



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES

CUAUTITLÁN

“Medición de la resistencia a la tensión del casco equino y su asociación con la
Función Zootécnica”

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
MÉDICO VETERINARIO ZOOTÉCNISTA

PRESENTA

OSWALDO CRUZ LEÓN

Asesores:

MSc. René Rosiles Martínez

M.C. Ubaldo Eduardo Márquez Amador

Cuautitlán Izcalli, Estado de México 2016



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

DEDICATORIA:

Este trabajo está dedicado en primer lugar a mis padres, quienes me han enseñado que ante la adversidad no podemos rendirnos. A ellos les debo la vida y mis logros pues sin su motivación no hubieran sido posibles.

A mi madre que me ha dado y enseñado más de lo que ella misma cree posible.

A mi padre que me ayudó a aventurarme lejos de casa y gracias a eso aprendí a superar retos que hasta ese momento no me creía capaz de enfrentar.

A mis hermanos, que a pesar de mi resistencia a ser comprendido han logrado entenderme y darme su apoyo y cariño.

A toda mi familia, que me mostro su interés y preocupación durante esta difícil pero satisfactoria etapa de mi vida.

A mis amigos, los que hice durante la carrera pues con ellos compartí angustias pero mayormente alegrías y, sobre todo, los que desde el CCJ han seguido a mi lado pues con ellos encontraba una salida del mundo veterinario cuando era necesario.

A Alexis mi compañera, amiga y pareja en este viaje, por su amor y motivación para seguir adelante.

A mis profesores pues gracias a sus enseñanzas hoy estoy llegando a mi vida profesional con satisfacción, pero sobre todo con la conciencia de que el aprendizaje nunca termina y que aún queda un gran camino por recorrer.

A todos ustedes.

AGRADECIMIENTOS:

Un agradecimiento especial a mi asesor, el Maestro René Rosiles Martínez por la confianza para llevar a cabo esta tesis y todo el apoyo recibido de manera personal y profesional.

También a mi co-asesor, el Maestro Ubaldo Márquez Amador, por su orientación, tiempo y dedicación para llevar a cabo este proyecto, desde luego también por las facilidades prestadas para el trabajo experimental.

Al MVZ Certf. Manuel Eduardo Morones Soto de la Unidad de Policía Metropolitana Montada del Distrito Federal por el apoyo y tiempo prestados para la toma de muestras

Al MVZ Roberto Solis Jakues quién facilitó las muestras procedentes del Hipódromo de las Américas.

Al Ingeniero Adrián Mancilla Velasco de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, por su apoyo en la medición y toma de datos de las muestras.

Al Biólogo Daniel Díaz de los Monteros por su apoyo en el análisis estadístico.

A todos los que me apoyaron en cada etapa de este proyecto:

Al Doctor Germán Lombardero Goldaracena, quien me encamino a este trabajo, me ayudo a comenzar a tomar en serio el realizar una tesis.

A los MVZ de la Policía Montada: Kono, Chávez, quienes durante mi servicio social me apoyaron y enseñaron la clínica practica en equinos.

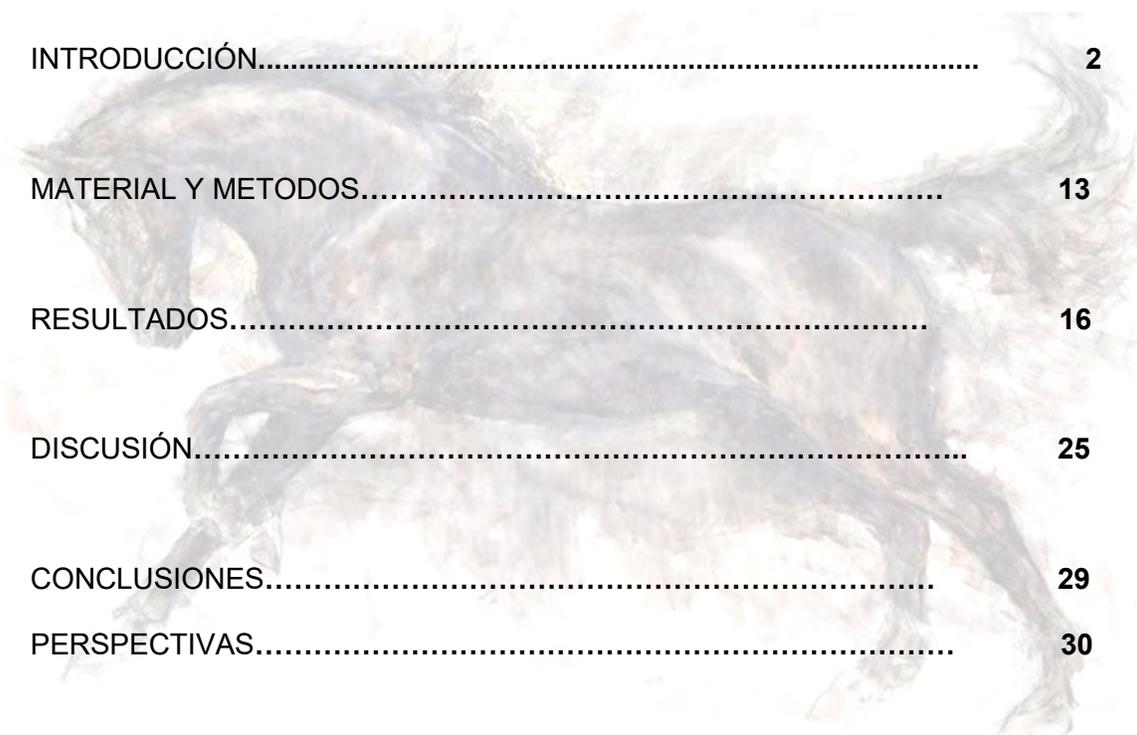
A la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, por siempre tener las puertas abiertas para aquellos que buscan el conocimiento.

A la facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la UNAM por el apoyo brindado.

III

CONTENIDO

	Página
RESUMEN.....	1
INTRODUCCIÓN.....	2
MATERIAL Y METODOS.....	13
RESULTADOS.....	16
DISCUSIÓN.....	25
CONCLUSIONES.....	29
PERSPECTIVAS.....	30
REFERENCIAS.....	31



IV





UNAM
CUAUTILÁN



I.-Resumen

CRUZ LEÓN OSWALDO. Medición de la Resistencia a la Tensión del casco Equino y su asociación con la función zootécnica (bajo la dirección de: MSc. René Rosiles Martínez e Ing. Ubaldo Eduardo Márquez Amador)

Debido a la poca información que actualmente existe en México con respecto a las propiedades físicas del casco equino, específicamente la resistencia a la fuerza de tensión, es importante comenzar a determinar los factores que actúan directa o indirectamente sobre estas propiedades, empezando en este trabajo por determinar la relación existente entre la resistencia a la tensión del casco y la función zootécnica que desempeñan los equinos.

Se realizó un estudio con 32 caballos, 10 procedentes del Hipódromo de las Américas y 22 de la Unidad de Policía Metropolitana Montada del Distrito Federal, tomando muestras del recorte de casco.

Los individuos se desempeñan principalmente en: vigilancia, reproducción, carreras y algunos se encuentran en etapa de doma y desarrollo.

Se encontró que una resistencia a la tensión alta está asociada principalmente con animales mayores de 7 años y con función reproductiva, una resistencia media está asociada a animales con edad menor a 3 años y dedicados a carreras, en etapa de doma y desarrollo.

El sexo de los individuos, así como el peso y lugar de procedencia parecen no influir en la resistencia a la tensión del casco.

II.-Introducción

La evolución del caballo es un tema fascinante y de crucial importancia a lo largo de la historia de la civilización humana. Los caballos han existido desde hace más de 50 millones de años, y han sido los herbívoros con más éxito en el planeta. Ellos son parte del Phylum Perissodactyla, y a lo largo de eones de cambio climático se han logrado adaptar de manera dramática hasta convertirse en el *Equus caballus*, uno de los animales que juega un papel de gran importancia para el desarrollo de nuestra civilización. La domesticación de estos animales comenzó hace aproximadamente 25 000 años conforme los caballos fueron desplazándose por el planeta. La asociación más antigua que se conoce entre el humano y el caballo fue la caza para alimentación (huesos de 40 000 esqueletos fueron encontrados en una sola fosa en Francia) (Jeffcott, 2011).

Durante miles de años, la humanidad ha utilizado a los caballos con diversos objetivos, tales como el suministro de alimentos, cueros, leche y fines terapéuticos; como bestias de carga en apoyo de la producción agrícola, transporte y fines militares; y con fines de ocio. En épocas más recientes, con el cambio en la dinámica de la población humana, el contexto económico y la cría caballar selectiva, los caballos se encuentran en todo el mundo. La población mundial caballar se estima en 58 millones, de los cuales un 60% son caballos de trabajo principalmente en los países en desarrollo, y una parte significativa del porcentaje restante se utiliza en las industrias hípica, ecuestre y de ocio (Murray, 2013)

Diez países en el mundo cuentan con una población equina superior a un millón de individuos: EE. UU (9 500 000), China (7 402 450), México (6 260 000), Brasil (5 787 249), Argentina (3 655 000), Colombia (2 533 621); Mongolia (2 029 100), Etiopía (1 655 383), Federación de Rusia (1 319 358) y Kazajstán (1 163 500). La Unión Europea tiene una población equina estimada en 6 millones (FAOSTAT, 2006).

Evolución funcional del miembro y el casco equino

¿Por qué tener un casco? La respuesta se tiene que poner en el contexto de los miembros, y como ellos se han adaptado para la locomoción durante la evolución del equino. Principios físicos han ejercido una considerable influencia en las adaptaciones especializadas del miembro equino durante la locomoción sobre praderas y planicies, y la estructura y funciones del casco son un reflejo directo de esta influencia. Debido a que el movimiento de la columna es restringido (comparado con los carnívoros corredores), la mayoría de estas especializaciones se han visto en los miembros, y el principio conductor detrás de su evolución fue la

conservación de energía durante el movimiento a alta velocidad o las considerables distancias recorridas durante la migración. Esto implica el aligerar los miembros sin comprometer completamente la fortaleza de los huesos y tendones. En un lado de la ecuación estaba el trabajo requerido para manejar la oscilación craneocaudal de los miembros durante cada zancada; y la repetida desaceleración y re-aceleración de los miembros, que es potencialmente costosa energéticamente. El principio para la reducción del trabajo necesario se manifestó con el relativo encogimiento de los huesos proximales del miembro, localizando la mayor parte de la musculatura que acciona a los miembros dentro del contorno del cuerpo. Esta conformación reduce el momento de inercia de los miembros y por lo tanto la energía para que funcione como un péndulo. El cambio en la postura ayudo a proteger los huesos contra los efectos adversos de las fuerzas aplicadas a ellos (un principio común en animales veloces o en mamíferos pesados) (Thomason,2009).

El casco del equino y sus componentes pueden clasificarse como apéndices de la piel; es fácil ver al casco del equino como una estructura de nivel "ortopédico" pero en realidad se encuentra mucho más relacionado a la piel que a los huesos (Knottenbelt, Leverhulme, 2011). Es también un único e interesante grupo de estructuras biológicas que se rigen por las leyes de la biomecánica, es, por definición, el tegumento que cubre el pie del equino (O' Grady, 2013), así como, un derivado de la piel altamente modificado. Está formado principalmente por 3 capas: perioplica, coronaria (cornea) y laminar, estas capas a su vez pueden identificarse como estrato externo, medio e interno respectivamente (Parks, 2012).

El casco está formado principalmente por queratina. La queratina se produce y almacena en las células basales de la epidermis (estrato corneo). A medida que nuevas células de queratina se forman estas se aplanan, formando algo parecido a tejas. Eventualmente pierden su núcleo y la mayoría de sus organelos, estas células planas de queratina quedan cubiertas por una matriz de azufre y tirosina. La proporción de la queratina y la matriz no filamentosa, la cual puede variar, es uno de los factores que determinan las propiedades mecánicas del casco, en otras palabras que tan fuerte es (Briggs, 2002).

Las células de queratina se organizan en largos túbulos, cada uno sobrepuesto y con un tejido conectivo, parecido a dedos, por debajo de estos túbulos. Histológicamente se puede observar un núcleo central rodeado de células de queratina formando una estrecha espiral concéntrica (figura 1). Este diseño permite a los túbulos deformarse y retomar su forma cuando el caballo soporta su peso en cada miembro. La forma tubular también ayuda al casco a repeler la humedad del ambiente (Briggs, 2002).

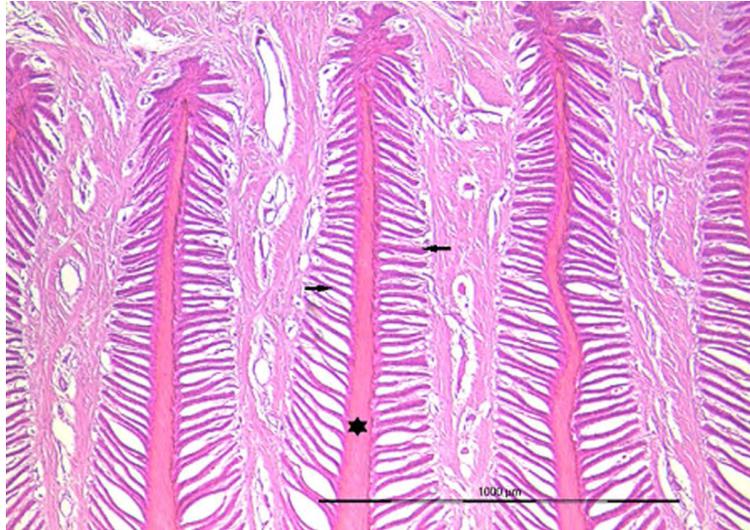


Figura 1. Estrato laminar del casco, mostrando las láminas epidérmicas primaria (asterisco) y secundaria (flecha), 1000 μm . Pesq. Vet. Bras. Morphometry of primary and secondary epidermal laminae in equine hoof. 34(1):79-82, janeiro 2014

Los estudios en un inicio sugirieron que la función de los túbulos era resistir las cargas compresivas. Trabajos más recientes sugieren que esos tubos proveen un refuerzo a la composición total de la estructura del casco. Este potencial refuerzo, proporciona a los túbulos la propiedad de ofrecer resistencia a las fisuras y fracturas de la muralla (Lancaster, Bowker, Mauer, 2013).

Las células de queratina generadas en las láminas crecen en dirección periférica y eventualmente se funden con las capas intertubulares producidas en la región coronaria (Briggs, 2002).

En algunos casos, los cascos de mala calidad son el resultado de una mal nutrición. En otros, el problema se encuentra en una incapacidad por parte del caballo para sintetizar nutrientes esenciales (Stashak, 2004).

Diversas condiciones provocadas por el ambiente, lesiones, negligencia o prácticas deficientes de herraje pueden causar cambios en la pared, suela, ranilla y/o tejidos de la banda coronaria. Estos cambios pueden estar relacionados también a factores físicos, infecciosos, neoplásicos o genéticos. Es difícil catalogar la variedad de condiciones que frecuentemente coexisten y muchas tienen una etiología común (Knottenbelt, Leverhulme, 2011).

Un casco de buena calidad es seco, duro y relativamente resistente; no es blando, esponjoso ni quebradizo. La mal nutrición, los defectos metabólicos, los ambientes insanos, el manejo inapropiado, la enfermedad, algunos fármacos y el trauma también pueden afectar a la calidad del casco (Stashak, 2004).

El suelo en el que se desplaza el caballo se opone a la carga mediante una fuerza opuesta. Esta fuerza ejercida sobre el casco por el piso es la fuerza de reacción (Parks, 2012).

Mecánicamente el casco tiene como finalidad, que mediante su posición, transfiera una gran proporción de la fuerza de reacción del suelo entre la pared del casco y el esqueleto (Douglas, Biddick, Thomason, Jofriet, 1998), es decir, modula las irregularidades en cargas aplicadas externamente y atenúa el impacto de su propio contacto con el suelo. Durante la fase de locomoción, la pared dorsal del casco se aplana, mientras que la porción dorso proximal de la pared rota caudoventralmente sobre el borde distal. Este movimiento posterior de la parte dorsal es acompañado por un movimiento abaxial de los cuartos y de los talones (Douglas, Mittal, Thomason, Jofriet, 1996).

La muralla está adaptada para soportar la carga del peso del caballo, la suela está adaptada para proteger los tejidos blandos internos y para la distribución del peso, y la ranilla y el tejido subcutáneo, que forma un cojinete digital (**Figura 2**), están adaptados para permitir la expansión del pie y amortiguar las vibraciones (Parks, 2012).

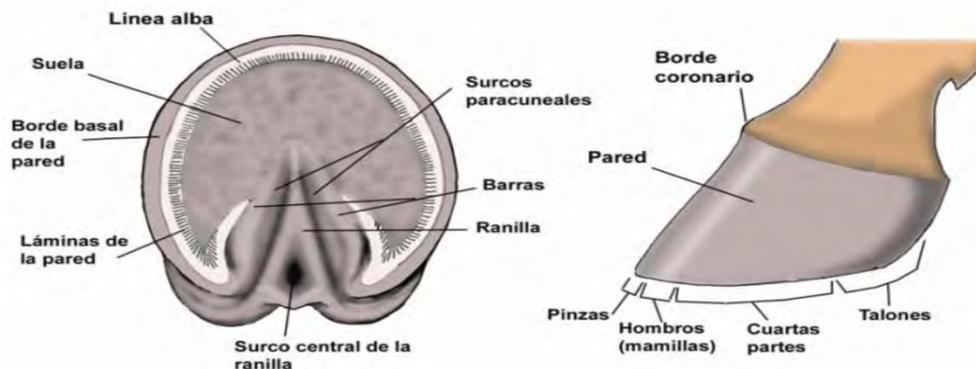


Figura 2. Imagen plantar y lateral del casco y sus partes (*imagen tomada de internet*).

En un casco normal, el estrato externo es denso y resistente, con un contenido de humedad del 15 al 20%. El estrato interno tiene un contenido de humedad del 45%. Los vasos sanguíneos y linfáticos presentes en la lámina dérmica proporcionan una humedad adecuada para el estrato interno. La humedad difunde hacia el exterior desde la lámina sensible húmeda en el interior, hasta la pared externa dura y seca. Cuando la sangre circula hacia y desde el casco, el equilibrio dinámico de la humedad está operando a su nivel óptimo. Cuando hay falta de

ejercicio o una enfermedad en el casco, un desequilibrio en el casco o una herradura mal adaptada la circulación puede interrumpirse hasta el punto de que el flujo sanguíneo no pueda aportar ya más la humedad. Un casco que está demasiado seco es inflexible y es ineficaz para absorber fuerzas de choque (Stashak, 2004).

El exceso de humedad debilita el material del casco. A menudo, las paredes blandas y de mala calidad del casco se "descascarillan" y se separan, produciendo la falta de una muralla sólida para soportar el peso del caballo o para sujetar una herradura fijada con clavos (Stashak, 2004).

La muralla juega un papel esencial en soportar la carga de peso. El peso del caballo se transmite hacia abajo a través del eje de los huesos de cada miembro hasta asentarse en la tercera falange. Pero la estrecha relación entre el corión (tejido conectivo; dermis), la almohadilla digital de la falange y la capsula del casco transfiere el peso del cuerpo a la muralla del casco. En esencia, el peso del cuerpo del caballo termina suspendido desde el interior del casco hacia el exterior, con la fuerza de reacción del suelo soportada por la muralla del casco (Briggs, 2002).

En un caballo herrado una parte del peso es relativamente cargado sobre el área del suelo que toca la herradura. En un caballo sin herrar que solo ha sido recortado y que se encuentra sobre suelo firme, la carga del peso se incrementa en comparación a uno no recortado y el contacto del suelo se incrementa sobre la ranilla pero no necesariamente se distribuye alrededor del perímetro del pie. (Parks, 2012).

La capa más externa del casco llamada capa perioplica es una lámina delgada de queratina esta recubre y actúa como una barrera, ayudando al casco a retener su balance interior de humedad y resistencia.

En la mayoría de los caballos la capa perioplica no se extiende hasta la parte inferior porque se va desgastando por la abrasión del suelo mientras el caballo se mueve (Briggs, 2002).

La fuerza vertical que se ejerce sobre la parte distal del miembro es considerable, se ha registrado que equivale a 1700 Newtons (N) (1.7 veces el peso corporal en un caballo que pesa 450kg a una velocidad de 14 m/s), y un caballo que aterriza sobre sus miembros a gran velocidad normalmente supera esta carga (Douglas, Biddick, Thomason, Jofriet, 1998).

Es importante tomar en cuenta la marcha natural del equino, la cual se divide en 3 formas o aires; paso, trote y galope. Esta ejerce una variación de cargas durante

sus diversas fases y el casco de cada miembro se ve afectado en diferente medida.

Paso

Es el aire más lento, con cuatro tiempos de igual duración y sin fase de suspensión. Dentro del paso hay cuatro modalidades: paso libre, paso medio, paso reunido y paso largo. Cada paso tiene la misma longitud y por lo menos dos extremidades tocan el suelo a la vez. La secuencia de las pisadas en el paso (empezando por el miembro posterior izquierdo) es: Posterior izquierda (PI), anterior izquierda (AI), posterior derecha (PD) y anterior derecha (AD). Es un aire marchado pues siempre hay 2 o 3 cascos apoyados en el suelo dependiendo del momento, y simétrico, porque el movimiento del bípodo diagonal izquierdo se repite de manera idéntica en el bípodo contrario. Se calcula que su velocidad media es de 6 a 7 km/h en un caballo de alzada media (Torres, 2013).

Trote

Es de dos tiempos, simétrico y saltado (en un momento determinado el caballo queda en suspensión, sin ninguna extremidad apoyada en el suelo). El caballo mueve el primer golpe con el anterior izquierdo y el posterior derecho apoyado simultáneamente en el suelo (diagonal izquierda), y el segundo con el anterior derecho y el posterior izquierdo tocando el suelo al unísono (diagonal derecha). Se calcula que la velocidad media del trote es de casi 15 km/h en caballos de alzada media (Torres, 2013).

Galope

Es el aire más rápido, el caballo se agota rápidamente ya que no tiene independencia respiratoria. Es el único aire asimétrico (tiene tres tiempos, durante el cuarto se encuentra en el aire en suspensión). Si galopa a extremidad torácica derecha, la secuencia será: extremidad pélvica izquierda, extremidad torácica izquierda y extremidad pélvica derecha a la vez, extremidad torácica derecha seguida de la suspensión. Se calcula que la velocidad media del galope es de aproximadamente 19 o 20 km/h en un equino de alzada media, aunque caballos entrenado para las carreras pueden alcanzar velocidades superiores (Torres, 2013).

Cuando el caballo se encuentra en movimiento el casco es expuesto a fuerzas que varían en su amplitud y frecuencia.

Podemos dividir el paso del caballo en: rompimiento, elevación, aterrizaje y apoyo.

A su vez podemos nombrar tres fases equivalentes: fase de impacto (aterrizaje), fase de apoyo y fase de levantamiento (rompimiento y elevación).

La fase de impacto, que dura 25 a 50 milisegundos, es adicionalmente subdividida en dos partes asociadas a dos choques. La primera es el impacto del miembro con el suelo, que solo dura unos pocos milisegundos, seguida de una segunda que es el impacto del peso del cuerpo y del miembro del caballo con el pie. Estos dos impactos se sobreponen en algún grado e implican una serie de oleadas de choque asociadas a la desaceleración del impacto (Parks, 2012).

El mecanismo que permite al casco absorber las fuerzas verticales está a cargo de la almohadilla plantar, cartílagos angulares y ranilla. El apoyo de la ranilla es la condición sinecuanon de los movimientos de elasticidad del pie normal. Es la expansión lateral de la almohadilla digital, comprimida entre la ranilla y el flexor profundo que ejerce, la fuerza excéntrica sobre los cartílagos y abre ligeramente los talones. La mayoría del peso corporal es soportada por el miembro anterior (56% en estación). A su vez son más frecuentes de ver patologías de pie en el miembro anterior que en el miembro posterior (Lightowler, 2003).

El apoyo fisiológico es definido como el apoyo natural que se produce en el caballo sano desarrollando andares equilibrados debiendo ser parejo en todo el borde periplantar (momento máximo de apoyo)

Las fuerzas verticales máximas que se aplican al pie sobre cada uno de los miembros anteriores son:

- ❖ Al paso 0,6 veces el peso corporal
- ❖ Al trote 0.9-1 veces el peso corporal
- ❖ Al galope 1,75 veces el peso corporal

Las presiones máximas debidas al apoyo, se ejercen a nivel del borde distal de la pared, no siendo iguales dichas fuerzas sobre toda la circunferencia de la pared (mayor en pinzas y talones).

En los andares rápidos, el pie apoya por los talones, y en los andares más lentos el apoyo se realiza de lleno en un solo golpe. La articulación interfalangica distal sufre una ligera flexión, justo antes de la pisada.

Los esfuerzos osteoarticulares son máximos en la fase de sostén y es en ese momento que se busca un aplomo correcto (Lightowler, 2003).

Las investigaciones que directamente se enfocan en entender la arquitectura funcional de las láminas del casco, sugieren que su estructura puede verse afectada por el estrés ambiental, aun sin que exista enfermedad. Los túbulos que

se encuentran a lo largo de la muralla del casco también se han examinado y se considera que sirven primordialmente para un rol mecánico.

Crecimiento del casco

Existe un compendio de literatura que indica que la calidad y la tasa de crecimiento del casco equino están influenciadas por deficiencias en la dieta o exceso en los niveles de proteína, minerales específicos, vitaminas o aminoácidos (Ley, Pleasant, Dunnington, 1998).

El rango de crecimiento y la calidad del casco pueden variar ampliamente entre individuos, así como las uñas de persona a persona.

La muralla del casco de un caballo adulto crece en un rango de 6 a 10 mm por mes. En la pinza, toma entre nueve y 12 meses para que el casco crezca desde la corona hasta el suelo; en las cuartas partes, de seis a ocho meses; y en los talones, cuatro a cinco meses. Tomando en cuenta la cercanía que cada parte tiene con el suelo.

La tasa de crecimiento del casco es considerablemente más rápida en caballos jóvenes que en adultos. El casco de un recién nacido, por ejemplo, crece a razón de 15 mm por mes. Mientras que en caballos adultos el crecimiento se vuelve más lento, con un crecimiento de aproximadamente 12 mm por mes.

Otros factores además de la juventud pueden afectar la tasa de crecimiento del casco en los caballos.

Considerando principalmente:

Temperatura ambiental – El frío de mediados de invierno tiende a disminuir el ritmo de crecimiento; este ritmo se acelera en primavera.

Humedad ambiental – Condiciones extremadamente secas retrasan el crecimiento.

Genética – Se sabe que algunas razas tienen una gran calidad en los cascos (Árabes y muchas razas de pony, por ejemplo), mientras que otras son reconocidas por normalmente tener cascos de calidad pobre (Pura sangre específicamente). Existe mucha variación entre las razas sin embargo el ambiente puede jugar un papel determinante.

Enfermedad y fiebre – Altas temperaturas corporales pueden retardar o deformar el crecimiento del casco muchos meses después, el caballo presenta "anillos febriles" en los cascos.

Lesiones en la banda coronaria – Cuando los tejidos germinativos se dañan, la porción de muralla de esa área puede dañarse también o crecer más lentamente.

Carga de apoyo compensatoria – Si un caballo sufre de una severa claudicación en uno de los miembros, tiende a disminuir su apoyo sobre ese miembro, el casco del miembro opuesto, que fue el que compenso el apoyo cargando el peso restante, crecerá más lento de lo normal. Esto también puede producir distorsiones en la capsula del casco.

Ejercicio – Cuando un caballo comienza con su entrenamiento para una tarea atlética, su tasa metabólica se incrementa y el crecimiento del casco se puede acelerar.

Nutrición – Este es un factor crucial a considerar, porque muchos de los elementos dietéticos necesitan estar presentes para que el crecimiento del casco sea de buena calidad. Si alguno de estos elementos no está presente posiblemente el crecimiento y calidad del casco será pobre.

La influencia de la dieta en el crecimiento del casco es sin duda objeto de interés en muchas investigaciones, sabemos que una dieta con deficiencias puede tener efectos adversos en el crecimiento del casco.

Algunos ingredientes en específicos pueden tener impacto en el crecimiento del casco. Por ejemplo, caballos que son alimentados con poca proteína tienen un crecimiento del casco más lento y tienden a producir un casco de baja calidad que es propenso a fracturas y desprendimientos (Briggs, 2002).

Aunque en realidad los únicos caballos propensos a esta deficiencia de proteína son los recién nacidos y en crecimiento.

El calcio es también un elemento crucial para el buen crecimiento del casco. El calcio es esencial de una célula con otra, y se piensa juega un papel en el estrecho ordenamiento de las células queratinizadas de los túbulos del casco.

Ningún otro nutriente ha recibido tanta atención en términos de calidad del casco como la biotina. La biotina se produce en el intestino del equino en suficiente cantidad para satisfacer las necesidades nutricionales, pero algunos caballos con cascos de pobre calidad aparentemente se benefician cuando se suplementan con esta vitamina.

Varios aminoácidos son también considerados nutricionalmente importantes para el crecimiento del casco. Metionina y Cisteina, en particular, han recibido atención considerable porque ambos contienen azufre, un elemento esencial en la

formación de queratina. Se cree que actúan en sinergia con la biotina pero más investigación es requerida.

Finalmente, el zinc es un mineral traza que está involucrado con la tasa de crecimiento y recuperación de todo el cuerpo del caballo.

Caballos con deficiencias de zinc presentan una división y crecimiento celular alterados, lo cual puede relacionarse con una menor capacidad de utilizar aminoácidos y azufre (Briggs, 2002).

Resistencia a la tensión

Existen distintos tipos de fuerzas o "esfuerzos" que se encuentran al tratar con las propiedades mecánicas de los materiales (figura 3). En general, se define el esfuerzo como *la fuerza que actúa por unidad de área sobre la que se aplica la fuerza*.

Los esfuerzos de tensión y de compresión son esfuerzos normales. Un esfuerzo normal surge cuando la fuerza aplicada actúa de manera perpendicular al área de interés. La tensión ocasiona una elongación en la dirección de la fuerza aplicada, mientras que la compresión ocasiona un acortamiento (Askeland, 2012).

Prueba de tensión

La prueba o ensayo de tensión mide la resistencia de un material a una fuerza estática o aplicada de manera lenta (figura 4).

El espécimen se coloca en la máquina universal de pruebas en la que pueden llevarse a cabo pruebas de tensión y de compresión.

El esfuerzo obtenido en la fuerza aplicada más alta es la resistencia a la tensión. Este valor es también conocido de manera común como la resistencia máxima a la tracción (Askeland, 2012).

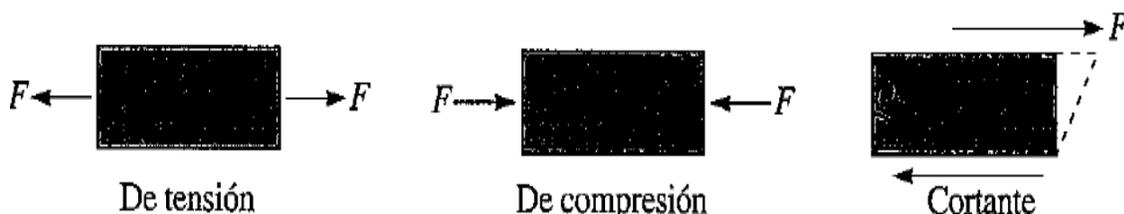


Figura 3. Esfuerzos de tensión, compresión y corte (Askeland, 2012).

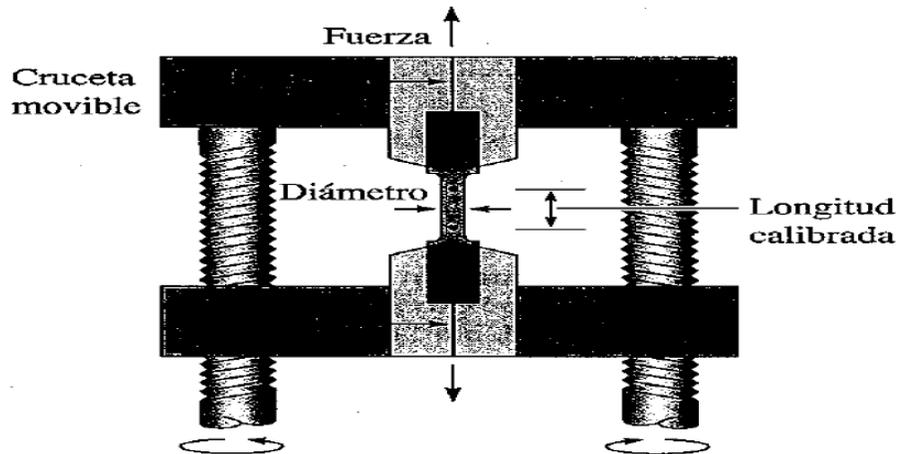


Figura 4. Prueba de tensión por medio de cruceta móvil (Askeland, 2012).

Hipótesis

La resistencia a la tensión del casco equino está asociada con: Función zootécnica, edad, sexo y peso, además de una posible predisposición individual.

Objetivo

Caracterizar la resistencia a la tensión del casco equino con base en la función zootécnica y algunas otras características propias del individuo.

Objetivos específicos

Correlacionar la resistencia a la tensión del casco equino con las características propias del individuo y su medio ambiente.

Contribuir a la base de datos de resistencia a la tensión del casco equino.

III.-Material y Métodos

Se utilizaron 32 caballos, 10 provenientes de las instalaciones del Hipódromo de las Américas y 22 pertenecientes a la Unidad de Policía Metropolitana Montada de la Secretaría de Seguridad Pública del Distrito Federal (ahora ciudad de México). Todos ellos con un rango de edad de 1 a 16 años, se utilizaron hembras y machos (enteros y castrados). Las hembras utilizadas no se encontraban gestantes o lactando durante el experimento. Las características particulares de cada caballo eran representativas de la función zootécnica. De cada individuo se extrajo una muestra de casco.

Las muestras de casco se obtuvieron de los recortes realizados de manera rutinaria a los caballos durante el herraje. En el caso de los potros de un año se tomaron de aquellos que comenzaban a presentar crecimiento excesivo, en todos los casos dando como resultado muestras de aproximadamente 1 cm de espesor.

Cada muestra se obtuvo del Miembro Anterior Izquierdo y específicamente se utilizaron las cuartas partes del casco y, se desechó la suela y la queratina blanda relacionada a esta.

Los recortes de casco se limpiaron y lavaron con agua corriente para retirar los restos de fango y excremento, y depositados en bolsas plásticas.

Para poder realizar la medición de la resistencia a la tensión de cada muestra fue necesario fragmentar los restos de casco con ayuda de unas pinzas de recorte de casco y alinear estos recortes con ayuda de un Dremel de carpintería.

Se obtuvieron fragmentos rectos de alrededor de 5 x 0.5 cm, a los cuales posteriormente se hizo una muesca en la parte central, con la ayuda del Dremel, de aproximadamente 2 mm de espesor (Fig. 5).



Figura 5. Las muestras se redujeron a fragmentos que facilitarán la medición de acuerdo a las de dimensiones de la Máquina Universal de pruebas.

La medición se realizó a las 48 horas posteriores a la toma de muestras.

Para la medición de las muestras se utilizó una **Maquina Universal de Pruebas Instron Modelo 4206** con una capacidad de medición de carga de 5 KiloNewtons (KN), y una velocidad de 2 mm / min (Fig. 6). Dicha maquina con ubicación en el **Laboratorio de Pruebas Mecánicas del Departamento de Diseño y Manufactura** en la **Facultad de Ingeniería** de la **Universidad Nacional Autónoma de México**.

Las muestras se colocaron entre dos mordazas mecánicas que tiraban cada una en dirección vertical opuesta, las muestras fueron sometidas a una fuerza de tensión que aumentaba de manera continua

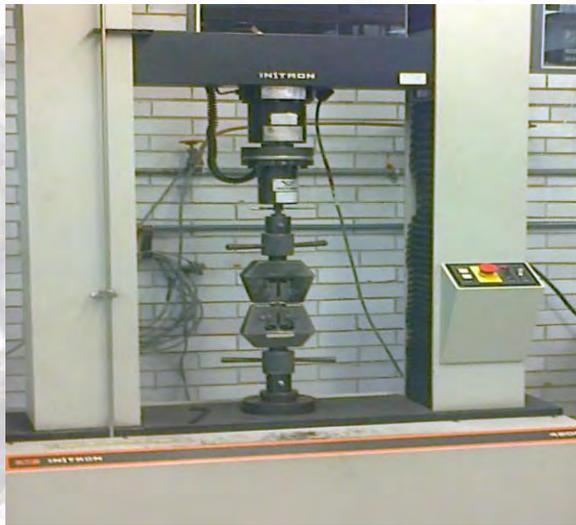


Figura 6. *Los fragmentos de muestra se colocan entre las mordazas de la maquina universal de pruebas.*

En el momento en que la muestra se fragmentaba, debido al estrés sometido, una computadora conectada a la máquina, registraba el punto máximo de fuerza ejercida en ese momento, así como la longitud máxima alcanzada por las muestras.

Los parámetros se podían obtener al finalizar cada prueba y la computadora mostraba en forma de tabla la reacción de la muestra ante la fuerza ejercida. Los datos se mostraron en KiloNewtons.

Se dividió la carga máxima a la ruptura de la muestra entre el área de la muesca de dicha muestra: $\text{Load at peak} / \text{Área} = \text{N} / \text{mm}^2$ de resistencia a la tensión.

Análisis estadístico

Para describir y comparar las variables evaluadas en este estudio se utilizó estadística descriptiva, pruebas de comparación de medias y análisis multivariado. La edad, el peso corporal y los valores de tensión de los cascos de los caballos provenientes del hipódromo y de la policía montada se compararon mediante una prueba *t* de Student a dos colas para dos medias independientes. Los valores de peso, edad y tensión se dividieron en tres categorías, las cuales se formaron a partir de los percentiles 33 y 66%. De esta forma, se generaron tres grupos de cada variable: valores bajos, < 33%; valores medios, 33-66% y finalmente, valores altos, > 66%. Para comparar los valores de tensión de los cascos para los grupos de edades y las categorías de peso y de función zootécnica se utilizó análisis de varianza (ANOVA) de una vía seguida de la prueba de comparación múltiple de Tukey. Adicionalmente, se realizó un análisis de regresión lineal simple para evaluar la existencia de una relación entre los valores de tensión vs. la edad o el peso. Para el ajuste se tomaron en cuenta los datos de ambos grupos.

Por último, se utilizó un análisis de correspondencia múltiple para evaluar la asociación entre las categorías de las variables, la función zootécnica que desempeñan los animales y el sexo. Dicho análisis es una técnica multivariada que busca definir grupos de variables categóricas que tengan una asociación estrecha entre sí. De esta forma, una manera fácil de interpretar los resultados de esta técnica de reducción de dimensiones es a partir de las nubes de datos que se asocian espacialmente en una representación de tipo *x*, *y*; las categorías de las variables que estén más cercanas entre sí presentan la mayor fuerza de asociación, es decir; están correspondidas.

IV.-Resultados

Cuadro 1

*Características individuales de cada muestra (sexo, edad, raza, *peso calculado, función zootécnica y procedencia) con los resultados de las pruebas de tensión presentados en Newton por milímetro cuadrado (N/mm²).*

Muestra	Sexo	Edad	Raza	Peso Kg	Función Zoot.	Resistencia N/mm2	Procedencia
1	ME	3	PSI	480	Carreras	21.40234307	Hipodromo
2	ME	3	PSI	450	Carreras	28.08349146	Hipodromo
3	H	4	PSI	450	Carreras	17.69471577	Hipodromo
4	H	3	PSI	450	Carreras	19.16627401	Hipodromo
5	ME	3	PSI	450	Carreras	18.50011127	Hipodromo
6	ME	3	PSI	450	Carreras	14.98688647	Hipodromo
7	ME	3	PSI	480	Carreras	10.63849818	Hipodromo
8	H	5	PSI	450	Carreras	17.18824087	Hipodromo
9	ME	3	PSI	470	Carreras	26.73997678	Hipodromo
10	ME	3	PSI	480	Carreras	25.8991489	Hipodromo
11	MC	16	Azteca F	450	Vigilancia	44.1319	UPM Montada
12	ME	15	Lusitano	480	Reproducción	25.6464	UPM Montada
13	ME	7	Azteca	500	Reproducción	26.0816	UPM Montada
14	MC	11	Criollo	480	Vigilancia	26.6961	UPM Montada
15	H	1	Azteca	250	Desarrollo	21.9911	UPM Montada
16	H	13	Criollo	450	Vigilancia	21.1812	UPM Montada
17	MC	7	Criollo	450	Vigilancia	25.1044	UPM Montada
18	ME	13	Azteca F	500	Reproducción	21.8189	UPM Montada
19	H	1	Azteca	250	Desarrollo	45.7142	UPM Montada
20	ME	15	Azteca F	480	Reproducción	5.4459	UPM Montada
21	H	12	PSI	500	Reproducción	30.6476	UPM Montada
22	MC	7	Criollo	500	Salto	9.7309	UPM Montada
23	MC	15	Azteca	450	Vigilancia	12.4083	UPM Montada
24	H	15	Criollo	500	Vigilancia	26.3829	UPM Montada
25	H	7	Criollo	480	Vigilancia	21.861	UPM Montada
26	MC	15	Criollo	500	Vigilancia	14.6295	UPM Montada
27	ME	1	Azteca	350	Desarrollo	13.0253	UPM Montada
28	ME	1	Azteca	350	Desarrollo	14.8311	UPM Montada
29	H	1	Azteca	350	Desarrollo	18.4971	UPM Montada
30	H	1	Azteca	350	Desarrollo	6.2017	UPM Montada
31	MC	3	Criollo	500	Doma	24.2225	UPM Montada
32	ME	3	Azteca	400	Doma	7.3607	UPM Montada

ME: Macho Entero; MC: Macho Castrado; H: Hembra

PSI: Pura Sangre Inglés

**Peso aproximado calculado*

La edad de los caballos del hipódromo presentó un intervalo de 3-5 años, con una edad promedio de 3.3 ± 0.6 años, mientras que los caballos de la policía montada tuvieron un intervalo mayor de 1-16 años y una edad promedio de 8.2 ± 5.9 años. Por tal motivo, al comparar las edades de los animales de ambos grupos se encontraron diferencias significativas (Fig. 7A; $p < 0.05$). Por su parte, el peso corporal de los caballos fue de 461 ± 14.49 y de 432.7 ± 80.78 kg para los caballos del hipódromo y de la policía montada, respectivamente, sin diferencias significativas entre ambos grupos (Fig. 7B; $p > 0.05$).

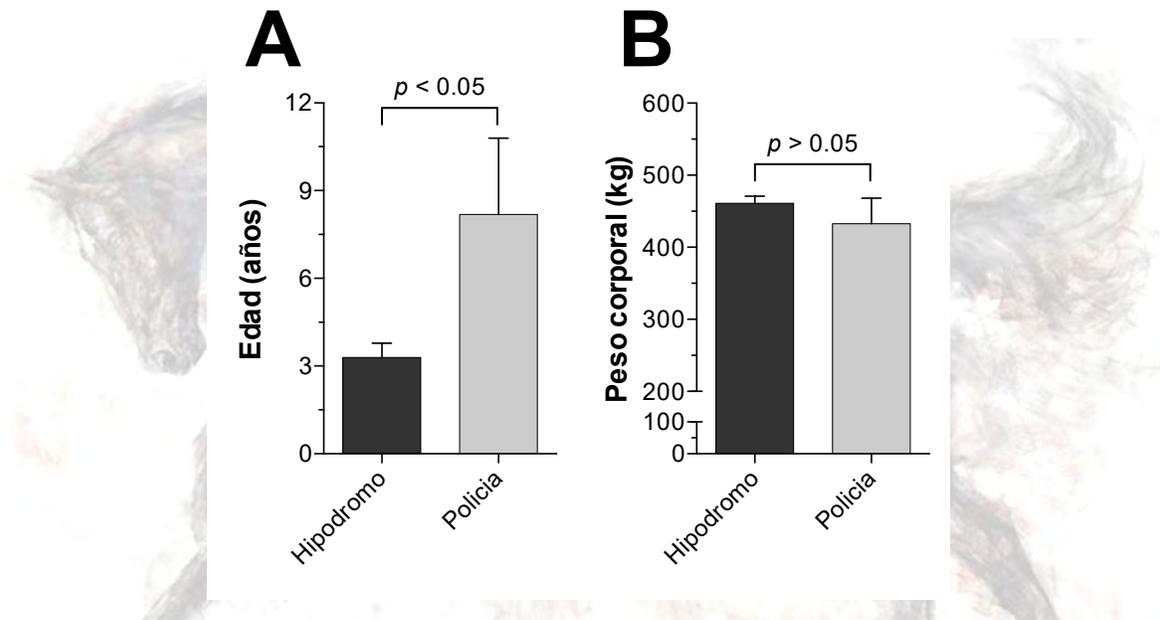


Figura 7. Promedio (\pm DE) de la edad (A) y peso corporal (B) de caballos provenientes del hipódromo y de la policía montada. Los grupos se compararon mediante una prueba *t* de Student a dos colas para dos medias independientes. Se aplicó la corrección de Welch para no asumir varianzas homogéneas.

La resistencia a la tensión de las muestras de cascos de caballos del hipódromo y de la policía montada no resultó distinta ($p > 0.05$). En la Figura 8 se muestran los valores individuales, en los cuales se aprecia mayor dispersión para el grupo de la policía montada. En particular, el valor promedio para los caballos del hipódromo fue de 20.0 ± 5.5 N/mm², mientras que para los caballos proveniente de la policía montada la resistencia a la tensión promedio fue 21.1 ± 10.6 N/mm².

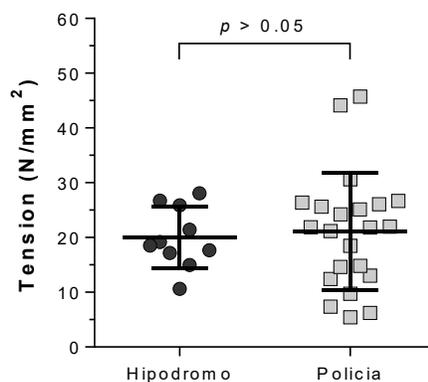


Figura 8. Promedio (\pm DE) de la resistencia a la tensión en muestras de cascos de caballos provenientes del hipódromo y de la policía montada. Los grupos se compararon mediante una prueba *t* de Student a dos colas para dos medias independientes. Se aplicó la corrección de Welch para no asumir varianzas homogéneas.

Se dividió a los individuos de acuerdo a la edad, en la figura 9A se muestra el porcentaje de individuos de cada edad, posteriormente se crearon 3 grupos principales (1-3 años, 3-7 años y >7 años) y se muestra el promedio de resistencia de cada grupo (Fig. 9B)

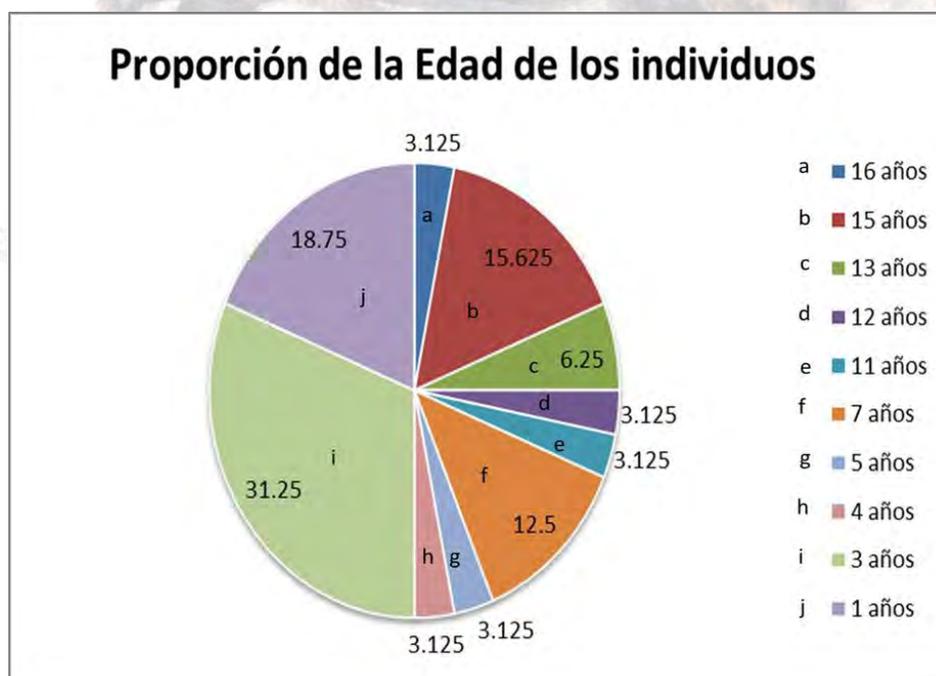


Figura 9A. Porcentaje de la edad del total de individuos evaluados en el Hipódromo y en la UPM Montada.

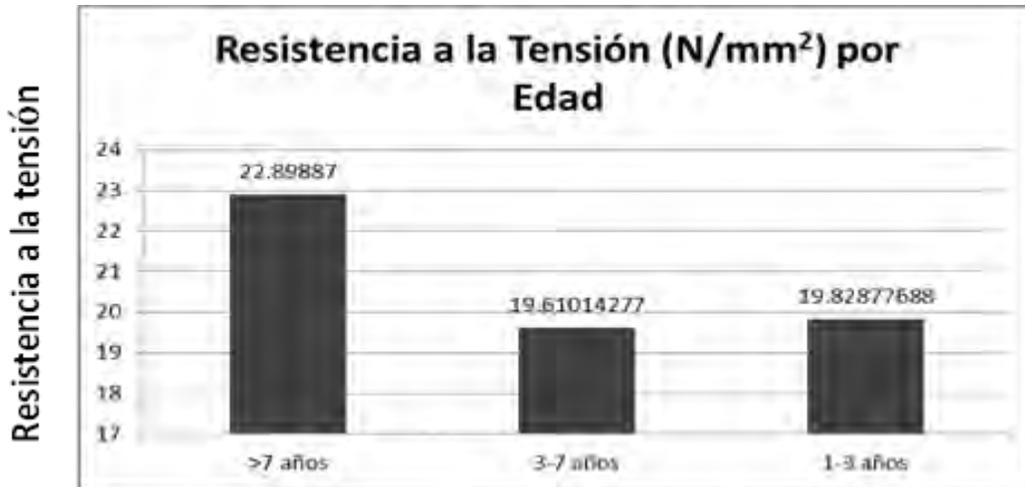
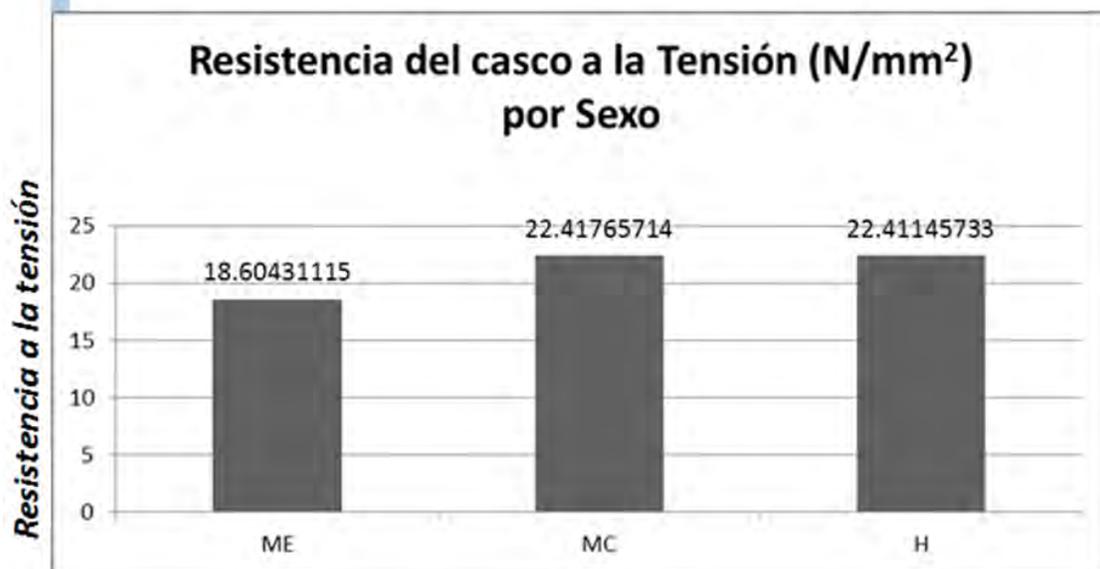


Figura 9B. Promedio de Resistencia la tensión del casco a en los diferentes grupos de edades.

El sexo de los individuos se clasifico en machos enteros (ME), machos castrados (MC) y hembras (H). En este estudio no se utilizaron muestras de hembras gestantes. La proporción de los individuos de cada sexo (**10B**) así como el promedio de resistencia a la tensión de cada categoría se muestran en la figura **10A**.

A



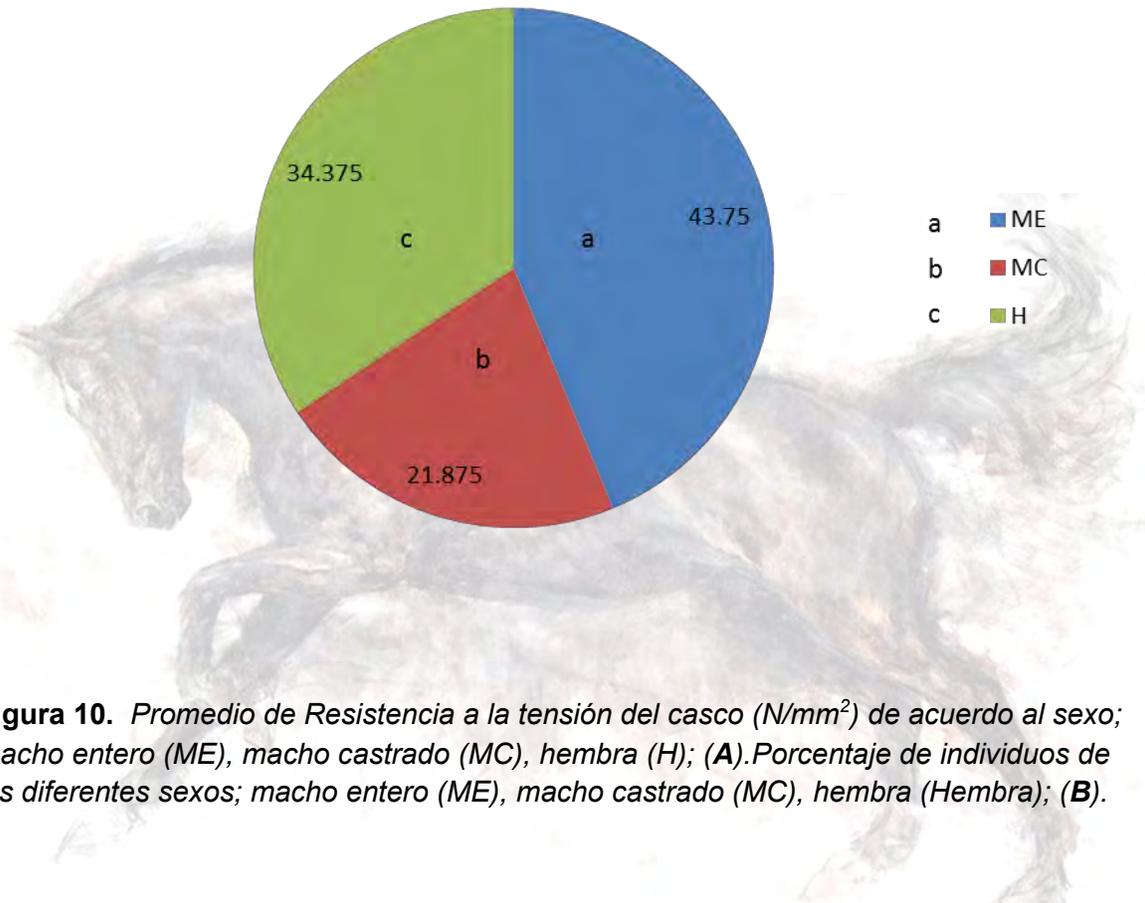
Sexo**B****Distribución de individuos por Sexo**

Figura 10. Promedio de Resistencia a la tensión del casco (N/mm^2) de acuerdo al sexo; macho entero (ME), macho castrado (MC), hembra (H); (A). Porcentaje de individuos de los diferentes sexos; macho entero (ME), macho castrado (MC), hembra (Hembra); (B).

Para evaluar la posible existencia de una relación entre el peso o la edad de los caballos y la resistencia a la tensión de sus cascos realizamos un análisis de regresión lineal. El resumen este análisis se presenta en la Figura 11, en la cual se observa que ambos casos, ni el peso ni la edad de los caballos presentaron una asociación con la tensión. Lo anterior a juzgar por el bajo coeficiente de correlación y debido a que la pendiente de la ecuación no resultó significativamente diferente de cero (Fig. 11; $p > 0.05$).

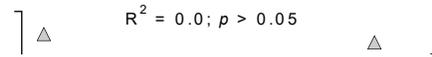


Figura 11. *Análisis de regresión lineal para evaluar la asociación entre la resistencia a la tensión de muestras de casco y el peso corporal (A) y la edad (B) de caballos provenientes del hipódromo y de la policía montada. En ambos casos no se encontró una relación funcional entre las variables.*

Adicionalmente, se dividió a los grupos de caballos de acuerdo a la función zootécnica que desempeñan. A partir de las diferentes categorías los valores de las variables entre los grupos fueron comparados. En la Figura 12A se presentan las categorías evaluadas así como el porcentaje de caballos incluidas en cada una de ellas. En lo correspondiente a los valores de resistencia a la tensión de los cascos, no se encontraron diferencias significativas entre los grupos (Fig. 12B; $p > 0.05$).

Las categorías de edad y de peso se utilizaron para comparar en cada una de ellas los valores de resistencia a la tensión. Por su parte, la edad se dividió en grupos de animales de < 3 , $3-7$ y > 7 años. En la Figura 13A se muestra que no se encontraron diferencias significativas entre dichas categorías. De forma similar, los grupos de peso < 450 , $450-480$ y > 480 kg de peso corporal tampoco presentaron diferencias en sus valores de resistencia a la tensión (Fig. 13B; $p > 0.05$).

Por último, el análisis multivariado que se presenta en la Figura 14 reveló la formación de dos grupos, el primero de ellos se conformó por la categoría de valores altos de resistencia a la tensión, junto con la función zootécnica de reproducción y el grupo de edad de caballos > 7 años. Mientras que el otro conglomerado incluyó a las funciones zootécnicas de doma, carreras y desarrollo en conjunto con la categoría de valores medios de resistencia a la tensión y una edad < 3 años. Cabe destacar que el sexo no se asoció de forma específica con ningún grupo. Tampoco lo hizo el grupo de caballos que presentaron valores bajos de resistencia a la tensión.

ión
 cnica

 ilancia
 roducción
 na
 sarrollo
 to
 reras



Figura 12. Porcentaje de las funciones zootécnicas de los caballos (A) y valores de resistencia a la tensión de acuerdo a cada función zootécnica (B). Las gráficas incluyen a los caballos de ambos sitios.

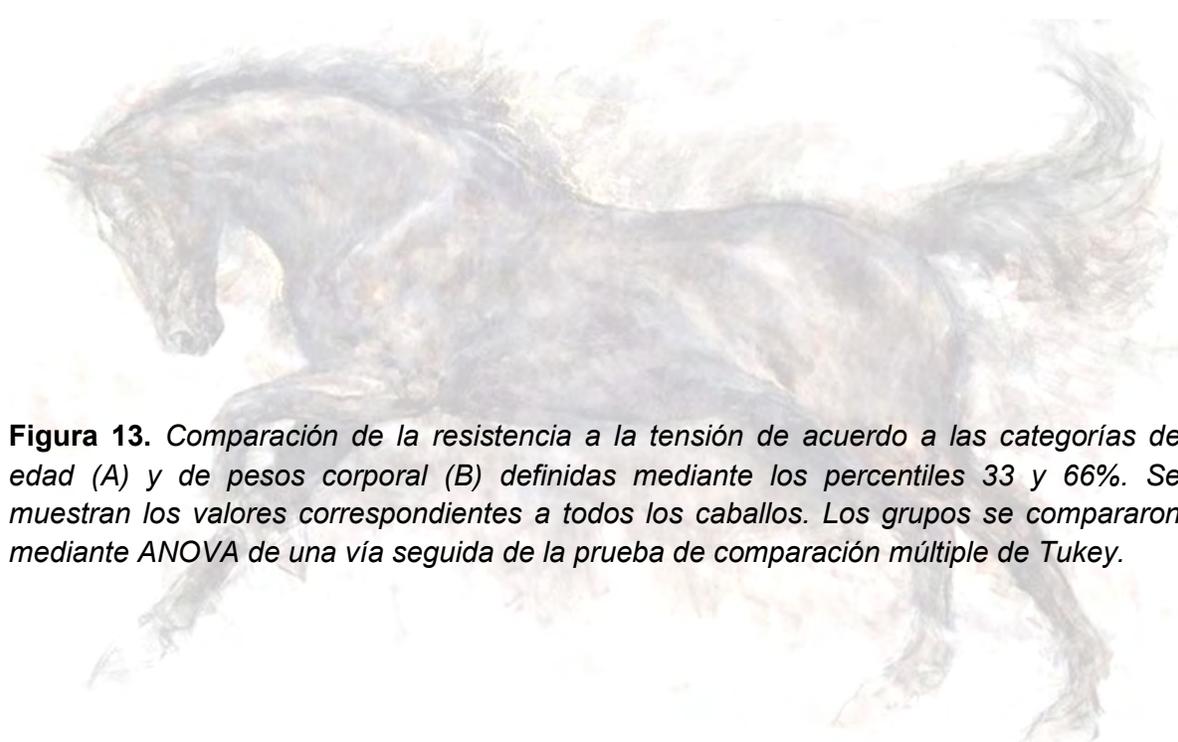
B

Figura 13. Comparación de la resistencia a la tensión de acuerdo a las categorías de edad (A) y de pesos corporal (B) definidas mediante los percentiles 33 y 66%. Se muestran los valores correspondientes a todos los caballos. Los grupos se compararon mediante ANOVA de una vía seguida de la prueba de comparación múltiple de Tukey.

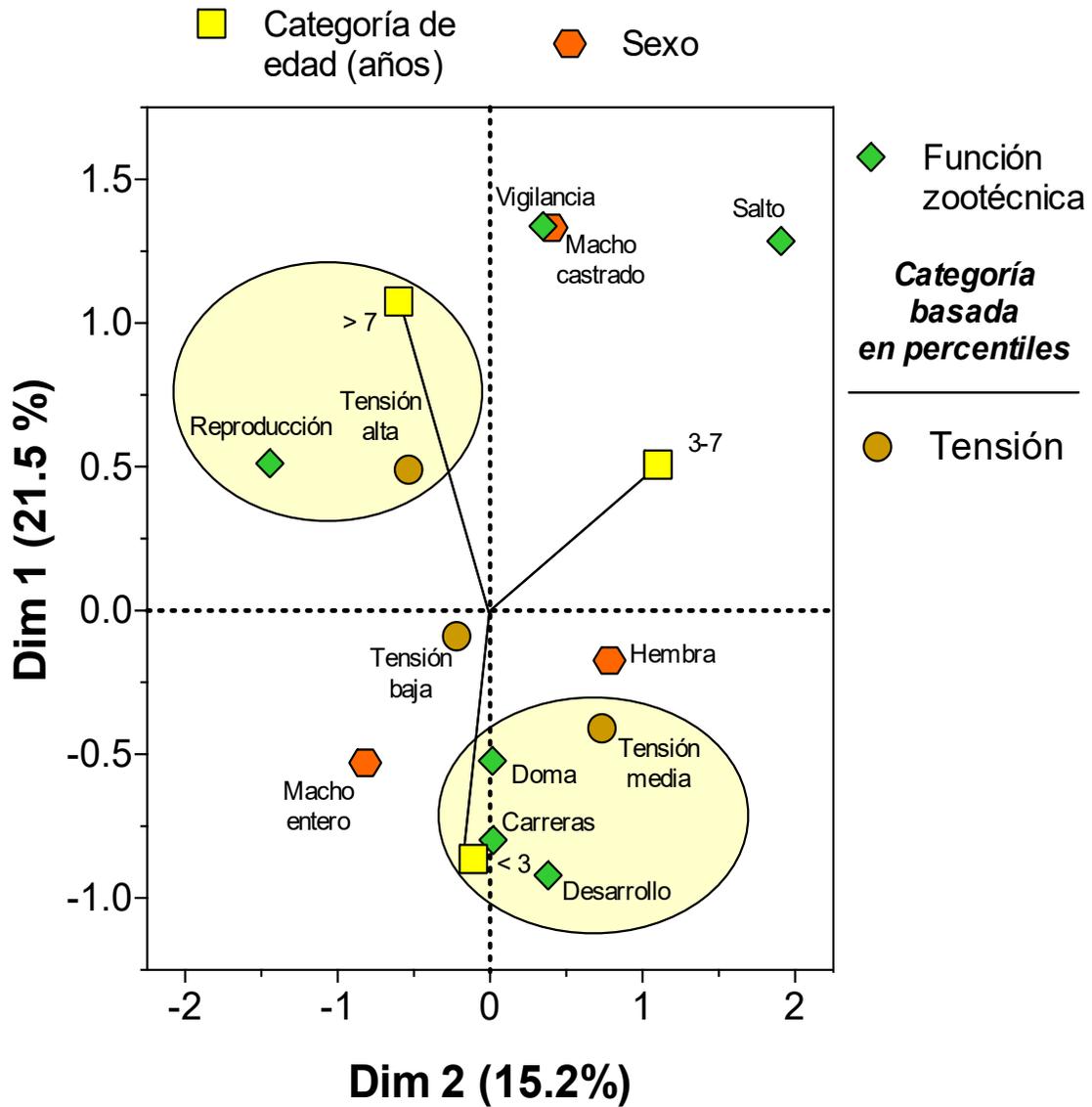


Figura 14. Análisis de correspondencia múltiple del patrón de asociación entre las categorías de las variables estudiadas. Se dibujaron elipses arbitrarias para auxiliar en la interpretación de los grupos formados. Nótese que la categoría de tensión baja se encuentra al centro de la gráfica con lo cual se indica que no se asocia al resto de las variables.

V.-Discusión

En este trabajo se evaluó la relación existente entre la resistencia a la tensión del casco equino y la función zootécnica que desempeñan los equinos. Se tomaron en cuenta los factores que la función zootécnica puede determinar (edad, sexo y peso principalmente). Entre los diferentes valores de resistencia a la tensión encontrados en los individuos estudiados se observó que, tanto el peso así como el sexo del caballo no son factores determinantes en los valores obtenidos.

Al dividir las muestras en tres grupos cuantitativos principales (peso, edad y resistencia; y estos en valores altos, medios y bajos), además de la característica cualitativa de Función zootécnica, se encontró una asociación más clara de las características involucradas específicamente con la resistencia del casco equino.

Experimentos previos encontraron que existe un gran número de factores que pueden influir en la resistencia a la tensión que presenta el casco, desde la alimentación del individuo hasta la época del año, dichos factores no fueron considerados en la presente evaluación, sin embargo es importante observar los nutrientes aportados por una dieta corriente basada en paja de avena, heno de alfalfa y concentrados comerciales, poniendo especial atención a los minerales que en este caso pueden influir en mayor o menor grado con la resistencia a la tensión del casco equino.

De acuerdo a un estudio realizado en los alimentos antes mencionados se describe en el **cuadro 2** la cantidad de minerales (mg/kg) encontrados. Así como las necesidades del individuo de acuerdo a la exigencia físico-atlética (**Cuadro 3**).

Cuadro 2

Elementos minerales en alimentos (mg/kg) que reciben los caballos en una prueba de intensidad de ejercicio.

Alimento	Ca	Mg	Na	K
Concentrado (a1) Supercampeón 12%	73.7108884	1279.78645	181.089884	8766.26041
Concentrado (a2) Nucleus	180.048434	2114.93015	393.817254	8120.06758
Paja de avena	117.712631	633.223583	547.453687	6181.48908
Alfalfa*	2093	1099	1863	17817

*Concentración promedio de minerales en muestras de alfalfa henificada del centro de la República Mexicana. Análisis realizados en el laboratorio de Toxicología del Departamento de Nutrición Animal y Bioquímica de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootécnica (Reyes, 2013).

Cuadro 3

Diferencia entre el aporte de elementos minerales (mg/kg) por el alimento y las necesidades señaladas por el NRC 2007 según la intensidad del ejercicio del caballo.

Ejercicio	Elemento mineral	Aporte mg/animal	Necesidades mg/animal	Diferencia por animal
Leve (350 kg P.V.)	Calcio	6 839	21 000	14 163 (Def.)
	Magnesio	6 887	6 650	237 (Exc.)
	Sodio	7 976	9 800	1 824 (Def.)
	Potasio	81 268	19 950	61 318 (Exc.)
Moderado (200 kg P.V.)	Calcio	6 896	14 000	7 104 (Def.)
	Magnesio	8 389	4 600	3 789 (Exc.)
	Sodio	8 141	7 200	941 (Exc.)
	Potasio	95 709	12 800	82 909 (Exc.)
Intenso (350 kg P.V.)	Calcio	28 862	28 000	862 (Exc.)
	Magnesio	9 669	10 500	831 (Def.)
	Sodio	8 322	17 500	9 178 (Def.)
	Potasio	104 476	27 300	77 176 (Exc.)

Def = deficiencia, Exc = exceso.

Fuente: (Committee on Nutrient Requirements of horses, 2007 (Reyes, 2013).

Los datos anteriormente mencionados se tomarán como referencia para futuros estudios, considerando la influencia de la alimentación en los valores de resistencia a la tensión del casco equino.

El debate del casco blanco vs el casco oscuro

Tanto la queratina tubular como la inter tubular contienen melanina. Durante siglos se ha creído que los cascos blancos o claros son estructuralmente inferiores a los oscuros, la verdad, sin embargo, es que no existe evidencia científica de alguna diferencia significativa entre los cascos pigmentados y no pigmentados, incluso en términos de resistencia y durabilidad.

-Karen Briggs

La metodología utilizada en este estudio se basó en la empleada por **Ley, Pleasant y Dunnington (1998)**, donde evaluaron los **efectos de la época del año y de la dieta** sobre la resistencia a la tensión del casco equino utilizando muestras de 18 yeguas de cría con un rango de edad de entre 4 y 20 años, 10 de esas hembras no estaban gestantes ni lactando durante dicho experimento y 8 estaban gestantes o lactando.

Los resultados obtenidos en aquel entonces se ubicaron en un rango de resistencia a la tensión de **24.47-34.61 N/mm²** durante el mes de octubre del año 92 y de **21.70 - 35.32 N/mm²** en octubre del siguiente año.

Las muestras se manejaron de la misma manera y fueron tratadas bajo parámetros similares durante la presente evaluación.

Para evitar una interferencia o alteración de los resultados en la prueba de resistencia a la tensión, solo se utilizó la región de las cuartas partes del casco y se desechó la suela y la queratina blanda adherida a los recortes.

Este trabajo se realizó en el transcurso del mes de agosto de 2015, evaluando solo una muestra por individuo y no se utilizaron yeguas gestantes ni en lactación, obteniendo un rango de resistencia a la tensión de **5.4459 – 45.7142 N/mm²** y con un promedio de **20.7471 N/mm²**.

Los valores promedio por función zootécnica que se encontraron fueron los siguientes:

Vigilancia – 24.0494 N/mm²

Reproducción – 21.9280 N/mm²

Doma – 15.7916 N/mm²

Etapa de desarrollo – 20.0434 N/mm²

Carreras – 20.0299 N/mm²

En el caso de caballos de salto solo se muestreo 1 individuo obteniendo un resultado de 9.7309 N/mm².

Por medio del *análisis de correspondencia múltiple* (figura 13) se evaluó de manera simultánea las variables de: peso, sexo, función zootécnica (vigilancia, reproducción, carreras, etapa de doma y desarrollo) y resistencia a la tensión; dando como resultado una asociación de la función de reproducción y animales mayores de 7 años con un valor alto de resistencia a la tensión; y en el caso de la

función zootécnica de Carreras e individuos en etapa de doma o desarrollo de 3 años o menos, un valor de resistencia media.

De acuerdo al *análisis de correspondencia múltiple* se encontró que el sexo efectivamente no interactúa de manera importante con ninguna de las categorías establecidas de resistencia a la tensión sin embargo, a diferencia de lo encontrado en el *análisis de regresión lineal*, la edad sí parece interactuar siendo evaluada con este método múltiple.

La Función zootécnica que desempeñan los equinos no se había considerado como un factor que determinara la resistencia a la tensión del casco, por esta razón se excluyeron otros factores previamente evaluados.

Un factor que puede influir en la resistencia del casco es la humedad del ambiente, considerando como ejemplo la UPM Montada en donde los equinos muestreados (excepto machos de reproducción) son confinados principalmente en corrales expuestos a las condiciones medio ambientales, a pesar de contar con sombra, principalmente la lluvia.

La alteración *negativa* de los cascos empeora en climas húmedos y calurosos, también en los caballos que caminan repetidamente en el barro y luego se quedan al sol experimentan una disminución en la calidad del casco (Stashak, 2004).

El barro tiene el efecto de sacar la humedad y los aceites y estrechar los poros, como un cataplasma. En el proceso de secado, el estrato externo del casco intentara curvarse o combarse, pero no puede hacerlo debido a que el estrato interno lo sujeta. En su lugar, se desarrollan grietas en el casco para aliviar el estrés de las fuerzas de corte ejercidas por la oposición de los estratos (Stashak, 2004).

Las grietas pueden rellenarse con más barro y luego secarse de forma que no puedan cerrarse y de esta manera continua agrandándose.

Un caballo con casco de mala calidad necesita al menos de 1 año para que el nuevo crecimiento, que parte desde el rodete coronario, alcance el borde palmar (Stashak, 2004).

Sin embargo los resultados obtenidos de los caballos del Hipódromo de las Américas no difieren demasiado de los que se obtuvieron de la Policía Montada, a pesar de que las condiciones medio ambientales si lo hacen.

Los promedios de resistencia a la tensión que resultaron de esta evaluación se encuentran por debajo de los promedios obtenidos en el estudio previamente mencionado.

VI.-Conclusiones

La manera en que el casco se desarrolla y la forma en que este mantiene sus propiedades físicas, anatómicas y fisiológicas son determinantes para el estado general de salud del equino. Si se toma en cuenta que todo el peso del caballo debe sostenerse sobre un solo dedo en cada miembro, se vuelve evidente la importancia de estudiar y comprender al máximo esta estructura que podríamos considerar en sí misma un órgano más del equino.

Además, el casco sirve como protección para los tejidos localizados en la falange distal (ligamentos, tendones y huesos). Un daño en la estructura del casco representa un aumento de las posibilidades de presentar lesiones en los tejidos subyacentes.

En la medicina veterinaria especializada en equinos de manera común se suelen atender a los individuos una vez que se presenta un problema o algún padecimiento y el uso de la medicina preventiva, a pesar de ir en aumento, no es suficiente para las caballadas con un gran número de individuos.

La medición de la resistencia a la tensión del casco del equino ayuda a detectar y prevenir futuros problemas en esta zona anatómica, los cuales posteriormente podrían verse reflejados de manera más intensa, y por lo tanto dificultar una recuperación y pronto regreso a la actividad.

Los movimientos de flexión y la exigencia sobre el casco aumentan con la actividad física es por esto que la función zootécnica fue el factor principal a tomar en cuenta en este estudio. Por lo tanto podemos considerar a la función zootécnica como punto inicial de abordaje y a partir de ahí estudiar las variables adicionales.

Perspectivas

Este estudio puede complementarse mediante análisis químico proximal del alimento, análisis de la composición mineral de las muestras de casco y un estudio histológico de los cascos.

A manera de estudio comparativo se pueden evaluar individuos de los medios rurales y dedicados a trabajo de campo.



Referencias

1. ASKELAND D R, FULAY P P, WRIGHT W J.2012. Propiedades mecánicas: primera parte. En: Hernández J, Romo J H, (traductores). *Ciencia e ingeniería de materiales*. 6ª Edición. Santa Fe, D.F, México. Pags. 199-204.
2. BRIGGS K. 2002. Can you influence hoof growth? *The horse*. Hoof growth: step by step. <http://www.thehorse.com/articles/12860/can-you-influence-hoof-growth> [consulta: 8 jun 2015].
3. DOUGLAS EJ, BIDDICK LT, THOMASON JJ, JOFRIET CJ. 1998. Stress/Strain Behavior of the Equine Lamellar Junction. *The Journal of Experimental Biology* 201, 2287–2297 (1998).
4. DOUGLAS EJ, MITTAL C, THOMASON JJ, JOFRIET CJ. 1996. The Modulus of Elasticity of Equine Hoof Wall: Implications for Mechanical Function of the Hoof. *The Journal of Experimental Biology* 199, 1829–1836 (1996).
5. FAOSTAT (2006).
6. JEFFCOTT L.2011. *On the back of the horse – from evolution to athletic performance*. Proceedings of the 50th British Equine Veterinary Association Congress (BEVA); sep. 7-10. liverpool, United Kingdom. <http://www.ivis.org/proceedings/beva/2011/6.pdf> [Fecha de consulta: 02 de junio 2016].
7. KNOTTENBELT DC, LEVERHULME P. 2011. Are hoof Disorders Dermatological not Orthopaedic Challenges? *Proceedings of the 12th International Congress of the World Equine Veterinary Association (WEVA)*; November 2-5. Hyderabad, India. <http://www.ivis.org/proceedings/weva/2011/55.pdf?LA=1> [consulta: 12 mayo 2015].

8. LANCASTER SL, BOWKER MR, MAUER AW. 2013. Equine Hoof Wall Tubule Density and Morphology. *Journal Vet. Med. Sci.* 75(6): 773–778 (2013).
9. LEY BW, SCOTT PLEASANT R, DUNNINGTON AE. Effects of Season and Diets to Tensile Strength and mineral content of the equine hoof wall, *Equine vet Journal.* 1998, 26: 46-50.
10. LIGHTOWLER, C.; MERCADO, M.; GARCÍA LIÑEIRO, J A. 2003. *Exploración del aparato locomotor del equino.* Argentina: Editorial Agro Vet. S.A.
11. MURRAY G, MUNSTERMANN, LAM K. 2013. *Beneficios y retos que implica la expansión mundial de los eventos ecuestres: nuevas normas para la población de caballos de competición y zonas libres en los países.* 81ª Sesión General, Asamblea Mundial Organización mundial de sanidad animal (OIE); mayo 26-31. París, Francia. <http://www.oie.int/doc/document.php?numrec=4202303> [Fecha de consulta: 02 de junio 2016].
12. OLIVEIRA L S, BARETO – VIANNA A R C, LEONARDO A S, GODOY R F, LIMA E M M .2014. Morphometry of primary and secondary epidermal laminae in equine hoof. *Pesquisa Veterinária Brasileira.* 34(1):79-82, janeiro 2014. <http://www.scielo.br/pdf/pvb/v34n1/13.pdf> [Fecha de consulta: 22 de febrero 2016].
13. PARKS AH. 2012. Aspects of functional anatomy of the distal limb. *Proceedings of the 58th annual convention of the American association of equine practitioners – AAEP-*, Diciembre 1-5, 2012, Anaheim, Ca, USA. <http://www.ivis.org/proceedings/aaep/2012/Parks.pdf> [Consulta: 01 junio 2015].
14. SAGARPA [actualización: 20 febrero 2016]. *Informe sobre la situación de los recursos genéticos pecuarios en México.* Ciudad de México, México. <http://www.sagarpa.gob.mx/ganaderia/Publicaciones/Lists/Informe%20sobre%20la%20situacin%20de%20los%20Recursos%20Genticos/Attachments/1/infofao.pdf> (Fecha de consulta [20 de febrero 2016]).

15. STASHAK S. TED. 2004. *Adams claudicaciones en equinos*. 5ª Edición. Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina: Editorial Inter-Médica.
16. THOMASON J. 2009. Review of some past, present and possible future directions in biomechanics of the equine hoof. Proceedings of the American Association of Equine Practitioners (AAEP); Columbus, Ohio, USA. <http://www.ivis.org/proceedings/aaepfocus/2009/thomason.pdf> [Fecha de consulta: 03 de junio 2016].
17. TORRES Y. 2013. Generalidades de los equinos. *Modelado y análisis de la biocinématica de la marcha de equinos* [Doctor en ingeniería]. México, D.F.
18. REYES L A. 2013. *Cambios electrolíticos en el suero sanguíneo de caballos, asociados al esfuerzo físico y alimentación con elementos minerales* [tesis de maestría]. D.F, México: Universidad Nacional Autónoma de México.

