

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA
ESCUELA DE MEDICINA VETERINARIA**



**ASOCIACIÓN CLÍNICA DEL GRADO DE RESISTENCIA DE
CABALLOS DE COMPETENCIA DE ENDURANCE CON EL
ERITROGRAMA PRE Y POST-COMPETENCIA, Y ALTITUD
DEL LUGAR DE COMPETENCIA EN GUATEMALA**

CLAUDIA MARIA LEHR MÉNDEZ

MÉDICA VETERINARIA

GUATEMALA, ABRIL DE 2015

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA
ESCUELA DE MEDICINA VETERINARIA**



**ASOCIACIÓN CLÍNICA DEL GRADO DE RESISTENCIA
DECABALLOS DE COMPETENCIA DE ENDURANCE CON EL
ERITROGRAMA PRE Y POST-COMPETENCIA, Y ALTITUD DEL
LUGAR DE COMPETENCIA EN GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD

POR

CLAUDIA MARIA LEHR MÉNDEZ

Al conferírsele el título profesional de

Médica Veterinaria

En el grado de licenciado

GUATEMALA, ABRIL DE 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA
JUNTA DIRECTIVA

DECANO:	MSc. Carlos Enrique Saavedra Vélez
SECRETARIO:	M.V. Blanca Josefina Zelaya de Romillo
VOCAL I:	Lic. Sergio Amílcar Dávila Hidalgo
VOCAL II:	MSc. Dennis Sigfried Guerra Centeno
VOCAL III:	M.V. Carlos Alberto Sánchez Flamenco
VOCAL IV:	Br. Juan René Fuentes López
VOCAL V:	Br. Andrea Analy López García

ASESORES

M.A. Juan José Prem González
M.V. Jorge Rafael Orellana Suárez
M.A. Carlos Enrique Camey Rodas
M.V. Carmen Grizelda Arizandieta Altán

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con lo establecido por los reglamentos y normas de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración el trabajo de graduación titulado:

ASOCIACIÓN CLÍNICA DEL GRADO DE RESISTENCIA DE CABALLOS DE COMPETENCIA DE ENDURANCE CON EL ERITROGRAMA PRE Y POST-COMPETENCIA, Y ALTITUD DEL LUGAR DE COMPETENCIA EN GUATEMALA

Que fuera aprobado por la Honorable Junta Directiva de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia

Como requisito previo a optar al título de:

MÉDICA VETERINARIA

ACTO QUE DEDICO A:

A DIOS	Por guiarme y protegerme en el sendero de la vida, porque tu luz se ha hecho presente en mí.
A MI PADRE Y MADRE	Por enseñarme las herramientas necesarias para vivir mis sueños y brindarme un refugio amoroso llamado hogar. Ustedes son partícipes de este logro y siempre serán la base de mi cosecha del éxito.
A MIS HERMANAS	Emilia y Susan, por ser mis cómplices de alegrías y tertulias inspiradoras.
A ANDREA Y JUAN PABLO	Por ser la rama de la familia, que ha crecido fuerte, nos regala apoyo y amor incondicional, y cuyo fruto nos ha traído una sonrisa y cercanía espiritual; Juan Diego, mi sobrino hermoso.
A MIS ABUELOS	Papaquique y Mamaconi, por regalarme cariño y comprensión desde pequeña. Al Abuelo y a la Mami, por dejar enseñanzas y abrazos que trascienden en el tiempo.
A TÌA SUSAN Y JUAN	Por brindarme cariño y apoyo familiar en todo momento.
A MIS AMIGOS	Luis Alfonso, Andreita, Mafer, Wicha, Rita y Silvia; a la Promoción LV; Edgar, Yousef, Luis Zamora, Alejandro, Link, Carmen, Raizha, Wale, Carlos, Pablo Lucero, Wicho Serrano, Daniel, Vico, Tepha, Deborah, Godzu, Pablo Cabrera, Mario, Misha, Jenny, Trejo y en especial cariño a Gabrielita Torres, por compartir momentos irrepetibles e inolvidables durante estos años juntos. Crecimos y nos embarcamos hacia nuevos rumbos, sin olvidar el cariño que nos tenemos.

AGRADECIMIENTOS

A LA FACULTAD DE
MEDICINA VETERINARIA
Y ZOOTECNIA

Por ser mi segunda casa donde se me facilitó el conocimiento y la oportunidad de estrechar lazos interpersonales.

A MIS ASESORES Y EVALUADOR

Dr. Prem, Dra. Arizandieta, Dr. Camey, Dr. Orellana y Dr. Fredy; por apoyarme en el establecimiento, desarrollo y análisis de este trabajo de graduación. Sin su cariño y comprensión, no hubiese sido posible.

A MIS CATEDRÁTICOS

Por permitirme desarrollar mis habilidades y proveerme de técnicas y datos útiles para el desarrollo profesional.

A ENDURANCE DE GUATEMALA

Por permitirme desarrollar el estudio durante un año en competencias nacionales e internacionales.

A LOS SEÑORES DUEÑOS
DE LOS CABALLOS

Por confiar y avalar la toma de muestras y el análisis de resultados. Su apoyo fue fundamental.

A DANIEL ZAYDEN

Por su ayuda y compañía en las competencias y en el procesamiento de muestras durante el estudio.

ÍNDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	OBJETIVOS	3
	2.1 Objetivo General.....	3
	2.2 Objetivos Específicos.....	3
III.	REVISIÓN DE LITERATURA	4
	3.1 El caballo como atleta	4
	3.1.1 Atributos fisiológicos de los caballos	5
	3.1.2 Capacidad aeróbica máxima alta.....	5
	3.1.3 Modo de andar.....	6
	3.2 Fisiología del entrenamiento.....	6
	3.2.1 Consumo de oxígeno durante el ejercicio.....	6
	3.3 El deporte ecuestre.....	8
	3.3.1 Endurance.....	9
	3.3.1.1 Historia.....	10
	3.3.1.2 Reglas.....	10
	3.4 Sangre	10
	3.4.1 Eritrocitos.....	13
	3.4.1.1 Composición	13
	3.4.2 Características específicas de los eritrocitos de los equinos.....	14
	3.4.2.1 Formación rouleaux y tasa de sedimentación	14
	3.4.2.2 Autoaglutinación	14
	3.4.3 Contracción esplénica	15
	3.4.4 Otros sitios que ayudan a incrementar el VCE	15
	3.4.5 Volumen sanguíneo.....	16
	3.4.6 Entrenamiento físico y capacidad de transporte de oxígeno	16
	3.4.7 Valor hematocrito.....	17
	3.4.8 Hemoglobina.....	19
	3.4.8.1 Tamaño y contenido hemoglobínico	19
	3.4.9 Número de eritrocitos	22
	3.5 Sexo.....	23

3.6	Altitud	24
3.7	Velocidad promedio	24
3.8	Rendimiento de caballos.....	24
3.9	Variables a medir durante la competencia.....	25
3.9.1	Pulso.....	25
3.9.2	Color de membranas mucosas y tiempo de llenado capilar	27
3.9.3	Deshidratación.....	28
3.9.4	Sonidos intestinales.....	28
3.9.5	Cruz, espalda y cinchera	29
3.10	Descalificaciones de Endurance	29
IV.	MATERIALES Y MÉTODOS	32
4.1	Materiales	32
4.1.1	Recursos humanos.....	32
4.1.2	Recursos biológicos.....	32
4.1.3	Material y Equipo	32
4.2	Metodología	33
V.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	36
VI.	CONCLUSIONES	42
VII.	RECOMENDACIONES	44
VIII.	RESUMEN	45
	SUMMARY	46
IX.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47
X.	ANEXOS	50

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1 – Rangos hematológicos de los caballos	22
Cuadro 2 – Velocidad promedio de pasos en caballos	24
Cuadro 3 – Clasificación de las categorías del rendimiento.....	33
Cuadro 4 – Prueba Wilcoxon valores hematológicos pre/post carrera.....	51
Cuadro 5 – Resultados de la prueba de Chi ²	52
Cuadro 6 – Diferencia del eritrograma pre y post competencia según sexo	53
Cuadro 7 – Resultados de modelos lineales generales del eritrograma	54
Cuadro 8 – Prueba coeficiente de Pearson diferencias eritrograma/resistencia ...	55
Cuadro 9 – Cambios del eritrograma pre / post competencia	56
Cuadro 10 – Resultados hematológicos, rendimiento, sexo, altitud y kilómetros recorridos.....	57

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Comportamiento hemoglobina pre y post competencia	60
Figura 2 – Comportamiento CHbCM pre y post competencia	61
Figura 3 – Comportamiento glóbulos rojos pre y post competencia	62
Figura 4 – Comportamiento hematocrito pre y post competencia	63
Figura 5 – Comportamiento VCM pre y post competencia.....	64
Figura 6 – Campo de grama, Barberena, Santa Rosa, Guatemala.....	65
Figura 7 – Campo de Futbol, Taxisco, Santa Rosa, Guatemala.	66
Figura 8 – Campo de grama, Taxisco, Escuintla, Guatemala	67
Figura 9 – Campo de grama, Palencia, Guatemala, Guatemala.....	68

I. INTRODUCCIÓN

En Guatemala, se practica desde el año 2000, la disciplina ecuestre Endurance; una de las siete avaladas por la Federación Ecuestre Internacional (FEI), la cual consiste en completar un número determinado de etapas o fases con una cantidad de kilómetros y rutas preestablecidas; al final de cada fase, los caballos son evaluados clínicamente por médicos veterinarios para determinar si está en condiciones fisiológicas apropiadas para continuar en la carrera. Gana la competencia, el primer binomio (caballo y jinete) en cruzar la meta y que apruebe exitosamente el último chequeo veterinario.

Hoy en día, a nivel mundial, se llevan a cabo muchos esfuerzos para promover el Endurance, sin embargo, uno de los mayores retos para mejorar la imagen que se tiene de este deporte a nivel internacional, es reducir a cero, los casos en los que los equinos mueren en competencias o por complicaciones post-carrera. Es por ello, que la FEI reglamentó que cualquier acto o serie de acciones que pueden claramente y sin duda alguna definirse como crueles, serán penalizados con sanción o descalificación. Tales actos comprenden, entre otras acciones: la excesiva presión a un caballo cansado que puede llegar a causar la muerte. La FEI espera que todos los deportistas reconozcan y acepten que, en todo momento, el bienestar del caballo debe ser primordial. Dentro del Código de Conducta de la FEI se menciona que los caballos deben estar en forma, ser competentes y gozar de buena salud antes de que se les permita competir.

Un caballo en forma y con buena salud debería tener valores de hematocrito, hemoglobina, conteo de glóbulos rojos e índices de glóbulos rojos entre los límites de referencia normales; sin embargo, no se ha realizado un estudio en Guatemala que determine estos valores en los caballos antes y después de competir en Endurance y que los asocie con el rendimiento, velocidad promedio y capacidad

de terminar la carrera; por lo que en el presente estudio se evaluarán dichos parámetros para contribuir al bienestar integral de los caballos de competencia.

II. OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

Generar información para contribuir al conocimiento de los cambios fisiológicos en los caballos de competencias de Endurance en Guatemala.

2.2 Objetivos Específicos

Determinar si existe diferencia entre el eritrograma pre competencia con el eritrograma post-competencia (hematocrito, valor de hemoglobina e índices de glóbulos rojos) en caballos de competencia de Endurance.

Asociar el grado de resistencia (rendimiento, velocidad promedio y capacidad para terminar la carrera) con el eritrograma pre y post-competencia (hematocrito, valor de hemoglobina e índices de glóbulos rojos) en caballos de competencia de Endurance.

Correlacionar las diferencias del eritrograma pre y post competencia con las variables sexo, altitud, longitud de la competencia y velocidad.

Correlacionar la capacidad para terminar la carrera con las diferencias del eritrograma pre y post competencia.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 El caballo como atleta

El caballo es un atleta extraordinario, característica que es resultado de su evolución, que viene desde el pastoreo en las antiguas praderas de Norte América. Sobrevivir en estas tierras dependía de la velocidad, para escapar de los depredadores y, resistencia para recorrer grandes distancias en busca de agua y comida (Hinchcliff et al, 2008).

Los caballos han sido criados o adaptados para una gran variedad de usos. Los caballos grandes y pesados fueron criados para trabajo pesado como arar, jalar carretas o trineos, o para trabajo militar como cargar caballeros con armaduras pesadas en las batallas de la Edad Media. Los caballos livianos eran criados por su velocidad y capacidad para soportar distancias y eran utilizados para transporte, arriar ganado y para deporte. Los caballos pura sangre corren a una velocidad alta (18 m/s, 64 km/h) en distancias mayores a 800-5000 metros. Los caballos de raza criolla trotan o caminan a velocidades altas en distancias hasta 3600m. Los caballos Cuarto de milla corren 400 m o menos a velocidades tan altas como 88 km/h y los Árabes trotan o medio galopan hasta 160km en un solo día durante eventos de Endurance (y aún más largas distancias en carreras de varios días). En contraste, los caballos de carga jalan pesos muy grandes (1000kg o más) en competiciones de cortas distancias. Los caballos finos de sangre caliente realizan elegantes, pero demandantes, rutinas de entrenamiento, y los ponies jalan carretas ligeramente cargadas (Hinchcliff et al, 2008).

Sin importar su tamaño, proveniencia o intención de uso, todos los caballos tienen en común la habilidad para desarrollar actividades físicas, que incluyen correr o saltar, a un nivel que supera el de la mayoría de los otros animales de tamaño similar (Hinchcliff et al, 2008).

3.1.1 Atributos fisiológicos de los caballos

La capacidad atlética de un caballo es atribuible a varias adaptaciones fisiológicas. En algunos casos, estas adaptaciones no son afectadas por el entrenamiento, como por ejemplo el tamaño pulmonar; mientras otras sí cambian por el entrenamiento como el volumen sanguíneo. La habilidad atlética superior de los caballos es atribuible a su capacidad aeróbica máxima alta, los grandes depósitos intramusculares de substratos energéticos en particular glicógeno, volumen alto de mitocondrias en el músculo, la habilidad de incrementar la capacidad de oxígeno sanguíneo en el comienzo del ejercicio a través de contracciones esplénicas, eficiencia al andar y una eficiente termogulación (Hinchcliff et al, 2008).

3.1.2 Capacidad aeróbica máxima alta

La capacidad máxima aeróbica ($VO_{2\text{ max}}$) de los caballos es aproximadamente 2.6 veces más a la del ganado de tamaño similar y basado en peso corporal es aproximadamente 2-2.5 veces que la de hombres altamente entrenados. Los caballos tienen las adaptaciones estructurales que logran aumentar la oxigenación sanguínea en los pulmones, la capacidad de transportar oxígeno en la sangre y la habilidad para entregar oxígeno a los tejidos. La cadena de transporte de oxígeno, del aire hacia el músculo, de los caballos está adaptada para transportar grandes volúmenes de oxígeno necesarios para mantener la alta tasa metabólica de los caballos que ejercitan vigorosamente. La capacidad aeróbica mayor en los caballos es asociada con varios factores entre los que se encuentra un gasto cardíaco máximo mayor y una mayor concentración de hemoglobina (Hinchcliff et al, 2008).

3.1.3 Modo de andar

El modo de andar energéticamente eficiente es un reto para animales grandes por su lenta tasa de contracción y por la baja potencia de sus músculos. Sin embargo, los caballos logran cumplir este reto por el trabajo muscular del galope que se reduce a la mitad por la energía elástica almacenada en unidades musculares y tendinosas (Hinchcliff et al, 2008).

3.2 Fisiología del entrenamiento

Entrenar es esencial para los caballos para que puedan competir efectiva y seguramente. Todos los caballos atletas llevan a cabo cierto tipo de régimen de entrenamiento para prepararlos a los rigores de la competencia. El entrenamiento prepara a los caballos atletas para competir al inducir adaptaciones fisiológicas necesarias para desempeñarse a un alto nivel con un mínimo riesgo de lesionarse y al proveerle los factores de comportamiento y psicológicos esenciales para competir efectivamente. Para preparar a un caballo adecuadamente para competir, el caballo debe ejecutar la actividad que realizará en la competencia a una intensidad que llegue a inducir los cambios fisiológicos necesarios para permitir un desempeño óptimo (Hinchcliff et al, 2008).

3.2.1 Consumo de oxígeno durante el ejercicio

La respuesta del sistema de transporte de oxígeno durante el ejercicio de locomoción representa una de las adaptaciones más sorprendentes que muestran los caballos para el rendimiento aerobio sostenido. Los purasangre son capaces de aumentar su consumo de oxígeno más de 40 veces entre el reposo y el ejercicio máximo; éste puede ser la capacidad aerobia mayor en los mamíferos. Los humanos entrenados para resistencia aumentan su consumo de oxígeno 18 a 24 veces más que los valores de reposo, en respuesta al ejercicio intenso. El VO_2

máximo de los purasangre alcanza aproximadamente 160 ml/min/kg (o 70L/min para un animal de 440 kg) con una diferencia a-v de O_2 de 23 volúmenes por ciento y un gasto cardíaco máximo de 300 l/min. El VO_2 máximo de humanos entrenados no excede 80 mL/min/kg (o 5 o 6 l/min para un individuo de 70 kg). Por consiguiente, los caballos purasangre tienen una capacidad aerobia notable con un máximo de VO_2 específico de masa dos veces mayor que el de los mejores atletas humanos (Swenson, 2007).

La rapidez del transporte gaseoso es mayor en el perro y el caballo que en los humanos. La rapidez del aumento de VO_2 con el inicio del ejercicio en estos atletas, parece asociarse con un incremento rápido de la ventilación por minuto y del gasto cardíaco, junto con la liberación, hacia la circulación, de los eritrocitos almacenados en el bazo. Después de un periodo de calentamiento previo al ejercicio, los valores estables del consumo de oxígeno se alcanzan en 60 a 90 segundos de ejercicio en cualquier intensidad en una banda sinfín (Swenson, 2007).

La cadena de transferencia de oxígeno es una cadena funcional para la transferencia de oxígeno del exterior del organismo al tejido que participa en el metabolismo. Esta cadena de transferencia incluye incorporación y difusión de O_2 (función de vías respiratorias altas y bajas), unión del O_2 con la hemoglobina de los eritrocitos, transporte de O_2 a los tejidos (disociación y difusión) y utilización de O_2 en las mitocondrias (sustratos y enzimas que se oxidan). La cadena de transferencia de oxígeno es tan fuerte como su eslabón más débil (Swenson, 2007).

El aporte de oxígeno de los pulmones a los tejidos aumenta por medio de tres estrategias durante el ejercicio: 1) aumento del gasto cardíaco, 2) aumento de la capacidad de transporte al oxígeno de la sangre (VCE aumentado) y 3) aumento de la extracción de oxígeno de la sangre en los tejidos (aumento de la diferencia

a-v de O_2). El aumento en aproximadamente 40 veces el consumo de oxígeno durante el ejercicio máximo en el caballo, se presenta con un incremento de cerca de ocho veces el gasto cardiaco. No obstante, en cada alícuota de sangre se observa un aumento aproximado del 50 por ciento en la cantidad de hemoglobina (capacidad de oxígeno), debido a la descarga esplénica de eritrocitos. El resto del aumento de la demanda de oxígeno se cubre al aumentar la extracción de oxígeno de la sangre (Swenson, 2007).

Cuando un caballo galopa desde el reposo, el sistema respiratorio responde inmediatamente para cubrir las demandas de la respiración tisular considerablemente aumentada, mientras la función cardiaca y la movilización de hemoglobina, responden más lentamente a las demandas metabólicas del ejercicio. Las discrepancias aparentes entre las respuestas respiratorias por un lado, y las respuestas cardiovasculares y hemáticas por el otro, se pueden explicar por las diferencias de los mecanismos reguladores que participan. Las respuestas ventilatorias durante el ejercicio están bajo control nervioso mediante propioceptores en el aparato locomotor, que contrarrestan el efecto inhibitorio de la disminución de la Pa_{CO_2} en los quimiorreceptores centrales y periféricos., los estímulos aceleradores cardiacos, por otro lado, se originan tanto en el sistema nervioso autónomo, como en las catecolaminas humorales. La eliminación de solamente la inhibición parasimpática es suficiente para aumentar la frecuencia cardiaca a cerca de 110. Los incrementos de la frecuencia cardiaca superiores a este valor se deben a estímulos simpáticos y a las catecolaminas circulantes. De manera similar, la movilización de eritrocitos está también bajo control nervioso y humoral (Swenson, 2007).

3.3 El deporte ecuestre

Los juegos hípicas, o deportes ecuestres de ahora, de carreras y cacerías reales, comenzaron desde tiempos muy tempranos en la historia del caballo

domesticado. Pero el cambio hacia el uso generalizado del caballo con fines deportivos como principal actividad, vino en los tiempos modernos. Con las innovaciones tecnológicas, el caballo poco a poco fue menos necesario para el transporte, carga y tiro, principalmente en los países desarrollados, por la introducción del automóvil, camión de carga y el tractor para trabajar la tierra. Pero, entre personas con una herencia cultural fuertemente ligada al caballo, no se acabó su función, siguió dentro del mundo del deporte. Incluso, muchas de las disciplinas hípicas consideradas como deportes ahora, son modificaciones y transformaciones de las tareas comunes del trabajo empeñado anteriormente (Deraga, 2007).

3.3.1 Endurance

El Endurance constituye una prueba destinada a evaluar la velocidad y resistencia de un caballo sobre recorridos de largas distancias y la habilidad de su jinete para sacar el mejor partido de él sin lesionarlo, demostrando así, el conocimiento del competidor acerca de la marcha y uso de su caballo sobre el terreno (FEDE, 2012).

El desempeño del caballo sobre diversos tipos de terreno y ante obstáculos naturales es significativo para determinar la condición equitadora del competidor, el comportamiento del caballo y el acoplamiento del binomio. El Endurance es una competencia contra reloj. El binomio (caballo y jinete) que termina el recorrido en el menor tiempo será clasificado como el ganador de la competición después de completar con éxito todas las inspecciones veterinarias finales y control de medicación, así como otros protocolos establecidos para la seguridad del caballo y del jinete (FEI, 2009).

3.3.1.1 Historia

El Endurance sólo se convirtió en un deporte competitivo en las décadas de 1950 y no fue hasta la década de 1960 que la disciplina fue traída a Europa. En 1982, la FEI aprobó Endurance como disciplina oficial y poco a poco el número de viajes aumentó. En 1998, el Campeonato del Mundo se celebrará en los Emiratos Árabes Unidos. Gracias al patrocinio de la Federación Nacional de los Emiratos Árabes Unidos, 47 federaciones nacionales llegaron de todas partes del mundo para competir y esta asistencia demostró el catalizador para un crecimiento sorprendente en la participación en los próximos años (FEI, 2012).

3.3.1.2 Reglas

Las competencias consisten en un determinado número de kilómetros con un número de secciones conocidas como fases. Al final de cada fase, hay un alto obligatorio para la inspección veterinaria. Cada caballo, que es examinado a fondo antes de que se le permita iniciar el viaje, deberá presentarse para su inspección dentro de un plazo fijado de alcanzar cada “vetgate”. El tiempo dedicado a cada “vetgate” antes de la inspección de los veterinarios se cuenta como parte del tiempo de la competencia global y el objetivo es determinar si el caballo está en condiciones de continuar el viaje. Cualquier exceso de sobre-montar un caballo cansado o cualquier otra acción que se puede definir como la crueldad es penalizado con la descalificación (FEI, 2012).

3.4 Sangre

Los componentes celulares de la sangre reflejan cambios específicos en un órgano o sistema del cuerpo o más frecuente, una respuesta general del individuo a algunas condiciones fisiológicas o patológicas (Cuenca, 2006).

La capacidad de suministrar oxígeno y sustratos metabólicos a los músculos en trabajo y la eficiencia para eliminar productos de desecho de los músculos, imponen límites al rendimiento muscular. La sangre es la vía por la cual se proveen oxígeno y sustratos a la musculatura y por la cual se eliminan los productos de desecho, incluido el calor. Los cambios que se observan en la sangre circulante cuando un animal hace ejercicio, son notablemente rápidos. El más señalado es el aumento abrupto de eritrocitos, leucocitos y plaquetas por unidad de volumen (Swenson, 2007).

Una de las pruebas de laboratorio más empleadas por el veterinario especialista en medicina equina actualmente es el hemograma, debido a la facilidad y rapidez de su realización y a la excelente relación entre su coste y la información proporcionada (Cuenca, 2006).

La interpretación del perfil hematológico en conjunto con la historia y los signos clínicos llevan al clínico a seleccionar otras técnicas de diagnóstico, imagen o de muestreo. Adicionalmente, un perfil hematológico provee información importante sobre la severidad de la enfermedad y la respuesta al tratamiento y ayuda a establecer un pronóstico. También, los caballos pueden tener diferentes desórdenes hematológicos, haciendo la hematología importante para la medicina equina. Una consideración especial se debe hacer para los atletas equinos, ya que la evaluación de un perfil hematológico es esencial en el diagnóstico de una reducción del rendimiento (Satué, K. et al, 2012).

La muestra de sangre se ha de recoger con el animal en descanso, antes de realizar ejercicio, y bajo unas condiciones que disminuyan al máximo la probabilidad de causarle temor o excitación. Con ello se minimiza el efecto de la contracción esplénica (elevaría el valor hematocrito, el recuento de eritrocitos y la concentración de hemoglobina), y la liberación de adrenalina o corticosteroides (provocan modificaciones en el leucograma). El temperamento del caballo y la

técnica empleada en la extracción pueden tener un efecto importante tanto en los valores eritrocitarios como leucocitarios del hemograma (Cuenca, 2006).

Las muestras de sangre se recogen normalmente en tubos de cristal en vacío, con la sal del ácido etiléndiaminotetracético (EDTA) como anticoagulante, que prolonga el tiempo en el que la morfología celular se mantiene intacta (Cuenca, 2006).

El hemograma comprende la cuantificación de los componentes sanguíneos, así como la observación de las alteraciones en su composición o morfología. En su estudio e incluye el recuento de eritrocitos, el valor hematocrito, la concentración de la hemoglobina, el volumen corpuscular medio (VCM), la concentración corpuscular media de hemoglobina (CCMH), el recuento total y diferencial de leucocitos, el recuento de plaquetas y el estudio de la morfología celular en las tres líneas (Cuenca, 2006).

Los recuentos celulares de eritrocitos, leucocitos y plaquetas se pueden realizar de forma manual con cámara hemocitométrica de Neubauer y distintos diluyentes o bien de forma automatizada mediante contadores celulares que han aumentado la fiabilidad de los resultados obtenidos y disminuido el tiempo empleado en el análisis. El número de plaquetas en el caballo es relativamente bajo, comparado con el de otras especies (Cuenca, 2006).

El recuento manual en cámara lleva asociado un error que puede oscilar entre el 10-25%, según la serie celular. Con la utilización de los métodos electrónicos los recuentos pueden verse sometidos a grandes errores sobre todo si no se realiza un control diario y una calibración periódica del analizador (Cuenca, 2006).

3.4.1 Eritrocitos

Los eritrocitos de la sangre circulante de los mamíferos son anucleados. Aparecen como discos circulares bicóncavos, que varían de diámetro y espesor según las especies y el estado nutritivo del animal. Los glóbulos rojos de la mayoría de los animales que se encuentran por debajo de los mamíferos en la escala filogenética son de aspecto elíptico y poseen núcleo. En algunas anemias de los mamíferos aparecen en la sangre circulante eritrocitos nucleados. Es normal encontrar que del 1 al 3% de los eritrocitos son reticulocitos. Su número suele incrementarse notablemente en las anemias, cuando la médula ósea es más activa en la producción de mayor número de eritrocitos (Dukes, 1981).

3.4.1.1 Composición

Los eritrocitos, en diferentes especies de animales adultos, contienen del 62 al 72% de agua; por tanto, su contenido en sólidos es, aproximadamente, del 35%. De esta cantidad, la hemoglobina constituye alrededor del 95%. Sus principales funciones son transportar oxígeno a los tejidos y, en menor extensión, dióxido de carbono de los tejidos a los pulmones. Los otros sólidos del restante 5% son: proteínas del estroma y membrana celular; lípidos, tales como fosfolípidos (lecitina, cefalina, esfingomielina), colesterol libre, colesterol esterificado y grasa neutra; vitaminas que funcionan como coenzimas; glucosa para suministrar energía; enzimas tales como coliterasa, fosfatasas, anhidrasa carbónica, peptidasas y aquellas relacionadas con la glucólisis; y minerales tales como fósforo, azufre, cloro (principal anión intracelular), magnesio, potasio y sodio (Dukes, 1981).

3.4.2 Características específicas de los eritrocitos de los equinos

Cuando se interpreta un perfil hematológico equino, hay unas características específicas de esta especie que se debe tener en consideración.

3.4.2.1 Formación rouleaux y tasa de sedimentación eritrocitaria

La formación Rouleaux es el resultado de los eritrocitos apilados linealmente y depende del número de eritrocitos y de su tendencia a unirse. Ésta es una característica encontrada en caballos sanos, como resultado a cambios de la débil superficie en las membranas de los glóbulos rojos y es acentuada en algunos casos asociados con hiperproteinemia, porque las altas concentraciones las proteínas plasmáticas, particularmente fibrinógeno e inmunoglobulinas, tienen un efecto aislante que reduce la carga de la superficie de membrana de los glóbulos rojos, promoviendo la segregación eritrocitaria (Satué et al, 2012).

3.4.2.2 Autoaglutinación

Puede ser vista en varios caballos sin hemólisis como resultado de anticuerpos fríos, con una actividad máxima a 4-20°C o como resultado de un tratamiento no fraccionado de heparina (Satué et al, 2012).

Macroscópicamente, la aglutinación tiene una apariencia granular y microscópicamente, aparece como racimos de uvas de eritrocitos. Debe ser diferenciada de Rouleaux usando la prueba de dilución salina. Típicamente, una dilución 1:2 dispersará rouleaux pero no los eritrocitos autoglutinados. No tan frecuente, una dilución mayor (desde 1:10) debe ser necesaria para dispersar Rouleaux. La aglutinación provoca valores erróneos de volumen corpuscular medio (VCM) y conteo de glóbulos rojos determinado por impedancia, porque los agregados pueden interferir con la evaluación electrónica u óptica de los

eritrocitos. Las suspensiones celulares pre-tratadas de los caballos que tratados con tripsina pueden revertir la autoaglutinación, mejorando la veracidad del conteo de células (Satué et al, 2012).

3.4.3 Contracción esplénica

El sistema cardiovascular tiene la capacidad para transportar grandes cantidades de oxígeno al músculo activo. En el caballo y el perro, como en muchas otras especies, el bazo actúa como un depósito para eritrocitos. Las células sanguíneas almacenadas en el bazo se movilizan hacia la circulación cuando aumenta la demanda. La liberación de eritrocitos almacenados del bazo a la circulación sistémica depende del sistema nervioso simpático y las catecolaminas circulantes. La cápsula de músculo liso del bazo está inervada por neuronas simpáticas posganglionares. Cualquier factor que aumente la actividad nerviosa simpática o las catecolaminas plasmáticas, como asfixia, hemorragia, excitación y ejercicio, da como resultado la contracción esplénica y aumenta el número de eritrocitos circulantes. En consecuencia, tanto el ejercicio, como la excitación, incrementan el volumen de eritrocitos circulantes en un volumen plasmático esencialmente igual o reducido, lo que resulta en un aumento del volumen celular empaquetado (VCE), de la concentración de hemoglobina y de la cuenta de eritrocitos (Swenson, 2007).

3.4.4 Otros sitios que ayudan a incrementar el VCE

La contracción del bazo no explica totalmente el incremento de VCE después del ejercicio. En el caballo, el VCE puede aumentar de 40 a 50 por ciento, hasta a 60 a 70 por ciento después del ejercicio. Un incremento simultáneo de la viscosidad sanguínea puede presentarse también en este momento. Una alteración considerable de la relación células/plasma de la sangre venosa periférica ocurre durante el ejercicio, con un desplazamiento asociado de líquido

intravascular al extravascular. Los eritrocitos también pueden estar secuestrados en otros órganos, como el hígado, el intestino y los pulmones. En general, los purasangre tienen índices eritrocíticos en reposo (volumen corpuscular medio, hemoglobina corpuscular media y concentración de hemoglobina corpuscular media), mayores que los de los que trotan y paseros o de resistencia de raza ligera. Los valores hemáticos de los galgos son también mayores que aquellos de otras razas. Esta adaptación permite el aumento del transporte de oxígeno a los tejidos durante el ejercicio (Swenson, 2007).

3.4.5 Volumen sanguíneo

El potencial del bazo para aumentar el volumen de eritrocitos circulantes es sorprendente en el perro y el caballo. En reposo, una gran proporción de eritrocitos se almacena en el bazo. El aumento del VCE es una función de la intensidad del ejercicio; existe una relación lineal entre el VCE y la velocidad hasta un VCE de aproximadamente 60 a 65 por ciento. Esta “autotransfusión” de eritrocitos durante el ejercicio refuerza la capacidad transportadora de oxígeno de la sangre y se piensa que es un factor significativo que contribuye al consumo de oxígeno máximo, muy alto, del caballo y el perro en comparación con otras especies. Por ende, el volumen de eritrocitos aumenta considerablemente durante el ejercicio, como resultado de la contribución de la reserva esplénica. No obstante, el ejercicio provoca un cambio leve o una reducción pequeña en el volumen plasmático, lo cual se atribuye al paso de líquido del compartimiento intravascular al extravascular, como resultado de la pérdida de líquidos por sudoración o jadeo (Swenson, 2007).

3.4.6 Entrenamiento físico y capacidad de transporte de oxígeno

El entrenamiento físico induce adaptaciones al aumento de las demandas metabólicas en diversos aspectos. Un factor limitante para la condición física y

resistencia es la capacidad de transporte de oxígeno de la sangre. Esta capacidad aumenta durante el entrenamiento por un incremento del volumen total de eritrocitos. Hay una relación bien establecida entre el estado de entrenamiento, el volumen celular y otros índices de los eritrocitos en los humanos y en el caballo. La viscosidad plasmática y los niveles de fibrinógeno no se afectan normalmente por el entrenamiento. Los valores de viscosidad plasmática en el purasangre son menores que en otras razas de caballos y posiblemente en todos los demás animales (Swenson, 2007).

Sin embargo, cuando el entrenamiento es prolongado, el aumento de la masa de eritrocitos puede ser excesivo. Este incremento del VCE da como resultado una reducción en el rendimiento al correr y se le atribuye al sobreentrenamiento. El aumento de la viscosidad sanguínea puede producir una reducción de la perfusión capilar y un suministro inadecuado de oxígeno a los tejidos (Swenson, 2007).

3.4.7 Valor hematocrito

Este parámetro es especialmente útil en el caballo puesto que permite valorar y controlar el estado de hidratación de un animal con síntomas de cólico, proceso que es frecuente en esta especie. El valor hematocrito se define como el volumen que ocupan los eritrocitos contenidos en 100 ml de sangre (expresado en porcentajes) (Cuenca, 2006).

El valor hematocrito se obtiene al centrifugar la sangre con anticoagulante en un capilar de microhematocrito para conseguir la separación de ésta en sus tres componentes principales (Cuenca, 2006).

La sangre se ha de centrifugar aproximadamente entre 12.000-15.000 rpm durante 5 minutos. En la parte distal del tubo se acumulan los glóbulos rojos, separados del plasma por una capa delgada blanco-grisácea que incluye los

leucocitos y las plaquetas. En la parte superior la apariencia macroscópica del plasma, permite obtener información adicional al poder detectar si existe ictericia, hemólisis o lipemia. Éste es el método considerado “goal standard” para esta determinación (Cuenca, 2006).

El valor hematocrito es el parámetro más fiable del hemograma al estar sujeto a menor error técnico que el recuento eritrocitario y la concentración de hemoglobina (Cuenca, 2006).

Es un parámetro poco estable en el animal, especialmente en razas equinas muy excitables. La contracción esplénica, cuando se produce, hace que en cuestión de minutos entre “en masa” en el torrente circulatorio un gran reservorio de eritrocitos que normalmente están secuestrados en este órgano (pueden producirse incrementos superiores al 15%) (Cuenca, 2006).

El caballo puede almacenar, estando en descanso, entre 6 y 12 litros de sangre ricos en células rojas. Grandes cantidades de eritrocitos pueden ser secuestrados temporalmente desde el bazo para ser transportados a la circulación como respuesta a excitación (manejo, punción de la vena, pérdida de sangre y dolor) y ejercicio intenso (Satué et al, 2012).

La respuesta es inducida por la liberación de catecolaminas y por consiguiente, el hematocrito en reposo de los caballos debe ser evaluado bajo diferentes niveles de excitación. En contraste los tranquilizadores y anestésicos reducen los glóbulos rojos circulantes porque provocan secuestro esplénico. Cambios comparables no fueron encontrados en caballos cuyo bazo fue quirúrgicamente removido después de excitación y ejercicio intenso o durante reposo (Satué et al, 2012).

La intensidad de los cambios en los glóbulos rojos circulantes en relación con la actividad esplénica depende de variaciones individuales, edad, raza y nivel de

estado físico y en el caso de ejercicio, de la intensidad y duración. El tiempo requerido para que los glóbulos rojos regresen a valores de descanso depende del grado de excitación y puede variar de 40 a 60 minutos hasta varias horas (Satué et al, 2012).

3.4.8 Hemoglobina

La hemoglobina ocupa aproximadamente un tercio del volumen eritrocitario; por lo tanto, en la mayor parte de las muestras sanguíneas, el valor que se obtenga dividiendo el hematocrito por tres se aproximará al contenido de hemoglobina en el animal (Cuenca, 2006).

También se puede obtener mediante la técnica de química seca utilizando el Sistema Reflotrón. El Reflotrón es un fotómetro de reflexión empleado para la evaluación automática de los test Reflotrón. Las tiras reactivas Reflotrón son portarreactivos para la determinación específica de parámetros de química clínica en muestras no diluidas. Este sistema sirve para la determinación cuantitativa de parámetros de química clínica en sangre, suero y plasma (Ruiz et al, 1995).

Cuando las muestras presenten hemólisis, lipemia o un alto número de cuerpos de Heinz, hay que tener cuidado en la interpretación del parámetro, puesto que en estas situaciones varían las propiedades ópticas de la sangre y las lecturas que se realizan de la hemoglobina no son fiables (Cuenca, 2006).

3.4.8.1 Tamaño y contenido hemoglobínico (Índices de glóbulos rojos)

El diámetro de los eritrocitos ha sido medido frecuentemente. Para la mayoría de los animales domésticos, el diámetro medio en frotis secos varía de 4 micras para la cabra a 7 para el perro. Existen muchas desviaciones de estas medidas debido a que: 1) las células se miden en frotis secos en estado húmedo- en el que

pueden estar perdiendo agua-, lo que da un tamaño menor; 2) se miden muy pocas células de la muestra hemática tomada; 3) no se considera el espesor de la célula o tercera dimensión. Por estas razones los diámetros de los eritrocitos son menos importantes y deben medirse las células por su volumen cúbico. Las siguientes fórmulas son importantes en orden a determinar el tamaño celular, el contenido hemoglobínico y la concentración hemoglobínica medios en los eritrocitos:

VCM (volumen corpuscular medio) expresado en micras cúbicas

$$= \frac{\text{VCA} \times 10}{\text{número de eritrocitos por milímetro cúbico de sangre expresado en millones}}$$

HCM (hemoglobina corpuscular media) expresada en microgramos

$$= \frac{\text{hemoglobina en g\%} \times 10}{\text{número de eritrocitos por milímetro cúbico de sangre expresado en millones}}$$

CHCM (concentración hemoglobínica corpuscular media) expresada en%

$$= \frac{\text{hemoglobina en g\%} \times 100}{\text{VCA}}$$

Estos valores pueden ser importantes en medicina veterinaria para el diagnóstico de diversas anemias. La deficiencia en hierro de todos los mamíferos, incluido el hombre, se caracteriza por una anemia de tipo microcítico. El VCM suministra el tamaño celular promedio en micras cúbicas. HCM expresa el peso promedio (micromicrogramos) de hemoglobina presente en los eritrocitos mientras

que CHCM da el porcentaje promedio del VCM que ocupa la hemoglobina (Duke, 1981).

La cantidad de hemoglobina en la sangre se expresa en gramos por 100 ml de sangre. La cantidad puede variar dentro de ciertos límites normales. La excitación puede incrementar no solo la concentración de hemoglobina, sino también el VCA y el número de eritrocitos por unidad de volumen. Esto se debe a la liberación de catecolaminas (epinefrina y norepinefrina) que provocan un aumento de la presión sanguínea y contracciones esplénicas que movilizan eritrocitos hacia el sistema circulatorio (Duke, 1981).

Las condiciones que disminuyen el contenido en oxígeno de la sangre de los animales causan un incremento en la producción de hemoglobina y en el número de eritrocitos. Inversamente, las condiciones que incrementan el oxígeno de la sangre originan una disminución en la producción de hemoglobina y en la formación de glóbulos rojos. La presión barométrica elevada produce un incremento en la pO_2 , mientras que la altura reduce la tensión de oxígeno en la sangre (Duke, 1981).

Existe una considerable variación en estos valores. El error en el recuento de los eritrocitos contribuye a la variación en VCM y HCM. Indudablemente estos valores pueden ser importantes en los animales domésticos, pero se necesita más investigación para llegar a comprender e interpretar su significado en la salud y en la enfermedad (Duke, 1981).

El Volumen Corpuscular Medio (VCM) da idea del tamaño medio de los eritrocitos. La Concentración Media de Hemoglobina Corpuscular (CMHC) expresa la relación entre el peso de la hemoglobina y el volumen de los eritrocitos y es un parámetro muy semejante en todas las especies domésticas (Cuenca, 2006).

Cabe mencionar que estos parámetros, que principalmente en pequeños animales ayudan a valorar la respuesta medular frente a las anemias, son menos útiles en la especie equina puesto que, a diferencia de los primeros, en el caballo no se produce la liberación de eritrocitos inmaduros y nucleados en sangre ante una anemia. El VCM y la CCMH se consideran indicadores poco sensibles de regeneración periférica, puesto que se requiere de un gran número de eritrocitos macrocíticos e hipocrómicos para detectar modificaciones en sus valores. El VCM en un caballo anémico podría aumentar algo, antes de que el valor hematocrito se incremente. Este cambio, de pequeña magnitud, se demuestra con mayor claridad cuando se utilizan analizadores automáticos que producen eritogramas donde se muestra la distribución del tamaño de los eritrocitos (Cuenca, 2006).

Cuadro 1 – Rangos hematológicos de los caballos

Parámetro	Razas de “Sangre Caliente” (Basado en 147 caballos clínicamente normales)
Recuento de eritrocitos (x10 ⁶ /μL)	6,8-12,9
Concentración de hemoglobina (g/dL)	11,0-19,0
Valor hematocrito (%)	32,0-53,0
VCM (fl)	37,0-58,5
CCMH (%)	31,0-38,6

(Cuenca, 2006)

3.4.9 Número de eritrocitos

El número de eritrocitos se expresa por milímetro cúbico de sangre. Los valores límites del número de eritrocitos entre las especie varía ampliamente y se halla también sujeto a variaciones intraespecíficas. Se presentan variaciones dentro de un mismo individuo, debido a que las células no están distribuidas uniformemente

en el sistema vascular sanguíneo. Constantemente se están cambiando fluidos plasmáticos a través de las paredes de los capilares, y este cambio explica, en parte, por qué pueden variar los recuentos celulares entre muestras de sangre venosa y arterial. Entre los factores que afectan no solo al recuento eritrocítico, sino también a la concentración hemoglobínica, VCA, y concentración de otros constituyentes hemáticos están la edad, sexo, ejercicio, estado nutritivo, lactación, preñez, excitación (liberación de epinefrina), volumen sanguíneo (hemodilución o hemoconcentración), estadio del ciclo estral, raza hora del día, temperatura ambiente, altitud y otros factores climáticos (Cuenca, 2006).

3.5 Sexo

Diferencias hematológicas asociadas al sexo parecen tener poca importancia entre los caballos. De hecho, pequeñas diferencias entre hembras y machos adultos han sido reportadas. Sin embargo, los resultados en este campo son sujetos a la controversia. Los machos tienen conteo de glóbulos rojos, concentración de hemoglobina y hematocrito; mientras que las hembras tienen Hemoglobina corpuscular media y concentración de hemoglobina corpuscular media más alta que los machos. En contraste, Gill y Rastawicka (1986) observaron en caballos de carrera Purasangre y Cuarto de milla que el conteo de glóbulos rojos, el hematocrito y la concentración de hemoglobina eran mayores en machos que en hembras. Persson y Ullberg (1974) reportaron que los valores hematológicos de línea base eran mayores en sementales que en yeguas y caballos castrados, probablemente por el efecto de los andrógenos en la eritropoyesis. Sin embargo, ésta característica no fue observada durante el ejercicio en este estudio. Los autores explican que estos resultados indican que las yeguas y caballos castrados establecen una circulación hipocinética con un mayor consumo de oxígeno por el músculo activo durante el ejercicio (Satué, 2012).

3.6 Altitud

Los caballos sujetos a altitudes altas tienen un conteo de glóbulos rojos, concentración de hemoglobina y hematocrito significativamente mayores a aquellos animales que viven en una altitud menor. Está considerado un mecanismo de compensación para el contenido bajo de oxígeno en el aire atmosférico, que es proporcionalmente reducido a la altitud (Satué, 2012).

3.7 Velocidad promedio

La velocidad promedio para una distancia limitada es de 9.6 km/h; la velocidad promedio para Endurance es de 11.3 km/h. Esto es la velocidad para un trote medio para la mayoría de razas de caballos y ponis (The Old Dominion Endurance Rides; sf).

Cuadro 2 – Velocidad promedio de pasos en caballos

Paso	Velocidad en Caballos
Caminata	6 – 6.5 km/h
Trote lento	8 km/h
Trote medio	9.6 – 12.87 km/h
Trote rápido	14.5 – 17.7 km/h
Medio galope	19.3 – 24.1 km/h
Galope	24.1 – 40.23 km/h

(The Old Dominion Endurance Rides, sf)

3.8 Rendimiento de caballos

La evaluación del rendimiento de los caballos deportivos es cada vez más importante dentro de la medicina veterinaria. Si bien los caballos de carreras han

sido el objeto principal de investigación durante muchos años, este tipo de estudio está cada vez más extendido y solicitado por los propietarios dentro de todas las modalidades de deportes de competición equina introduciendo pequeñas variantes (Varela, 2012).

El rendimiento atlético resulta de la coordinación y funcionamiento adecuado de la mayoría de los sistemas del organismo, principalmente el cardiovascular, hematológico, respiratorio y músculo-esquelético; La función óptima de las rutas metabólicas que proporcionan energía para generar fuerza muscular durante el ejercicio depende de la interacción compleja de esos sistemas corporales. Además, el rendimiento máximo requiere que esos sistemas trabajen muy cerca de sus límites fisiológicos. Cualquier anomalía que afecte a esos aparatos puede resultar en una disminución del rendimiento atlético, pudiendo aparecer varias alteraciones a la vez; De hecho, muchos autores coinciden en que la etiología del descenso de rendimiento deportivo en la mayoría de los casos es multifactorial (Varela, 2012).

3.9 Variables a medir durante la competencia

3.9.1 Pulso

El pulso es un reflejo de la frecuencia cardíaca. Se puede tomar en cualquier lugar del cuerpo del caballo donde una arteria se encuentra justo debajo de la piel (Gore, 2008).

El pulso arterial se puede tomar en la arteria maxilar externa, en la cara interna del borde ventral de la mandíbula. Se puede usar también la arteria facial transversa, en un punto situado por detrás de la apófisis cigomática del hueso frontal a media distancia entre el ojo y la oreja; también se pueden emplear otras arterias como la arteria mediana, que la hallamos inmediatamente por debajo y

delante de la articulación del codo, la arteria metacarpiana lateral situada en la cara lateral del hueso de su nombre, en el surco formado por éste y el metacarpiano menor (Gore, 2008).

Otra forma de medir el pulso es sentir el latido del propio corazón. Se siente con la mano en el lado izquierdo del pecho del caballo justo por encima del punto del codo. Si el caballo no es gordo, se debería de sentir el impacto del corazón (Gore, 2008).

La frecuencia del pulso se determina contando el número de latidos por minuto. Caballos maduros tienen una frecuencia cardíaca de 35 a 45 latidos por minuto en reposo. En caballos de dos años de edad, es ligeramente más rápido. En los potros 2 a 4 semanas de edad, el pulso es de 70 a 90 latidos por minuto (Gore, 2008).

El pulso debe ser fuerte, estable y regular. Una leve alteración en el pulso se produce cuando caballo inhala y exhala. Un pulso muy rápido (más de 80 latidos por minuto en el caballo adulto en reposo) se ve con deshidratación grave, sangre, pérdida, shock, infección, golpe de calor, el corazón y la enfermedad pulmonar avanzada, y septicemia. Un pulso muy lento (menos de 20 latidos por minuto) indica la temperatura del cuerpo baja, enfermedades del corazón, presión en el cerebro, o un estado preterminal con colapso de la circulación (Gore, 2008).

Para determinar la frecuencia del pulso, se usa un reloj con segundero. Se puede contar el número de pulsaciones durante 30 segundos y multiplicar por dos este número, para obtener la frecuencia por minuto. Si hay posibles alteraciones fisiológicas, es mejor contar las pulsaciones durante mínimo un minuto (Cardona, sf).

3.9.2 Color de membranas mucosas y tiempo de llenado capilar

El color de las mucosas y el tiempo de llenado de estas, aporta información sobre el grado de oxigenación y el estado de la perfusión periférica. En los caballos se usa principalmente la mucosa gingival. El tiempo de llenado debe ser inferior a los 2 segundos; tiempos superiores se asocian con una perfusión periférica inadecuada. La interpretación del color de las mucosas es subjetiva pero da una buena aproximación al estado de la perfusión periférica y funcionalidad cardiaca (Llorente et al, sf).

Las mucosas se evalúan en cuanto a palidez, congestión o cianosis. En caballos con choque intenso o enfermedad cardiaca congénita, y en potros con neumonía grave las mucosas pueden estar cianóticas (Cardona, sf).

En un animal enfermo del corazón, se pueden encontrar las mucosas congestionadas, más frecuentemente, debido a lentitud circulatoria. También pueden encontrarse pálidas, por anemia, producida por falta de absorción de nutrientes debido a la formación de edemas submucosos del intestino, en este caso habrá diarrea, pero sin mal olor. En casos extremos la anemia puede ser originada por una cirrosis hepática, causada por la mala nutrición del hígado por el daño circulatorio (Cardona, sf).

En pacientes que sufren desbalances de líquidos y electrolitos, con deshidratación o endotoxemia, las mucosas tendrán un color rojizo más oscuro, que generalmente se describe como congestión (Cardona, sf).

3.9.3 Deshidratación

Deshidratación es la pérdida de fluidos corporales. No es reconocida hasta un 5 por ciento. Una pérdida de 12 a 15 por ciento del peso en agua del cuerpo es potencialmente mortal (Gore, 2008).

Los signos de deshidratación incluyen debilidad, depresión, mucosas secas (de la boca y la lengua), ojos hundidos, prolongación del tiempo de llenado capilar más de tres segundos, y una frecuencia cardíaca mayor de 60 latidos por minuto. Un colapso circulatorio y shock puede causar la muerte si no se trata oportunamente (Gore, 2008).

El grado de deshidratación puede ser estimada mediante pruebas de elasticidad de la piel. Cuando la piel de la parte inferior del pecho por encima del codo es recogido en un pliegue, esta debe regresar a su lugar. En caballos con deshidratación moderada a severa, la piel se mantiene en una cresta o vuelve a su posición original lentamente (Gore, 2008).

3.9.4 Sonidos intestinales

Los sonidos intestinales son evaluados con el estetoscopio al escuchar sobre el flanco superior e inferior de ambos lados. Los sonidos normales del intestino se escuchan como burbujas y gorgoteos aproximadamente cada 5-10 segundos. Sonidos anormales tales como zumbidos o ecos de goteo de agua en un pozo sería motivo de preocupación. Los sonidos pueden variar no sólo en la calidad y el carácter, sino también en la frecuencia. La ausencia de sonidos intestinales es muy grave. Por lo general, el caballo necesita tratamiento si no se observa mejoría dentro de los 30 minutos siguientes (King, sf).

3.9.5 Cruz, espalda y cinchera

La cruz, los hombros, la espalda, las zonas de grupa y cadera y circunferencia debe palpase la evidencia de úlceras, dolor, golpes y la musculatura apretada. El objetivo es detectar cualquier dolor, sensibilidad, o tensión que puedan menoscabar la capacidad atlética del caballo o causa dolor y sufrimiento durante el ejercicio (King, sf).

3.10 Descalificaciones de Endurance

Cuando un equino no continúa en la carrera puede ser por tres causas: Descalificación, Retiro o no califica para la siguiente fase (FEI, 2009).

Descalificación: se produce cuando un competidor es penalizado por el Jurado de Campo y retirado de una mayor competencia por una violación del Reglamento de Eventos de Endurance, el Reglamento General de la FEI, el Reglamento Veterinario de la FEI o el horario (FEI, 2009).

Si no se clasificó para la siguiente fase: Resulta cuando un competidor se retira de la competencia por no pasar con éxito un examen veterinario, para completar el curso completo según se requiera, o para cumplir con todos los requisitos de tiempo para la presentación o realización (FEI, 2009).

Retiro: Resulta cuando un competidor se retira voluntariamente de la competencia, pero sólo se puede considerar un retiro voluntario cuando: el competidor ha terminado correctamente todas las fases hasta ese momento; el competidor ha completado su fase más reciente, pasando todos los controles veterinarios exigidos para la siguiente fase, incluida la inspección de recuperación forzosa o inspección de recuperación requerida por veterinarios; y además no se disponga lo contrario para la eliminación de la competencia (FEI, 2009).

3.11 Respuestas hematológicas al ejercicio y entrenamiento

El razonamiento ha sido que si un caballo tiene un recuento bajo de eritrocitos, entonces no va a ser capaz de transportar oxígeno al músculo que trabaja tan eficientemente como un caballo con un alto recuento de eritrocitos. Aunque esto puede ser cierto en casos extremos, se debe de recordar que el eritrocito es sólo una parte de la compleja cadena de transporte de oxígeno. Y condiciones tales como obstrucciones parciales del tracto respiratorio superior y la enfermedad pulmonar pueden prevenir que el oxígeno suficiente llegue a los alvéolos; disminuciones en pH sanguíneo o aumentos de la temperatura o la concentración de 2,3 difosfoglicerato (DPG) desplaza la disociación de la oxihemoglobina hacia la derecha, disminuyendo así el grado de saturación oxígeno, aunque el número de eritrocitos total puede no haber cambiado. Finalmente, al nivel del músculo de trabajo, donde se desvía la mayoría del flujo de sangre durante el ejercicio, el grado de desarrollo capilar afectará la cantidad de oxígeno que puede ser absorbido por los tejidos (Rose, Allen;1985).

Steward y Steel realizaron un estudio donde se utilizó 36 muestras sanguíneas de un mismo individuo para examinar la repetitividad de los valores de hemoglobina, hematocrito, conteo de glóbulos rojos y conteo de glóbulos blancos. Y encontraron que la precisión de medición fue de ± 5 por ciento. Por lo tanto, los cambios significativos de los valores del eritrograma tienen que encontrarse en repetidas ocasiones en un mismo individuo antes de que alguna importancia se le pueda atribuir (Rose,Allen;1985).

El almacenamiento de muestras de sangre durante la noche, antes del análisis, causará una ligera elevación de PCV y MCH, probablemente debido a un ligero aumento del volumen de los eritrocitos (Rose,Allen;1985).

Los eritrocitos son movilizados a partir del bazo de 30 a 60 segundos después de la inyección intravenosa de adrenalina. Por lo tanto, es importante tener en cuenta la actitud del caballo durante la toma de muestra de sangre para que los resultados se puedan interpretar correctamente (Rose,Allen;1985).

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Materiales

4.1.1 Recursos humanos

- Estudiante tesista
- Cuatro Médicos Veterinarios asesores

4.1.2 Recursos biológicos

- Equinos competidores

4.1.3 Material y Equipo

- Papeletas veterinarias y de tiempo total de competencia
- Tubos EDTA Vacutainer de 4ml
- Agujas Vacutainer 21G X 1.5"
- Adaptador para agujas Vacutainer
- Algodón
- Alcohol
- Hielera
- Hielo
- Tubos Capilares de Microhematocrito y plastilina selladora
- Microcentrífuga
- Tabla lectora de hematocrito
- Tiras de Hemoglobina para Reflotrón
- Reflotrón
- Pipetas para hematocitómetro

- Hematocitómetro
- Microscopio
- Vehículo

4.2 Metodología

En un período de 12 meses, en todos los eventos de Endurance en Guatemala, se tomaron muestras de sangre de la vena yugular a 75 caballos competidores y se utilizaron tubos con ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) de 4.5ml. El muestreo se realizó antes y después de la competencia.

Por evento, a cada equino competidor muestreado se clasificó dentro de tres grupos (40-60km, 61-80km y 81km o más).

Según los parámetros afectados de su último chequeo veterinario durante las carreras se clasificaron en las siguientes categorías:

Cuadro 3 – Clasificación de las categorías del rendimiento

Categoría	Criterio
No afectados (1)	Calificaciones A ó 1, frecuencia cardíaca por debajo del máximo permitido, índice de recuperación cardíaca menor a 4 y tiempo de recuperación dentro del tiempo permitido.
Poco afectados (2)	Calificaciones de B ó 2 e índice de recuperación cardíaca de entre 4 y 7.
Afectados (3)	Calificaciones de C ó 3 e índice de recuperación cardíaca de entre 8 y 11.
Muy afectados (4)	Calificaciones de D ó 4, frecuencia cardíaca por arriba del máximo permitido, índice de recuperación cardíaca mayor a 12 y tiempo de recuperación excediendo el tiempo permitido.

(Paiz, 2012)

El índice de recuperación cardíaca se refiere a la diferencia de la frecuencia cardíaca de la primera toma antes del trote con la segunda toma después del trote durante el chequeo veterinario.

Las muestras se procesaron en el laboratorio clínico del Hospital Veterinario de la Universidad de San Carlos de Guatemala donde se obtuvieron los valores del hematocrito, valor de hemoglobina e índices de glóbulos rojos; luego estos se asociaron con el rendimiento, la velocidad promedio y capacidad para terminar la carrera de los caballos muestreados.

Las variables de sexo del equino competidor y altitud del lugar donde se realizó la carrera se asociaron cada una con el rendimiento, la velocidad promedio y capacidad para terminar la carrera.

El rendimiento se calificó según la hoja de cotejo del chequeo veterinario; la velocidad promedio se obtuvo utilizando la cantidad de kilómetros recorridos y el tiempo total de duración de la carrera; y la capacidad para terminar la carrera se obtuvo del dato si terminaron las fases o rutas establecidas.

La altitud del campo base de cada carrera se obtuvo de la hoja cartográfica de la Dirección de Información Geográfica, Estratégica y Gestión de Riesgos del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación de Guatemala (DIGEGR-MAGA).

Para el análisis de los resultados del eritrograma de antes y después de la competencia se utilizó la prueba de Wilcoxon por ser una prueba no paramétrica; para el análisis entre los resultados del eritrograma, el sexo y la altitud con el grado de rendimiento de los caballos, se utilizó la prueba de Chi cuadrado para los datos cualitativos; se usó estadística descriptiva (media, desviación estándar, coeficiente de variación y moda) de las diferencias del eritrograma y se analizó en

un análisis de varianza para un diseño desbalanceado (modelo lineal general) con las variables de rendimiento, altitud, sexo y kilómetros recorridos.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se obtuvieron muestras de sangre de 75 caballos en las siete competencias de Endurance a lo largo de un año de estudio, en cuatro diferentes sedes: Parque Laguna El Pino, Barberena, Santa Rosa; Finca, Taxisco, Santa Rosa; Finca El Triunfo, Taxisco, Santa Rosa; y Campo de grama kilómetro 29 ruta a Palencia, San José Pinula, Guatemala.

Las muestras se procesaron en el Laboratorio Clínico del Hospital de Medicina Veterinaria de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Para el análisis estadístico del eritrograma pre y post competencia, se utilizó la prueba de Wilcoxon; para evaluar el grado de resistencia con el eritrograma, sexo y altitud se utilizó la prueba de Chi cuadrado y coeficiente de correlación; y para evaluar el eritrograma pre y post competencia con las variables de resistencia, altitud y sexo, se utilizó un modelo general lineal y correlación de Pearson.

Los resultados para la prueba de Wilcoxon (Cuadro 4) de las variables de hematocrito, hemoglobina y conteo de glóbulos rojos pre y post competencia es significativo ($P \leq 0.05$). Con este resultado se aprecia una diferencia entre los valores hematológicos, los cuales pudieron producirse por la liberación de eritrocitos almacenados en bazo hacia la circulación sistémica, por acción del sistema nervioso simpático y las catecolaminas circulantes y/o por deshidratación. El ejercicio incrementa el volumen de eritrocitos circulantes en un volumen plasmático esencialmente igual o reducido, lo que resulta en un aumento del hematocrito, hemoglobina y el conteo de glóbulos rojos (Swenson, 2007).

Los resultados para la prueba de Wilcoxon (Cuadro 4) de las variables de volumen corpuscular medio (VCM) y concentración de hemoglobina corpuscular media (CHbCM) pre y post competencia no son significativos ($P \geq 0.05$). Este

resultado indica que no existe una diferencia entre los dos valores hematológicos pre y post competencia. El VCM indica el tamaño celular promedio en micras cúbicas del eritrocito y el CHbCM mide la concentración de la hemoglobina en los eritrocitos, indicando el peso de la hemoglobina en 100 ml de eritrocitos (Duke, 1981). Estos resultados hematológicos mostraron un comportamiento normal y demuestran que no hubo hemólisis.

Los resultados del grado de resistencia (rendimiento, velocidad promedio y capacidad para terminar la carrera) fueron agrupados en tres categorías según los kilómetros recorridos (40 – 60km, 61 – 80km y 81km o más) y por grupo de caballos se asoció con el eritrograma, sexo y altitud mediante la prueba estadística de Chi cuadrado (Cuadro 5); se determinó que ninguna de las variables tuvo asociación.

En el presente estudio, habría que considerar otras variables como hora del inicio y finalización de la carrera y día de arribo al lugar de la competencia.

Se usó estadística descriptiva (media, desviación estándar, coeficiente de variación y moda) de las diferencias del eritrograma (Cuadro 6) y se analizaron en un análisis de varianza para un diseño desbalanceado (modelo lineal general).

Se determinó mediante un modelo lineal general que la variable de altitud incide en el resultado de la diferencia de hemoglobina pre y post competencia en los caballos. Al contrario, sexo ($P < 0.5805$), kilómetros recorridos ($P < 0.2881$) y velocidad promedio ($P < 0.8063$) poseen un valor no significativo excluyéndolos de cualquier efecto sobre hemoglobina (Cuadro 7).

- Altitud ($P < 0.0440$): Mientras más cercano a 1,000msnm los caballos tienen una diferencia de hemoglobina de 2g/dL. Mientras más se aleje de este nivel, la diferencia aumenta (Figura 1). A menor altitud, la diferencia

puede deberse a la deshidratación; se pierden electrolitos y agua por la sudoración provocada por el esfuerzo de la competencia. Las condiciones climáticas calurosas provocan una pérdida mayor de volumen plasmático; además la calidad de asistencia que reciben al llegar al campo base es importante.

Las condiciones que disminuyen el contenido de oxígeno de la sangre de los animales causan un incremento en la producción de hemoglobina y en el número de eritrocitos. Inversamente, las condiciones que incrementa el oxígeno de la sangre originan una disminución en la producción de hemoglobina y en la formación de glóbulos rojos. (Duke, 1981). Según Satué (2012), los caballos sujetos a altitudes altas tienen un conteo de glóbulos rojos, concentración de hemoglobina y hematocrito significativamente mayores a aquellos animales que viven en una altitud menor. Está considerado un mecanismo de compensación para el contenido bajo de oxígeno en el aire atmosférico que es proporcionalmente reducido a la altitud. Sin embargo, este proceso de adaptación dura varios días, por lo que el incremento de la hemoglobina de los caballos en altitudes altas pudo haber sido provocado por la poca percepción de la deshidratación subclínica de los caballos de parte del equipo de asistencia y por ofrecerle agua fría, ya que se ha observado que los caballos prefieren el agua al tiempo.

Se determinó mediante un modelo lineal general que la altitud está asociada con la diferencia de la concentración de hemoglobina corpuscular media (CHbCM) pre y post competencia en los caballos. Al contrario, sexo ($P < 0.3478$), kilómetros recorridos ($P < 0.0695$) y velocidad promedio ($P < 0.0670$), no son significativos (Cuadro 7).

- Altitud ($P < 0.0162$): a menor altura sobre el nivel del mar, la diferencia de la cantidad de CHbCM es mayor (Figura 2).

Se determinó mediante un modelo lineal general que la altitud está asociada con la diferencia del conteo de glóbulos rojos pre y post competencia en los caballos ($P < 0.0317$) (Cuadro 7). A una altitud diferente a 1,000msnm se obtiene una diferencia aproximadamente de 2 millones y mientras es cercano a 1,000msnm la diferencia es de 1.4 millones de glóbulos rojos (Figura 3). Al contrario, sexo ($P < 0.7921$), kilómetros recorridos ($P < 0.0925$) y velocidad promedio ($P < 0.1351$), no son significativos.

Se determinó mediante un modelo lineal general que la variable de kilómetros recorridos incide en el resultado de las diferencias de hematocrito pre y post competencia en los caballos. Las variables de sexo, altitud y velocidad promedio no inciden sobre hematocrito (Cuadro 7).

- Kilómetros recorridos ($P < 0.0060$): la diferencia del hematocrito pre y post competencia es directamente proporcional a la cantidad de kilómetros recorridos (Figura 4). Según Satué (2012), el caballo puede almacenar, estando en descanso, entre 6 y 12 litros de sangre ricos en células rojas. Grandes cantidades de eritrocitos pueden ser secuestrados temporalmente desde el bazo para ser transportados a la circulación como respuesta a excitación y ejercicio intenso. Dependiendo de la intensidad del ejercicio, habrá distintos efectos en el hemograma. La mayoría de los estilos de ejercicio dan como resultado la movilización de los eritrocitos esplénicos y por lo tanto, un aumento en la capacidad de transportar oxígeno. Según Persson y Lydin, se estimó que el bazo puede almacenar hasta la mitad del volumen total eritrocitario. La liberación de los eritrocitos esplénicos al sistema circulatorio está influenciado por las catecolaminas. Esta compensación de eritrocitos durante el ejercicio incrementa el transporte de O_2 y por consiguiente la capacidad aeróbica del caballo. Se piensa que es la primera razón del volumen máximo de oxígeno del caballo (Vo_2max)

siendo más alto que el de otras especies (Rose, Allen; 1985). Además, la termorregulación durante el ejercicio en los caballos puede resultar en una gran pérdida del volumen de líquidos (sudor hipertónico) (Hodgson et al, 2013). Esto da como resultado un aumento del hematocrito debido a la deshidratación.

Se determinó mediante un modelo lineal general que la variable de altitud incide en el resultado de la diferencia de volumen corpuscular medio pre y post competencia en los caballos. Las variables de sexo, altitud y velocidad promedio no inciden sobre ello (Cuadro 7).

Mediante el coeficiente de correlación de Pearson se determinó que existe una correlación positiva entre la diferencia del hematocrito pre y post competencia con kilómetros recorridos ($P < 0.0035$) debido a la esplenotomía y/o deshidratación (Cuadro 8).

A la vez, se determinó la correlación positiva entre la diferencia del volumen corpuscular medio pre y post competencia con la velocidad promedio ($P < 0.0368$) (Figura 5). Y también se encontró una correlación positiva entre la diferencia de la concentración de hemoglobina corpuscular media pre y post competencia con la altitud ($P < 0.0371$) (Cuadro 8).

Se analizaron los cambios cuantitativos de cada variable del eritrograma pre y el eritrograma post competencia (Cuadro 9). Se presentaron dos comportamientos repetitivos: el primero (23% de los individuos muestreados) evidencia cambios causados por la deshidratación, esto es debido a que todas las variables del eritrograma (hematocrito, hemoglobina, conteo de glóbulos rojos, VCM y CHCM) aumentaron al finalizar la competencia; el segundo (32% de los individuos muestreados) representa cambios positivos en todas las variables excepto una; el volumen corpuscular medio disminuyó.

Este segundo comportamiento también pudo haber sido causado por la deshidratación, donde la presión hidrostática y coloidosmótica de la sangre disminuyeron el VCM al tener un gradiente de concentración mayor que el de los glóbulos rojos.

El razonamiento ha sido que si un caballo tiene un recuento bajo de eritrocitos, entonces no va a ser capaz de transportar oxígeno al músculo que trabaja tan eficientemente como el de un caballo con un alto recuento de eritrocitos. Aunque esto puede ser cierto en casos extremos, se debe recordar que el eritrocito es sólo una parte de la compleja cadena de transporte de oxígeno. Condiciones tales como obstrucciones parciales del tracto respiratorio superior y las enfermedades pulmonares pueden disminuir la cantidad de oxígeno suficiente que llega a los alvéolos; además, el oxígeno en el aire atmosférico es proporcionalmente inverso a la altitud; y disminuciones en pH sanguíneo o aumentos de la temperatura o la concentración de 2,3 difosfoglicerato (DPG) desplaza la disociación de la oxihemoglobina hacia la derecha, disminuyendo el grado de saturación de oxígeno, aunque el número de eritrocitos total puede no haber cambiado. Finalmente, al nivel del músculo de trabajo, donde se desvía la mayoría del flujo de sangre durante el ejercicio, el grado de desarrollo capilar afectará la cantidad de oxígeno que puede ser absorbido por los tejidos. Por ello, la cantidad de glóbulos rojos no indica necesariamente el grado de resistencia de los caballos (Rose, Allen;1985).

En este estudio, no se pudo comprobar una hemólisis significativa en ninguno de los casos.

VI. CONCLUSIONES

Para las condiciones del presente estudio se pudo concluir:

- Existe diferencia estadísticamente significativa entre los valores de hematocrito ($P > 0.001$), valor de hemoglobina ($P > 0.001$) y conteo de glóbulos rojos ($P > 0.001$) pre competencia con post competencia en caballos de competencia de Endurance.
- No existe diferencia estadísticamente significativa entre los valores del volumen corpuscular medio ($P > 0.82$) y concentración de hemoglobina corpuscular medio ($P > 0.27$) con post competencia en caballos de Endurance.
- No se pudo determinar una asociación estadísticamente significativa ($P > 0.5$) entre el grado de resistencia (rendimiento, velocidad promedio y capacidad para terminar la carrera) con el eritrograma pre y post competencia (hematocrito, valor de hemoglobina e índices de glóbulos rojos) en caballos de Endurance.
- No hay correlación ($P > 0.05$) entre el sexo con el eritrograma pre y post competencia (rendimiento, velocidad promedio e índices de glóbulos rojos) y el grado de resistencia (rendimiento, velocidad promedio y capacidad para terminar la carrera) en caballos de Endurance.
- Hay correlación estadísticamente significativa ($P < 0.05$) entre la altitud del lugar de las competencias con el eritrograma pre y post competencia (valor de

hemoglobina, concentración de hemoglobina corpuscular media y volumen corpuscular medio) en caballos de Endurance.

- No hay correlación ($P > 0.05$) entre la altitud del lugar de las competencias con el grado de resistencia (rendimiento, velocidad promedio y capacidad para terminar la carrera) en caballos de Endurance.
- Hay correlación estadística significativa ($P > 0.006$) entre los kilómetros recorridos con la diferencia de hematocrito pre y post competencia en caballos de Endurance.

VII. RECOMENDACIONES

- Realizar un estudio sobre los cambios hematológicos durante el entrenamiento de los caballos de Endurance para determinar si existe relación entre el número de horas de entrenamiento realizadas y el aumento de la concentración de hemoglobina corpuscular media.
- Realizar un estudio descriptivo de las características propias del caballo no evaluadas en este estudio, como edad y raza, y su relación con hematocrito post competencia.
- Realizar un estudio de los cambios del eritrograma, durante el entrenamiento y competencias, en un solo individuo a lo largo de un año.
- Realizar un estudio que determine por qué el volumen corpuscular medio (VCM) tuvo una disminución en el 32% de los caballos muestreados mientras los demás valores aumentaron.
- Brindar la hidratación adecuada al caballo competidor tanto en altitudes bajas como altas.

VIII. RESUMEN

En el presente estudio se obtuvieron muestras de sangre de 75 caballos en las siete competencias de Endurance a lo largo de un año, donde se evaluó el eritrograma pre y post competencia (hematocrito, valor de hemoglobina e índices de glóbulos rojos) de los caballos de Endurance de Guatemala y se asoció con el grado de resistencia (rendimiento, velocidad promedio y capacidad para terminar la carrera), con el objetivo de generar información sobre los cambios fisiológicos de los caballos competidores.

Para el análisis estadístico del eritrograma pre y post competencia, se utilizó la prueba de Wilcoxon; para el grado de resistencia con el eritrograma, sexo y altitud se utilizó la prueba de Chi cuadrado y coeficiente de correlación; para el eritrograma pre y post competencia con las variables de resistencia, altitud y sexo, se utilizó un modelo general lineal y correlación de Pearson.

Se encontró asociación entre los valores de hematocrito, valor de hemoglobina y conteo de glóbulos rojos pre competencia con post competencia; existe asociación entre el rendimiento y la concentración de hemoglobina corpuscular media (CHbCM) post competencia; existe asociación entre la altitud del lugar de las competencias con el eritrograma pre y post competencia; y se presenta asociación entre los kilómetros recorridos con la diferencia de hematocrito pre y post competencia en caballos de Endurance.

Se recomienda realizar un estudio sobre los cambios hematológicos durante el entrenamiento de los caballos de Endurance y velar por la hidratación del caballo competidor tanto en altitudes bajas como altas.

SUMMARY

In this study, blood samples were obtained from 75 horses in seven Endurance races over a year where it was evaluated the pre and post competition erythrogram (hematocrit, hemoglobin and red blood cell indices) of Endurance horses in Guatemala and was associated with the degree of resistance (performance, average speed and capacity to finish the race), with the aim of generate information about the physiological changes of competing horses.

For statistical analysis of the pre and post competition erythrogram, the Wilcoxon test was used; for the degree of resistance with erythrogram, sex and altitude, Chi square test and correlation coefficient was used; for the erythrogram pre and post competition with resistance, altitude and sex, general linear model and Pearson correlation was used.

Association was found between the values of hematocrit, hemoglobin and red blood cell count of the pre competition with post competition; association between performance and mean corpuscular hemoglobin concentration (CHbCM) post competition; association between the altitude with pre and post competition erythrogram; and association between the kilometers traveled with hematocrit pre and post competition in Endurance horses.

It is recommended to make a study about the hematological changes during training of the Endurance horses and ensure hydration of the competitor horse in both low and high altitudes.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Cardona, J. sf. Semiología Cardiovascular en equinos y bovinos. Escuela de Medicina Veterinaria. Universidad de Antioquia. Colombia. Consultado 21 oct. 2012. Disponible en <http://mvz.unipaz.edu.co/textos/biblioteca/semiologiacardiovascular-en-equinos-y-bovino1.pdf>

Cuenca, R; Pastor, J. 2006. Utilidad del hemograma en la clínica equina. Patología General y Médica. Facultad de Veterinaria. Universidad Autónoma de Barcelona. España. 17 p.

Deraga, D. 2007. El caballo y el deporte (en línea). Ensayos sobre deportes. Universidad de Guadalajara. México. Consultado 20 mar. 2014. Disponible en <http://148.202.18.157/sitios/publicacionesite/ppperiod/esthom/esthompdf/esthom23/7.pdf>

Dukes, H; Swenson, J. 1981. Fisiología de los animales domésticos. México. 1863p.

Federación Ecuatoriana de Deportes Ecuestres (FEDE). 2012. Reglamento de Endurance ecuestre (en línea). Ecuador. Consultado 20 mar. 2014. Disponible en http://www.fede.ec/Disciplinas/Endurance/Reglamentos/REGLAMENTO_DE_ENDURANCE_1_feb_ECUESTRE_DEF.pdf

Federación Ecuestre Internacional. 2009. Rules for Endurance Events (en línea). Consultado 22 oct. 2012. Disponible en http://www.fei.org/sites/default/files/Endurance_rules_2009%20reviewed%20January%202011%20BLACK_0.pdf

Federación Ecuestre Internacional. 2012. About Endurance (en línea). Consultado 22 oct. 2012. Disponible en <http://www.fei.org/disciplines/endurance/aboutendurance>

Hinchcliff, K; Geor, R.; Kaneps, A. 2008. Fisiología del ejercicio equino- La ciencia del ejercicio del caballo atleta. Elsevier Health Sciences. China. 463p.

Hodgson, D; Harrington, K; McGowan, C. 2013. The Athletic Horse: Principles and Practice of Equine Sports Medicine. 2ª ed. Elsevier Health Sciences. Estados Unidos de América. 397p.

Gore, T. et al. 2008. Horse Owner's Veterinary Handbook. 3ª ed. Wiley Publishing. Estados Unidos de América. 686p

King, A; Ecker, G. A Systematic Method of Examination. The Horse Health Check. Consultado 21 oct. 2012. Disponible en http://www.equineguelph.ca/pdf/facts/Horse_Health_Check_description.pdf

Llorente, I. sf. Anestesia General en el Caballo. Hospital Clínico Veterinaria. Facultad de Veterinaria. Universidad Complutense de Madrid. Consultado 21 oct. 2012. Disponible en: <http://www.colvema.org/PDF/AnestesiaCab.pdf>

Ruiz, S.; Coy, P.; Pellicer, M.; Ramírez. 1995. Manual de prácticas de fisiología animal veterinaria. Universidad de Murcia. España. 135p.

Satué, K.; Hernández, A.; Muñoz, A. 2012. Factores fisiológicos en la interpretación de un perfil hematológico equino. Hematología- práctica y ciencia. Universidad de Córdoba. España. Consultado 11 mar. 2014. Disponible en <http://www.intechopen.com/download/get/type/pdfs/id/31178>

Swenson, M; Reece, W. 2007. Fisiología de los animales domésticos de Dukes. Limusa Ed. 2ª. México. 925p.

The Old Dominion Endurance Rides. sf. ¿Qué es el endurance? (en línea). Consultado 11 mar. 2014. Disponible en: <http://olddominionrides.org/EndurancePrimer/01.html>

Varela, M. 2012. Evaluación del descenso del rendimiento en caballos de deporte (en línea). Congreso Solidario Medicina Equina. Consultado 24 oct. 2012. Disponible en <http://revistas.ucm.es/index.php/RCCV/article/view/40076>

X. ANEXOS

1. CUADROS DE RESULTADOS

Cuadro 4 – Resultados de la prueba de Wilcoxon de valores hematológicos pre y post carrera

VALOR HEMATOLOGICO	VALOR WILCOXON DE PROBABILIDAD	SIGNIFICANCIA
Hematocrito	0.00 ($p \leq 0.05$)	Altamente significativa
Hemoglobina	0.00 ($p \leq 0.05$)	Altamente significativa
Glóbulos rojos	0.00 ($p \leq 0.05$)	Altamente significativa
Volumen Corpuscular Medio	0.82 ($p \geq 0.05$)	No significativa
Concentración Hemoglobina Corpuscular Media	0.27 ($p \geq 0.05$)	No significativa

Cuadro 5 – Resultados de la prueba de Chi²

Variable 1	Variable 2	Valor de probabilidad	Significancia
Hematocrito	Rendimiento	$p > 0.5$	No significativo
	Velocidad promedio	$p > 0.5$	No significativo
	Capacidad para terminar la carrera	$p > 0.5$	No significativo
Hemoglobina	Rendimiento	$p > 0.5$	No significativo
	Velocidad promedio	$p > 0.5$	No significativo
	Capacidad para terminar la carrera	$p > 0.5$	No significativo
Volumen Corpuscular Medio	Rendimiento	$p > 0.5$	No significativo
	Velocidad promedio	$p > 0.5$	No significativo
	Capacidad para terminar la carrera	$p > 0.5$	No significativo
Concentración de hemoglobina corpuscular media	Rendimiento	$p > 0.5$	No significativo
	Velocidad promedio	$p > 0.5$	No significativo
	Capacidad para terminar la carrera	$p > 0.5$	No significativo

Cuadro 6 – Estadística descriptiva de la diferencia del eritrograma pre competencia con post competencia según sexo

	Variable	Media	Desviación estándar	Coefficiente de variación	Moda
Femenino	Hematocrito	7.3	4.35	59.64	8
	Hemoglobina	2.42	1.57	64.98	3.9
	VCM	5.42	4.14	76.43	0.93
	CHbCM	3.65	3.85	102.55	0.83
Masculino	Hematocrito	6.31	4.49	71.23	8
	Hemoglobina	2.52	1.73	68.83	3.3
	VCM	7.85	8.05	102.53	4.84
	CHbCM	4.53	3.87	85.36	0.72

Cuadro 7 – Resultados de modelos lineales generales del eritrograma

Variable 1	Variable 2	Pr > F	Significancia
Dif Ht	Sexo	0.9414	No significativo
	Altitud	0.4085	No significativo
	Kms	0.0060	Altamente significativo
	Velocidad	0.1560	No significativo
Dif Hb	Sexo	0.9383	No significativo
	Altitud	0.0440	Significativo
	Kms	0.2881	No significativo
	Velocidad	0.1405	No significativo
Dif VCM	Sexo	0.0513	No significativo
	Altitud	0.0003	Altamente significativo
	Kms	0.8272	No significativo
	Velocidad	0.2524	No significativo
Dif CHbCM	Sexo	0.3478	No significativo
	Altitud	0.0162	Significativo
	Kms	0.0695	No significativo
	Velocidad	0.0670	No significativo
Dif GR	Sexo	0.7921	No significativo
	Altitud	0.0317	Significativo
	Kms	0.0925	No significativo
	Velocidad	0.1351	No significativo

Cuadro 8 – Resultados de la prueba del coeficiente de Pearson para las diferencias del eritrograma con el grado de resistencia

Variable 1	Variable 2	Coeficiente de correlación	Resultado	Significancia
Diferencia de hematocritos	Sexo	-0.09914	0.3974	No significativo
	Altitud	0.01063	0.9279	No significativo
	Kilómetros recorridos	0.24501	0.0341	Significativo
	Velocidad promedio	0.09532	0.4160	No significativo
Diferencia de hemoglobinas	Sexo	0.02796	0.8118	No significativo
	Altitud	0.00375	0.9745	No significativo
	Kilómetros recorridos	0.21564	0.0632	No significativo
	Velocidad promedio	0.10369	0.3760	No significativo
Diferencia de CHbCM	Sexo	0.10096	0.3887	No significativo
	Altitud	0.24116	0.0371	Significativo
	Kilómetros recorridos	0.11321	0.3335	No significativo
	Velocidad promedio	-0.14217	0.2237	No significativo
Diferencia de VCM	Sexo	0.14903	0.2019	No significativo
	Altitud	0.10444	0.3725	No significativo
	Kilómetros recorridos	-0.07493	0.5229	No significativo
	Velocidad promedio	0.24156	0.0368	Significativo
Diferencia de GR	Sexo	-0.09603	0.4125	No significativo
	Altitud	-0.00918	0.9377	No significativo
	Kilómetros recorridos	-0.02267	0.8469	No significativo
	Velocidad promedio	0.16206	0.1648	No significativo

Cuadro 9 – Resultados del análisis de los cambios cuantitativos del eritrograma pre competencia con el eritrograma post competencia

No.	Ht	Hb	VCM	CHbCM	GR	Total
1	≈	↑	↓	↑	↑	2
2	≈	↓	↑	↓	↓	1
3	↑	≈	↑	↓	↑	1
4	↑	≈	↑	↓	↓	1
5	↑	≈	↓	↑	↓	3
6	↑	≈	↓	↓	↑	1
7	↑	↑	≈	↑	↑	1
8	↑	↑	↑	↑	↑	17
9	↑	↑	↑	↑	↓	2
10	↑	↑	↑	↓	↑	5
11	↑	↑	↑	↓	↓	1
12	↑	↑	↓	≈	↓	1
13	↑	↑	↓	↑	↑	24
14	↑	↑	↓	↑	↓	2
15	↑	↓	↑	↑	↓	1
16	↑	↓	↑	↓	↑	4
17	↓	≈	≈	↑	↓	1
18	↓	≈	↑	↑	↓	2
19	↓	↑	↑	↑	↓	1
20	↓	↑	↓	↑	↑	2
21	↓	↓	↓	↓	↑	2

75

Cuadro 10 – Resultados hematológicos y de rendimiento encontrados en los 75 caballos junto con sexo, altitud del campo base y kilómetros recorridos.

NO.	SEXO	ALTITUD	KMS	ERITROGRAMA										RESISTENCIA					
				HT		HB		VCM		CHCM		GR		TERMINÓ	VELOCIDAD X	RENDIMIENTO			
				ANTES	DESPUÉS	ANTES	DESPUÉS	ANTES	DESPUÉS	ANTES	DESPUÉS	ANTES	DESPUÉS						
Carrera 1			940msn	80	45	37	17	17	36.2	31.7	37.3	45.9	12.4	11.7	SI	10.9	2		
				2	F	50	31	49	12	16	38	48	39	32.7	8.16	10.2	SI	17.8	2
				3	F	50	33	41	11	13	34.9	30.7	31.8	32.2	9.45	13.4	SI	14	2
				4	M	50	36	45	12	13	51.9	58.4	34.2	28.9	6.94	7.71	SI	12.2	2
				5	M	50	34	42	12	14	54.8	41.6	34.7	32.9	6.2	10.1	SI	12.9	3
				6	M	50	37	41	13	14	53.6	48	34.9	33.7	6.9	8.54	SI	12.6	2
				7	F	50	33	43	12	15	56.7	51.9	35.2	34.9	5.82	8.28	SI	17.8	2
Carrera 2			29msnm	80	38	46	12	14	40	39.3	30.5	29.8	9.5	11.7	NO	8.86	4		
				9	F	80	39	46	13	14	53.4	57.5	33.1	30.7	7.3	8	NO	18.6	2
				10	M	80	35	43	12	13	46.7	56.6	34.3	30.5	7.5	7.6	SI	10.9	2
				11	M	80	36	46	12	14	56.3	41.8	33.1	29.4	6.4	11	SI	17	3
				12	M	80	45	46	15	14	48.9	54.1	32.7	30	9.2	8.5	NO	14	3
				13	M	40	44	42	14	14	37.3	37.4	32.1	33.6	11.8	11.2	SI	12.7	3
				14	M	40	41	44	12	15	56.9	58.7	29.5	34.8	7.2	7.5	SI	11.6	3
				15	M	40	32	40	11	13	47.1	51.3	33.1	31.8	6.8	7.8	SI	13.2	1
				16	M	40	35	37	12	13	40.7	46.3	34	34.3	8.6	8	SI	12.3	4
				17	F	40	41	43	13	13	51.3	37.1	31.2	30.2	8	11.6	SI	12.6	4
Carrera 3			09msnm	120	37	47	12	16	44.9	50.8	32.4	33.2	8.24	9.25	NO	12.1	4		
				19	M	120	39	39	12	15	47.8	47.4	31.4	39.5	8.06	8.23	NO	13.5	4
				20	M	120	38	49	13	17	41.4	46.6	33.2	33.9	9.17	10.5	SI	14.4	4
				21	M	120	40	41	13	17	50.4	38.3	32.3	40.7	7.94	10.7	NO	17.3	3
				22	M	120	38	44	11	15	44.9	49.2	30	33	8.46	8.94	NO	16.7	3
				23	F	120	39	52	12	15	51.5	48.2	30.8	29.4	7.58	10.8	NO	13.4	4

NO.	SEXO	ALTITUD	KMS	ERITROGRAMA										RESISTENCIA		
				HT		HB		VCM		CHCM		GR		TERMINÓ	VELOCIDAD X	RENDIMIENTO
				ANTES	DESPUÉS	ANTES	DESPUÉS	ANTES	DESPUÉS	ANTES	DESPUÉS	ANTES	DESPUÉS			
Carrera 3		09msnm	120	37	46	11	14	44.3	50.2	29.7	30.4	8.36	9.16	SI	14.3	3
			120	45	51	16	15	47.9	53.2	34.9	29.6	9.4	11	NO	15	4
			80	39	43	13	14	48.6	42.1	33.1	32.6	8.03	9.59	SI	10.5	4
			80	41	49	13	17	44.7	45.3	31.5	34.5	9.17	10.2	NO	17.5	2
			80	44	42	9.8	14	55.1	49.8	22.5	33	7.89	10.8	NO	14.7	3
			80	40	53	12	19	48.2	54.1	30.6	36	8.2	8.34	SI	13	2
			80	42	47	13	11	45.6	46.5	30.7	22.3	9.21	9.8	SI	11	2
			80	41	44	13	18	47.8	53.8	32.4	40	8.48	10.1	SI	10.6	3
			80	40	48	13	19	48.8	49.1	31.8	38.5	8.2	8.18	SI	10.5	3
			80	42	51	13	14	50.5	46.1	31.4	26.7	8.32	9.77	NO	12.2	4
Carrera 4		09msnm	120	37	43	12	14	50.6	40.6	32.2	33.5	7.31	10.6	NO	13.8	3
			120	37	46	11	15	51.9	43.6	29.5	33	7.13	10.5	NO	16.6	4
			120	35	46	11	15	54.2	66.7	32	32.8	6.46	6.9	NO	16.6	2
			80	35	45	11	15	55.1	42.8	32	32.9	6.35	10.5	NO	13.8	4
			80	36	34	12	11	48.9	34.8	32.5	32.4	7.36	9.78	SI	15.2	3
			80	39	42	13	13	51	38.6	32.3	31.9	7.65	8.94	SI	11.4	2
			80	41	38	14	12	42.8	62.8	33.7	31.6	9.57	9.84	SI	15.2	2
			45	32	45	11	15	57.5	45.7	32.8	33.8	5.57	7.17	SI	12.6	3
Carrera 5		1061msnm	80	39	48	13	17	51.3	50.2	32.6	36	7.6	9.57	SI	10.6	4
			80	25	49	13	18	33	49.1	52	36.7	7.57	9.98	SI	13.9	2
			80	34	38	12	13	43.3	67	34.7	33.4	7.85	5.67	SI	13.3	3
			80	32	44	12	16	51.2	49.3	38.4	36.8	6.25	8.92	NO	15.4	4
			80	39	38	12	12	30.5	33.5	31.5	32.4	12.8	11.4	SI	15.6	2
			40	39	44	13	16	43.7	49.3	33.3	36.6	8.93	8.92	NO	14.1	2
			40	39	43	13	14	44.6	37.9	32.6	32.6	8.75	5.04	SI	15.4	2
			40	40	42	12	14	48.8	40.8	31	33.8	8.2	10.3	SI	14.9	2
			40	35	36	12	13	48.6	39.1	34.3	35	7.2	9.22	SI	15.3	2

		ERITROGRAMA												RESISTENCIA		
NO.	SEXO	ALTITUD	KMS	HT		HB		VCM		CHCM		GR		TERMINÓ	VELOCIDAD X	RENDIMIENTO
				ANTES	DESPUÉS											
Carrera 5		1061 m	40	37	38	13	15	73.1	42.1	35.1	39.7	5.06	9.02	SI	15.4	2
51	M		40	36	44	12	13	45.6	34.9	32.8	29.1	7.89	12.6	SI	15.4	2
52	M		40	34	24	12	13	53.9	28.4	34.1	52.9	6.31	8.44	SI	14.8	2
53	M		40	34	37	12	15	46.7	41.9	34.1	41.1	7.28	8.84	SI	14.6	1
54	M	1700msnm	60	40	48	12	18	54.3	56.1	29.8	36.9	7.37	8.55	NO	11.2	4
55	M		40	45	49	12	16	47.9	50.7	27.6	32	9.4	9.67	SI	11.8	2
56	M		40	45	41	13	15	42.5	47.3	28.7	35.9	10.6	8.67	SI	11.4	2
57	M		40	35	40	11	13	44.3	50.9	32	31.8	7.9	7.91	SI	11.6	1
58	M		40	42	42	6.6	8.1	50.4	50	15.6	19.2	8.33	8.4	SI	11.6	2
59	M		40	39	45	13	14	52.9	49.1	33.9	30	7.38	9.16	NO	10.6	4
60	M		40	37	49	8.3	15	49.7	49.7	22.4	29.8	7.45	9.87	SI	11.8	2
61	M		40	38	47	9.7	16	45	51.1	25.6	33.2	8.44	9.2	SI	11.4	2
62	M	940msnm	120	33	47	12	10	43.4	52.8	36.7	22.1	7.6	8.91	SI	11.2	3
63	F		120	30	41	13	13	35.7	48.2	41.7	31	8.4	8.51	NO	14.6	4
64	M		120	37	40	10	14	47.2	45.9	27.6	34	7.84	8.71	SI	13.7	2
65	M		80	32	39	10	8.4	34.4	35.3	31.6	21.5	9.31	11.1	NO	14.2	4
66	F		80	30	39	12	12	34.2	46.5	40.3	30.8	8.77	8.39	SI	13.2	2
67	M		40	36	38	11	9	48.5	50.1	30	23.6	7.43	7.59	SI	15	2
68	M		40	33	43	10	14	41.7	52.5	30.6	33.3	7.91	8.19	SI	18.6	2
69	M		40	38	42	9.8	14	56.1	51.1	25.7	33.3	6.77	8.22	SI	18.6	2
70	M		40	44	44	15	11	47.7	49.9	33.4	25.9	9.22	8.82	NO	15.7	3
71	M		40	34	36	10	12	49.1	48.5	30.6	33.9	6.92	7.42	SI	16.3	4
72	M	40	38	40	12	14	54.2	45.8	30.8	34	7.01	8.74	SI	14.2	1	
73	F	40	34	42	11	14	48.2	52.1	31.8	32.6	7.05	8.06	SI	17.1	3	
74	M	40	33	40	12	14	46.7	48.2	36.7	34.5	7.06	8.3	SI	18.7	2	
75	M															

2. FIGURAS DE RESULTADOS

Figura 1 – Comportamiento de la diferencia de la hemoglobina pre y post competencia según la altitud

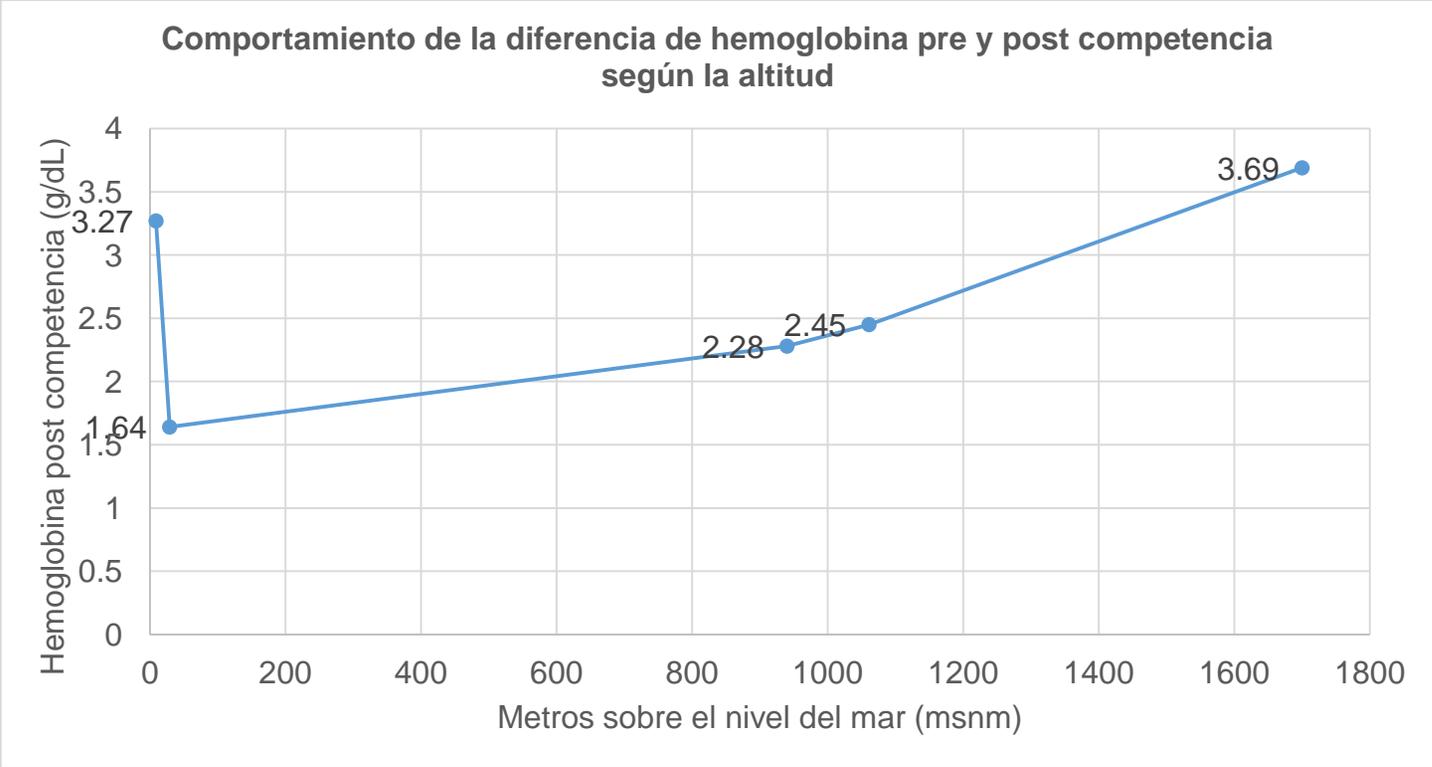


Figura 2 – Comportamiento de la diferencia de la concentración de hemoglobina media (CHbCM) pre y post competencia según altitud

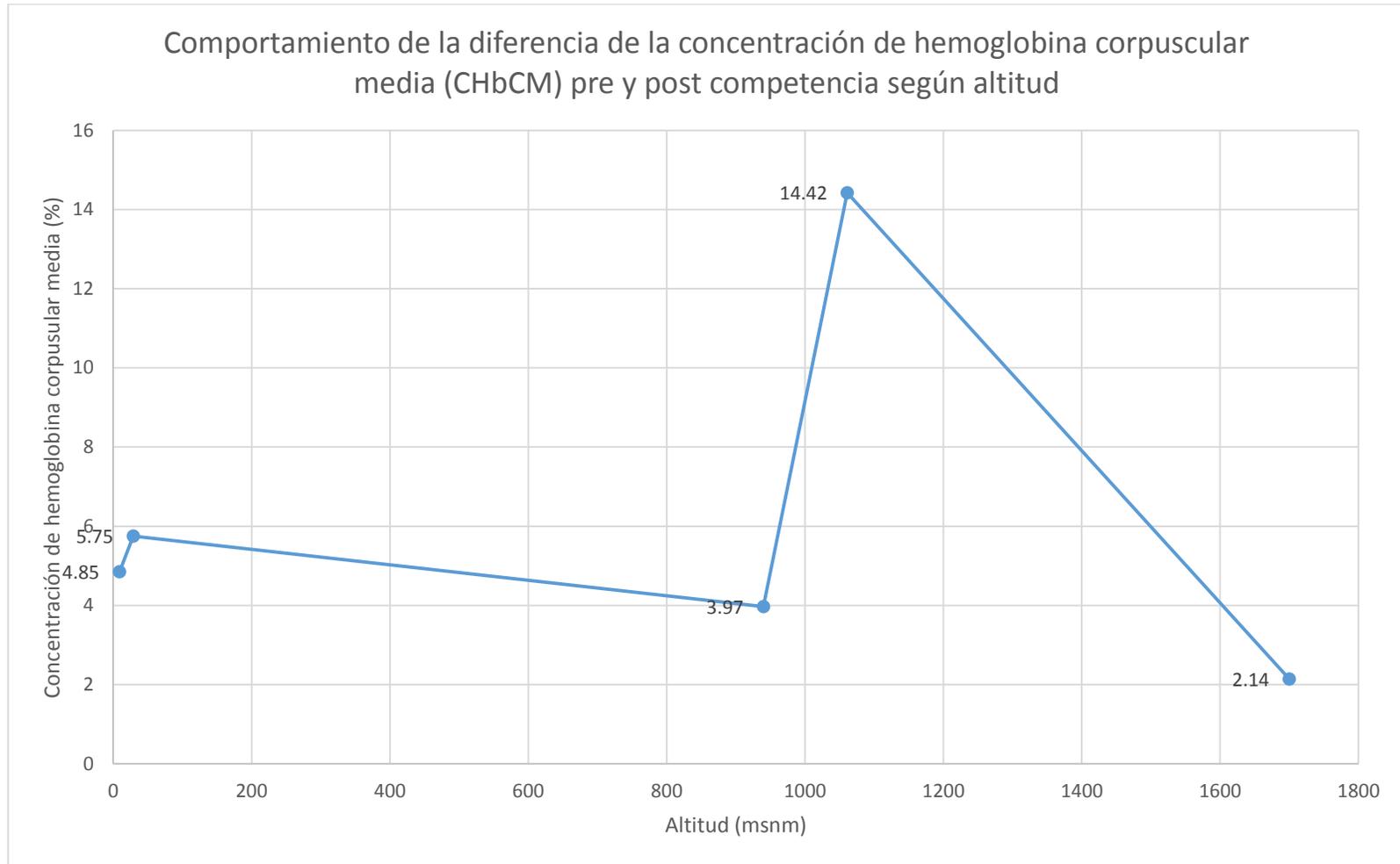


Figura 3 – Comportamiento de la diferencia de glóbulos rojos pre y post competencia según altitud

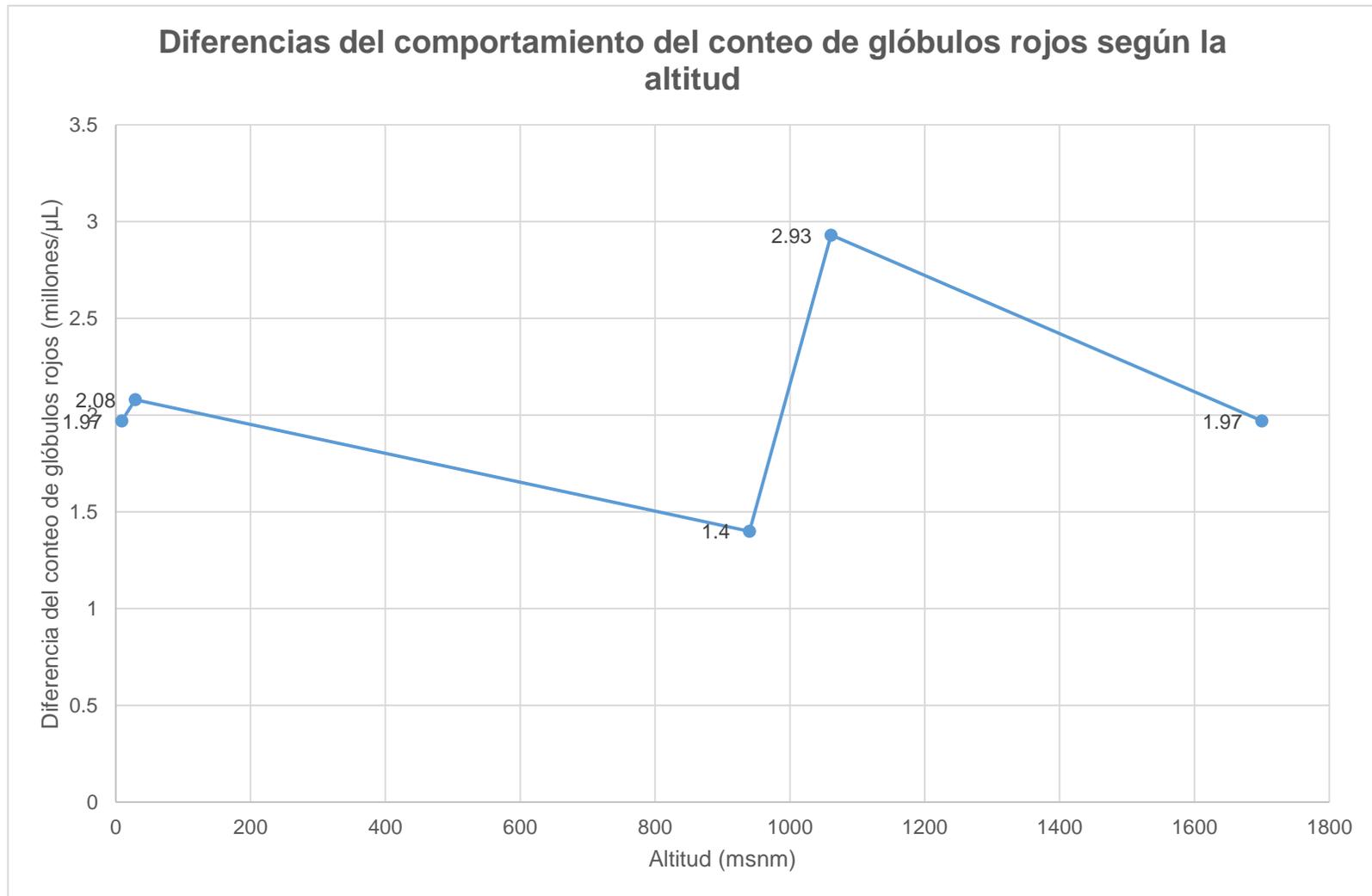


Figura 4 – Comportamiento de la diferencia del hematocrito pre y post competencia según los kilómetros recorridos

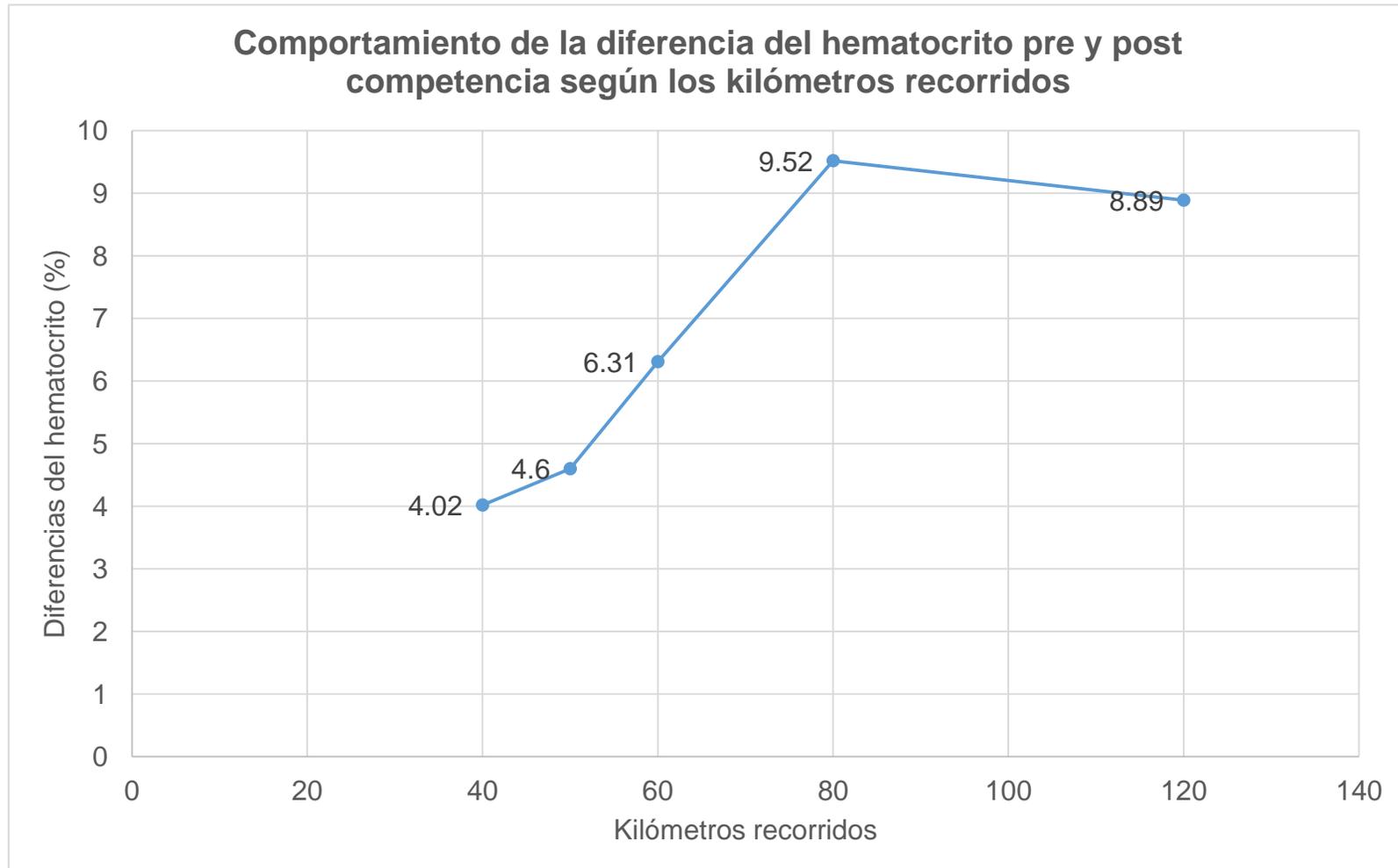


Figura 5 – Comportamiento de la diferencia del volumen corpuscular medio (VCM) pre y post competencia según altitud



3. HOJAS CARTOGRAFICAS DE CAMPOS BASE DE LAS CARRERAS DE ENDURANCE EN GUATEMALA DURANTE EL ESTUDIO

Figura 6 – Campo de grama, Parque Laguna El Pino, Barberena, Santa Rosa, Guatemala

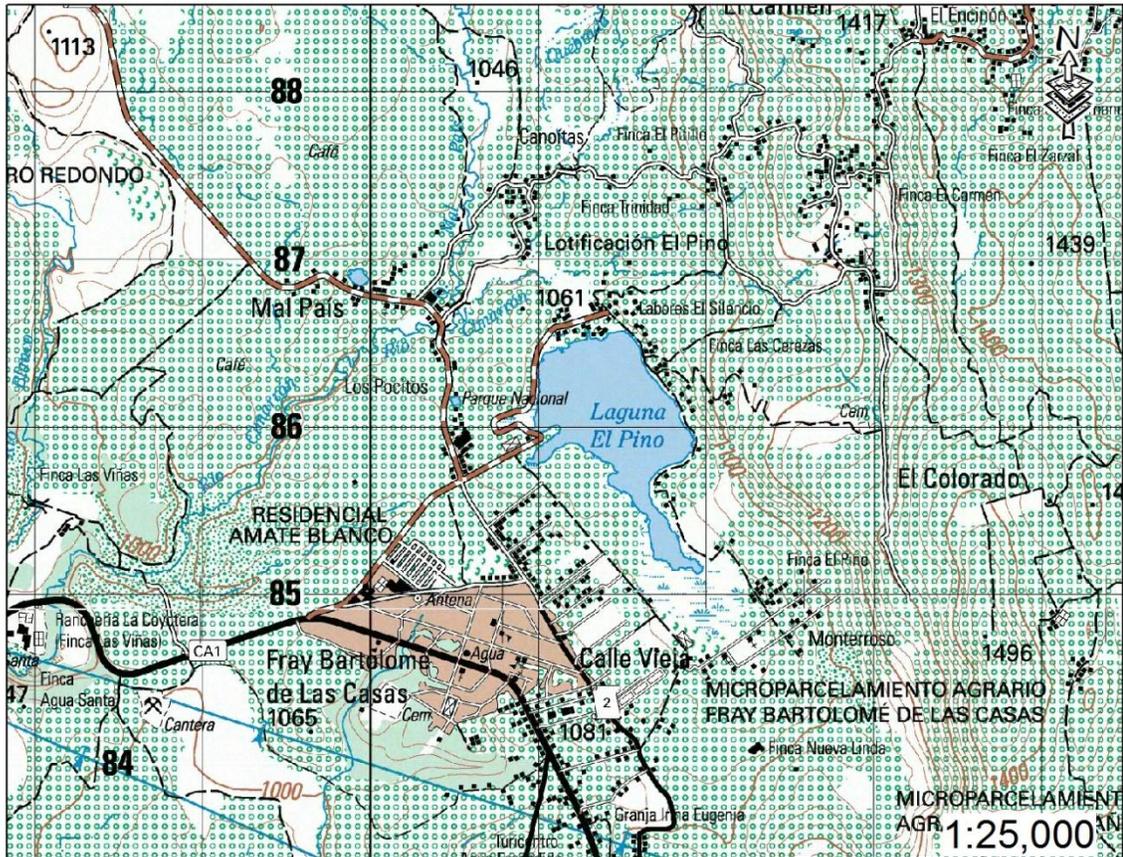


Figura 8 – Campo de grama, Taxisco, Escuintla, Guatemala

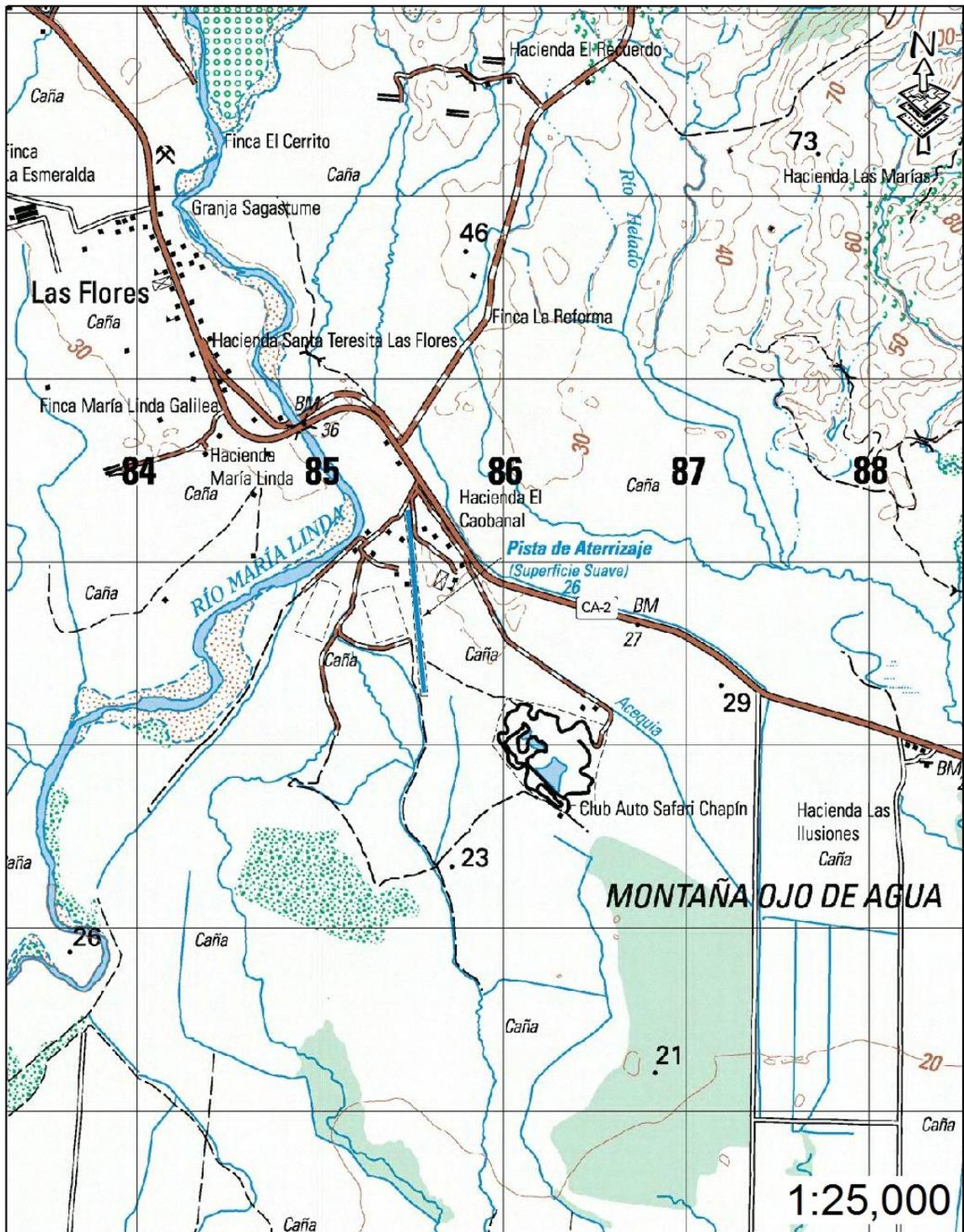
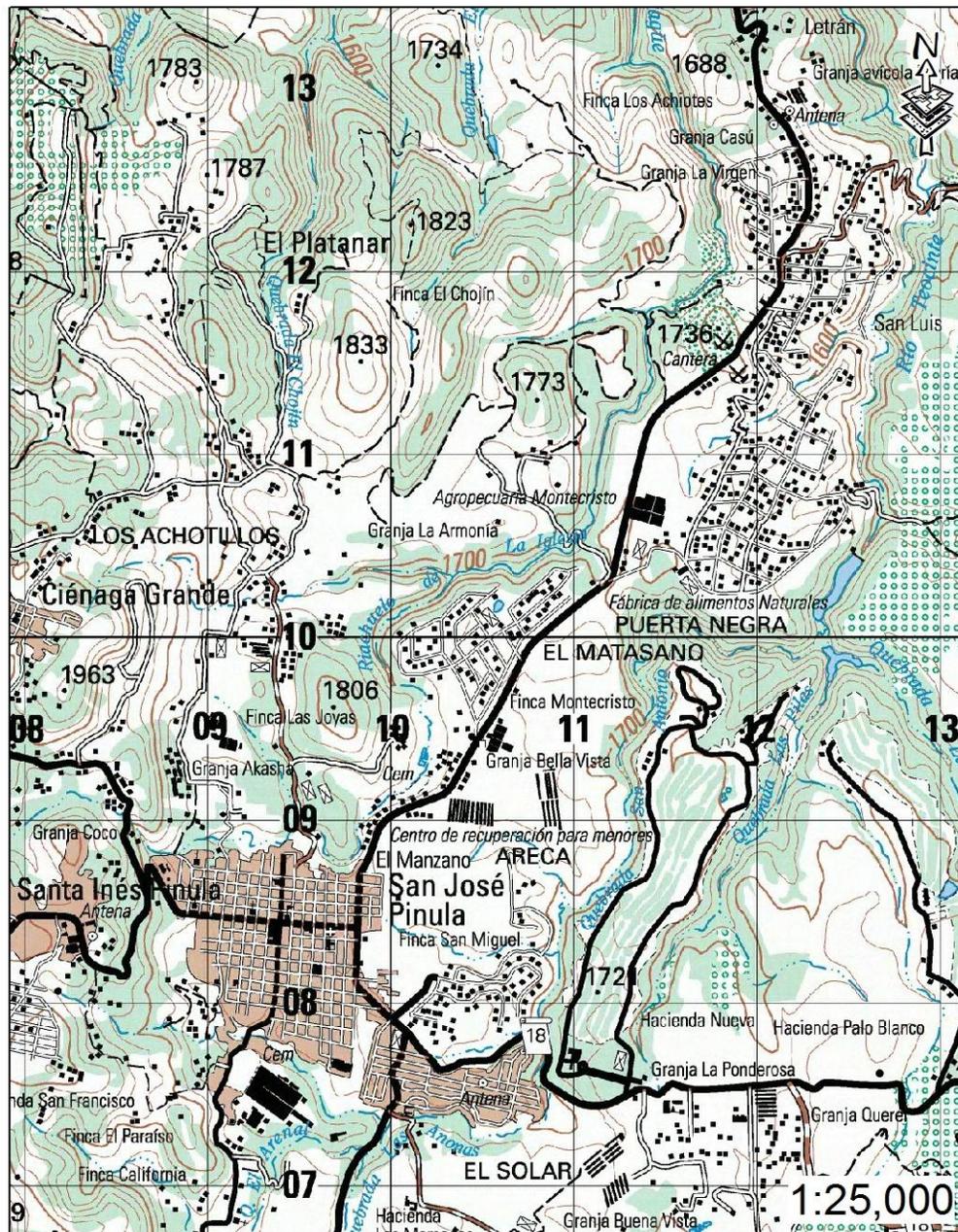


Figura 9 – Campo de grama, parque Motocross, San José Pinula km 28 carretera a Palencia, Guatemala, Guatemala



**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA
ESCUELA DE MEDICINA VETERINARIA**

**ASOCIACIÓN CLÍNICA DEL GRADO DE RESISTENCIA DE
CABALLOS DE COMPETENCIA DE ENDURANCE CON EL
ERITROGRAMA PRE Y POST-COMPETENCIA, Y ALTITUD DEL
LUGAR DE COMPETENCIA EN GUATEMALA**

f. _____
CLAUDIA MARIA LEHR MENDEZ

f. _____
M.A. Juan José Prem González
ASESOR PRINCIPAL

f. _____
M.V. Jorge Rafael Orellana Suárez
ASESOR

f. _____
M.A. Carlos Enrique Camey Rodas
ASESOR

f. _____
M.V. Carmen Grizelda Arizandieta
ASESOR

f. _____
MSc. Fredy González
EVALUADOR

IMPRÍMASE

f. _____
MSc. Carlos Enrique Saavedra Vélez
DECANO