Tabla 10, se concluyó que el promedio de pH en machos y hembras no mostró diferencias significativas, aun cuando, como lo muestra la gráfica 4, las hembras tienden a tenerlo un poco más bajo que los machos en cada uno de los T.

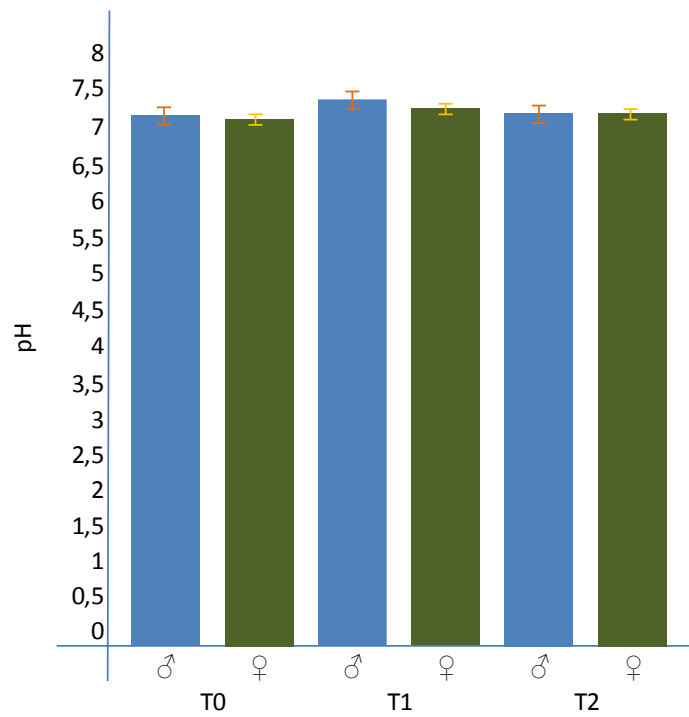
Tabla 9. Valores de pH en tres diferentes tiempo de entrenamiento en caballos hembras y machos de paso fino colombiano.

PARAM	T	SEXO	N	MEDIA	EE	*	DE	MÍNIMO	MÁXIMO
pH	T0	♂	58	7,4496	± 0,003911	a	0,0298	7,45181	7,51742
		♀	48	7,4489	± 0,002565	a	0,0178	7,45831	7,50092
	T1	♂	54	7,5114	± 0,004249	a	0,0312	7,48025	7,54270
		♀	51	7,4978	± 0,004118	b	0,0294	7,468424	7,52725
	T2	♂	52	7,4846	± 0,004549	a	0,0328	7,419867	7,47945
		♀	53	7,4796	± 0,002925	a	0,0213	7,431186	7,46673

Nota. a,b, letras distintas en sentido vertical expresan diferencias significativas ( $P < 0,05$ ). pH sanguíneo (pH) comparado entre machos y hembras en reposo (T0), ejercicio (T1) y post-ejercicio (T2), EE – Error estadístico, DE – Desviación estándar, valores mínimos y máximos de los equinos en la sabana de Bogotá.

Tabla 10. Determinación de diferencias significativas para los promedios de pH entre machos y hembras

		pH							
Machos			Hembras			Test			
Valor estimado	EE	DE	Valor estimado	EE	DE	diferencias (a)	P(a)	Conclusión	
T0	7,4496	0,003911	0,0298	7,4489	0,002565	0,0178	-0,1496658	a<5	No hay diferencia significativa
T1	7,5114	0,004249	0,0312	7,4978	0,004118	0,0294	-2,29842805	a<5	No hay diferencia significativa
T2	7,4846	0,004549	0,0328	7,4796	0,002925	0,0213	-0,92451572	a<5	No hay diferencia significativa



Gráfica 4. Representación de los promedios de pH y sus correspondientes desviaciones estándar

## 8. CONCLUSIONES

En la bibliografía se observa la falta de investigaciones acerca de las constantes fisiológicas del caballo criollo colombiano, es por ello que se le dificulta al clínico veterinario tomar decisiones basándose en resultados reales.

Las constantes fisiológicas entre hembras y machos fueron similares teniendo en cuenta algunos aspectos a resaltar como: La frecuencia respiratoria, en machos mostró niveles basales más rápido que en las hembras, el pH las hembras durante el ejercicio se mantuvo más estable. Determinar valores promedio en los parámetros fisiológicos es importante para diseñar planes de entrenamiento, mantenimiento y diagnóstico de problemas clínicos.

Las diferencias entre machos y hembras en la frecuencia respiratoria post-ejercicio pueden verse relacionada con los ciclos reproductivos y el desarrollo de los folículos ováricos, porque las hembras al tener un número determinado de óvulos durante toda su vida pueden necesitar de un mayor tiempo de regulación a nivel intracelular.

El incremento de la respiración es importante para la pérdida de CO<sub>2</sub> extracelular porque ayuda a mantener el equilibrio ácido básico y acelera la pérdida de CO<sub>2</sub> para mantener el equilibrio del pH intracelular y extracelular, también para incrementar la retención de iones hidrogeno, manteniendo así el equilibrio ácido básico del cuerpo y los valores de pH dentro de rangos normales durante la actividad física.

La contracción muscular aumenta la producción de CO<sub>2</sub> junto con la sudoración que produce la pérdida de electrolitos y en especial del ion hidrógeno lo que influye directamente en la pérdida de la homeostasis y el incremento del pH. Además de esto se activa a nivel intracelular la producción de radicales libres. Todos estos eventos estresan el metabolismo celular y pueden retrasar el intercambio de sustancias entre el espacio intracelular y extracelular. De lo anterior se puede decir que el entrenamiento constante en equinos de deporte es importante porque condiciona el funcionamiento del cuerpo y de los sistemas amortiguadores de la célula ofreciendo con el tiempo mayor condicionamiento cardio respiratorio y metabólico.

El entrenamiento físico puede ayudar a que las constantes fisiológicas se mantengan durante el ejercicio y vuelvan más rápido a sus valores normales ya que los sistemas amortiguadores del cuerpo funcionan mejor y la musculatura entrenada posee mayor efectividad durante los trabajos de fuerza.

En medicina veterinaria, conocer y determinar las constantes fisiológicas, es de suprema importancia para el diagnóstico de enfermedades y en la evaluación de la capacidad física. Con dichas constantes se puede realizar una selección de animales teniendo en cuenta su desempeño para ciertos tipos de trabajo físico y para el diseño de planes de seguimiento luego de patologías o entrenamientos prolongados en el tiempo.



Estudios, como el presente, son importantes porque pueden establecer metodologías básicas adecuadas para mayores estudios y para fijar valores de referencia durante la evaluación física y médica de un equino paso fino colombiano.

## LISTA DE REFERENCIAS

- Alan W, G. (2001). *Terminología ácido base*. Universidad de Tulane, New Orleans.
- Álvarez A, Pérez H, Martín T, Quincosa J, Sánchez A. (2009). *Fisiología Animal Aplicada*. Fisiología de la termorregulación. Editorial Universidad de Antioquia. Páginas 198-220.
- Araya V.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 en pruebas de enduro*. Tesis de grado. Universidad de Concepción. Chile.
- Argyle, B. (1996). *Blood Gas text*. Program Manual. Mad Scientist Software, Alpine UT.
- Arias M. P, et al. (2006). Estimación de la intensidad de trabajo en un grupo de caballos criollos colombianos de diferentes andares. *Revista CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*. v 1, n 2, p18-31.
- Arias G. Mejía G. Sáenz R. (2014). Concentración de electrolitos en el sudor del caballo criollo colombiano. *Revista CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*. Volume 19, número 1. Visto en 21 de agosto de 2015 en: <http://revistas.ces.edu.co/index.php/mvz/article/view/2988>
- Boffi F. (2007). *Fisiología del ejercicio en equino*, Intermédica.
- Brandis K. (2006). *Acid Base Physiology 3.2*. The Anion Gap
- Clayton, H.M. (1975) Chapter 1; *The cardiovascular system*. 3-18, Conditioning sport Horses. Sport Horse Publications
- Couroucé, A., M. Chrétien and J.P. Valette. (2002). *Physiological variables measured under field conditions according to age and state of training in French Trotters*. *Equine Vet. J.* 34 (1): 91-97.
- Corvalán C. (2010). *Estudio del ejercicio de natación en caballos de deporte y su influencia sobre la frecuencia cardíaca y la lactacidemia*. Tesis Doctoral. Facultad de Veterinaria, universidad complutense de Madrid.
- Cunningham J. (2002). *Fisiología Veterinaria*. Tercera Edición. Elsevier España S.A.
- De Luca L. J. (2000). Fisiología del Ejercicio (Laboratorio Burnet). Disponible en [www.engormix.com/s\\_articles\\_view.asp?AREA=CAB&art=365](http://www.engormix.com/s_articles_view.asp?AREA=CAB&art=365). Con acceso el 09-11/2006.

- Dos Santos, V. (2006). Variaciones hemato - bioquímicas en equinos de salto sometidos a diferentes protocolos de ejercicio físico. Facultad de Veterinaria. Universidad Do Rio Grande Do Sul. 94 p.
- Engelhardt, Wolfgang V.; Breves Gerhard (2004) Fisiología Veterinaria. Editorial Acribia S.A. España. Cap. 22, p. 511 – 518
- Evans, DL. (1995). *The effect of intensity and duration of training on blood lactate concentrations during and after exercise*. In: Equine Exercise Physiology 4. Proc. 4th International Conference on Equine Exercise Physiology, ed. Robinson, N.E., R and W Publications, New market UK, Equine Vet. J. Suppl. 18. 422-425.
- Evans DL (1994). *The cardiovascular system: anatomy, physiology and adaptations to exercise and training*. En: The athletic horse. Principles and practice on equine sport medicine. Hodgson DR, Rose RJ (Eds). WB Saunders, pp 129-144
- Evans, D. (2000). *Training And Fitness in Athletic horses*. [On Line], Sidney, Australia. Department of Animal Science, University of Sidney. [Cited February. Available from Internet: URL
- Garcia Sacristan. (1995). *Fisiología Médica*. Madrid. Intermédica. McGraw-Hill.
- Gomez, C.; et al. (2006) *Endocrinologic, hematologic and heart rate changes in horses*. American Journal Veterinary Research, n. 47, p. 47 – 50.
- Guerrero P, Portocarrero L, Mutis C. Ramírez J. (2009). *Determinación de frecuencia cardiaca, frecuencia respiratoria, lactato deshidrogenasa, creatin kinasa y ácido láctico en caballos durante competencia de salto en la sabana de Bogotá*. Revista de Medicina veterinaria # 17 enero-junio.
- García Sacristan, A.; Castejón Montijano, F.; De La Cruz Palomino, L. F.; Gonzáles Gallego, J.; Murillo López, M.; Salido Ruiz, G. (1995) *Fisiología Veterinaria. Interamericana. McGraw Hill*. Madrid - España. Cap. 75, p. 1016 – 1048
- Guyton-hall. (2001). *Tratado de Fisiología Medica décima edición McGraw Hill*.
- Hamlin RL, Klepinger WL, Gilpin KW, Smith CR (1972): *Autonomic control of heart rate in the horse*. Am. J. Physiol. 222, pp 976-978.
- Hayes Karen. (2009). *Primeros auxilios y cuidados del caballo*. España. Ediciones Hispano Europea S A.
- Hinchcliff & Geor. (2004). *Equine Sports Medicine and Surgery editorial Saunders*.

- Jablonska, EM. (2001). *Changes in some haematological and metabolic indices in young horses during the first year of jump-training*. Equine Veterinary Journal.
- Jones NL, Heigenhauser GJF. (1992). *Effects of hydrogen ion on metabolism during exercise*.
- Lekeux P. (1994). *The respiratory system: anatomy, physiology and adaptations to exercise and training*. En: The athletic horse: principles and practice of equine sport medicine. Hodgson DR, Rose RJ (Eds). WB Saunders, pp 80- 127.
- Lindinger, M. (2007). *Acid base status and the response in the exercising horse*. Seminario Internacional de Fisiología del ejercicio y el entrenamiento en caballos. Bogotá Colombia Abril 23-25.
- Lozano J.A. et al. (1995). Bioquímica para ciencias de la salud. Madrid: McGraw-Hill Interamericana de España. p 461-470.
- Marek. J; Mócsy. J. (1973). Capítulo VI. *Diagnóstico Clínico de las Enfermedades Internas de los Animales Domésticos*. Editorial Labor.
- McArdle W.D. et al. (1990). Fisiología del ejercicio. Energía, nutrición y rendimiento humano. Madrid: Alianza Editorial. p 313-345.
- Mejía S. y Arias M. (2008). Evaluación del estado físico de caballos de salto mediante algunas variables fisiológicas. Revista CES Medicina Veterinaria y Zootecnia. Volume 3. Número 2. Visto en 1 de agosto de 2015 en: file:///C:/Users/Carolina/Downloads/286-12185-1-PB%20(1).pdf
- Nancy S. Loving (2006). *Acondicionamiento cardiovascular y salud*. Tratado completo de la salud y cuidados veterinarios equinos (pp 241-264). Barcelona: Edición Hispano Europea.
- Nancy S. Loving (2006). *Acondicionamiento respiratorio y salud*. Loving Tratado completo de la salud y cuidados veterinarios equinos (pp 267-281). Barcelona: Edición Hispano Europea.
- Narváez G. (2007). *El caballo criollo colombiano*. Ediciones periódicas. Colombia.
- Queiroz de Almeida, Fernando. (2006) *Sistema de análises estatísticas e genéticas*. Universidade federal de vicosa. saeg Versão 8.0. Viçosa, MG. P. 141.
- Radostis. O M; Mayhew. I.G; Houston. D. (2001). Capítulo XVI. *Examen y Diagnóstico Clínico en Veterinaria*. Editorial Harcourt

- Ramírez B. Guines. (2005). *Manual de semiología clínica veterinaria*. Capítulo V (pp. 69-80) primera edición, Manizales: Editorial Universidad de Caldas.
- Riera, M. Aparato respiratorio de equino y canino. Universidad del Zulia de la Facultad de Ciencias Veterinarias. Documento, Visto em 1 de agosto de 2015 en: <http://es.slideshare.net/Anniitthaespinoza/aparato-respiratorio-de-equino-y-canino>
- Robinson, E. (1995). *Terapéutica actual en medicina equina 2*. Buenos Aires, Argentina Inter-Médica. Pág 508.
- Rose & Hodgson. (2000). *Manual of Equine Practice 2<sup>a</sup> edition*, Saunders.
- Rose RJ, Evans DL (1987): *Cardiovascular and respiratory function in the athletic horse*. En: Equine Exercise Physiology 2. Gillespie JR, Robinson NE (Eds). ICEEP Publ., Davis, CA, 1-24.
- Ruiz. A. S. (2011). *Constantes hemáticas en equinos dedicados a actividades deportivas (salto y carrera) de la zona centro del estado de Veracruz*. Tesis de grado, universidad de Veracruz. México.
- Senson & Reece. (1999). *Fisiología de los animales domésticos de Dukes segunda edición* Ed. Uteha.
- Serrano M, Evans D, Hodgson J.(2002). *Heart rate and blood lactate response during exercise in preparation for eventing competition*. Equine Vet. J. 34, p 135-139.
- Silva L. A. C, et al. (2005). Tolerancia al calor de caballos pantaneiros usados en la lidia diaria del ganado en el pantanal brasileño. Revista archivos de zootecnia. n 54, p 515-521.
- Thomassian, Armen (2000). *Medicina Esportiva Eqüina: Da inspeção ao computador*. Parte 1. Documento, disponible em: Departamento de Cirurgia e anestesiología – FMVZ – UNESP – BOTUCATU. Brasil.
- Umbarila F, Luisa. (2007). *Revisión de literatura de hallazgos hematológicos y fisiológicos en caballos atletas en la modalidad de competición completa de equitación*. Universidad de ciencias aplicadas y ambientales facultad de ciencias agropecuarias medicina veterinaria y zootecnia. Segunda edición.