

UNIVERSIDAD TÉCNICA NACIONAL

SEDE ATENAS

MEDICINA VETERINARIA CON ÉNFASIS EN BUIATRÍA

CLASIFICACIÓN ANDROLÓGICA DE EQUINOS DEL VALLE CENTRAL DE
COSTA RICA Y SU RELACIÓN CON VARIABLES FÍSICAS Y ESPERMÁTICAS

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN PARA OPTAR POR EL GRADO DE
LICENCIATURA EN MEDICINA VETERINARIA CON ÉNFASIS EN BUIATRÍA

BRENDA SANCHO FERNÁNDEZ

ATENAS, COSTA RICA

2023

DECLARACIÓN JURADA

Yo Brenda Sancho Fernández portadora de la cédula de identidad número 2-0717-0448 estudiante de la Universidad Técnica Nacional, UTN en la carrera de Medicina Veterinaria con Énfasis en Buiatría, conocedor (a) de las sanciones legales con que la Ley Penal de la República de Costa Rica castiga el falso testimonio y el delito de perjurio que pueda ocasionarse ante el (la) Director (a) de Carrera y quienes constituyen el Tribunal Examinador de este trabajo de investigación, juramos solemnemente que este trabajo de investigación es una obra original respetando las leyes y que ha sido elaborada siguiendo las disposiciones exigidas por la Universidad Técnica Nacional, UTN, así como con los derechos de autor.

En fe de lo anterior, firmamos en la ciudad de Atenas, a los 30 días del mes de agosto del 2023.



HOJA DE APROBACIÓN

Este Trabajo Final de Graduación fue aprobado por el Tribunal Evaluador como requisito para optar al grado de Licenciatura en Medicina Veterinaria con énfasis en Buiatría.

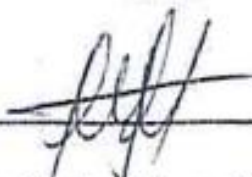


Dr. Josué Rivera Castillo
Director de Carrera



Dra. Diana Jiménez Chacón

Tutora



Dra. Carolina Viquez Céspedes
Lectora



Dr. Leonardo Cano Castillo
Lector

DEDICATORIA

A mis padres, novio y amigos, que siempre estuvieron a mi lado.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por permitirme culminar este proyecto y bendecirme hasta llegar a este gran paso de mi vida que siempre soñé.

A mi madre, Mayra Fernández Cordero, por apoyarme y darme ánimos a lo largo de esta carrera y este proyecto; sin ella no hubiera sido posible llegar hasta donde estoy el día de hoy.

A mi novio, Yeison Herrera, por estar en cada paso del desarrollo de esta tesis y de mi carrera dándome apoyo, consejo y acompañándome siempre que lo necesite.

A mi padre a pesar de la distancia siempre me ha apoyado en todo.

A la doctora Diana Jiménez Chacón y al doctor Leonardo Cano Castillo, por su tiempo, ayuda y conocimiento transmitido para el desarrollo de esta tesis.

Al doctor Bryan Villalobos Rojas, por su contribución y ayuda en la elaboración del muestreo de los equinos necesarios para el desarrollo de este proyecto.

A la doctora Carolina Víquez, por toda la ayuda brindada para el desarrollo y finalización de esta tesis, además de todo el conocimiento brindado a lo largo de la carrera.

A mis amigas y futuras colegas, Carolina Rodríguez, Sofía Peña y Sofía Araya, por todo el apoyo, consejo, llantos y alegrías a lo largo de esta carrera.

A mis bebés perrunos, por acompañarme y darme alegría todos los días de universidad y de mi vida. ¡Los amo!

RESUMEN

Clasificación andrológica de equinos del Valle Central de Costa Rica y su relación con variables físicas y espermáticas.

Brenda Sancho Fernández

En el presente estudio, a partir de una evaluación física de 48 equinos del Valle Central de Costa Rica, se determinó su peso corporal, condición corporal, medidas testiculares, edad y raza, y la influencia de esto sobre el volumen de eyaculado por mililitro, la concentración espermática (millones/ml) y motilidad espermática total (porcentaje) (estos dos últimos mediante el *software* iSperm®), para establecer una clasificación andrológica (satisfactorios, sospechosos e insatisfactorios).

Los rangos estudiados más frecuentes fueron con respecto a la edad: el de los adultos (71 %), el peso con la categoría de livianos, la raza Iberoamericano (41 %) y la CC adecuada (41 %). Se clasificaron los individuos en satisfactorios (13 %), sospechosos (56 %) e insatisfactorios (31 %). Se determinó que no existe relación estadística entre las variables físicas y las variables seminales ($p>0.05$). Además, se estimó que el testículo derecho es de mayor tamaño con respecto al testículo izquierdo; a su vez, existe diferencias significativas ($p<0.05$) entre los valores de concentración y motilidad espermática en cada una de las categorías de diagnóstico andrológico.

Finalmente, se concluyó que asumir por medio de las características físicas la capacidad espermática de los sementales es inconclusa sin hacer más estudios donde la población a estudiar sea únicamente de equinos satisfactorios,

de una sola raza y con un rango similar de edad. Además, no se puede comprobar que los individuos con testículos de mayor tamaño tuvieran mayor producción de semen; sin embargo, sí se pudo determinar que en los caballos evaluados -conforme se aumenta la edad- el volumen testicular también.

Palabras clave: examen andrológico, concentración espermática, motilidad espermática, volumen de eyaculado, medidas testiculares.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

I. INTRODUCCIÓN.....	13
1.1 Problemática	13
1.2 Justificación	14
1.3 Antecedentes	16
1.3.1 Antecedentes internacionales	16
1.3.2 Antecedentes nacionales.....	21
1.4 Objetivos	22
1.4.1 Objetivo general	22
1.4.2 Objetivos específicos	22
II. MARCO TEÓRICO	23
2.1 Examen andrológico	23
2.1.1 Evaluación seminal	23
2.1.2 Mediciones biométricas.....	24
2.1.3 Características físicas	27
2.1.4 Clasificación andrológica.....	29
III. MARCO METODOLÓGICO	31
3.1 Ubicación	31
3.2 Muestra	31
3.3 Métodos	32

3.3.1 Evaluación física del equino	32
3.3.2 Evaluación reproductiva del equino	35
3.3.3 Clasificación andrológica	37
3.3.4 Clasificación de las características físicas	37
3.4 Análisis de datos y método estadístico	38
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	39
4.1 Estadística descriptiva	39
4.2 Análisis de regresión	45
V. CONCLUSIONES	50
VI. RECOMENDACIONES	52
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53
VIII. ANEXOS	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de la puntuación corporal equina.....	25
Figura 2. Zona de colocación de la cinta (línea roja) para la determinación del peso en equinos.....	34
Figura 3. Medición de testículos por medio del caliper para la obtención del volumen testicular.....	35
Figura 4. Comparación de las medidas testiculares del volumen en general.....	41
Figura 5. Comparativa de medias de volumen testicular según los grupos de edad de los equinos estudiados	49

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Sistema de puntuación corporal en equinos.....	26
Tabla 2.	29
Tabla 3. Características climáticas de las provincias del Valle Central de Costa Rica	31
Tabla 4. Registro individual de los equinos evaluados desde enero del 2022 a julio del 2023 en el Valle Central de Costa Rica.....	33
Tabla 5. Registro esencial de los equinos evaluados desde enero del 2022 a marzo del 2023 en el Valle Central de Costa Rica.....	36
Tabla 6. Estadística descriptiva para concentración, motilidad espermática y volumen de eyaculado del total de equinos evaluados	39
Tabla 7. Estadística descriptiva para concentración, motilidad espermática, volumen eyaculado y volumen testicular total de equinos según su	43
Tabla 8. Volumen testicular de equinos satisfactorios, sospechosos e insatisfactorios.....	47

LISTA DE ABREVIATURAS

BCS: Sistema de puntuación de condición corporal

BSE: Examen andrológico

CC: Condición corporal

IA: Inseminación artificial

ID: Identificación

P: Probabilidad

I. INTRODUCCIÓN

El examen andrológico se considera como la herramienta para predecir la capacidad reproductiva de un semental antes de su apareamiento. Está compuesto por una evaluación tanto física como reproductiva (Pricking, et al., 2017). En el presente estudio, se determinó la influencia del peso, condición corporal (CC), medidas testiculares, edad y raza sobre el volumen de eyaculado por ml, la concentración y la motilidad espermática en equinos (según su clasificación andrológica) que se encontraban en el Valle Central de Costa Rica.

1.1 Problemática

En Costa Rica, para el 2014, el Censo Agropecuario reportó una totalidad de 66942 caballos, de la cual se estima que aproximadamente 3458 son machos enteros empleados para reproducción (INEC, 2015). A pesar de que muchos han sido probados, no se han relacionado los parámetros físicos con los reproductivos, dejando un vacío en algunas relaciones que podrían arrojar datos que logren establecer una mejor selección de animales que tengan impacto genético en la progenie.

Por su parte, debido a la importancia y múltiples estudios que existen con respecto a la relación de los parámetros de volumen de eyaculado, concentración y motilidad espermática con el peso, condición corporal, medidas testiculares, la edad y la raza en bovinos, aún queda la incertidumbre de si dicha comparación en equinos se cumple a cabalidad, con el fin de estimar la fertilidad potencial de un semental a través de estos rasgos (Perumal, 2014).

Aunado a lo anterior, sobresale que se han hecho estudios que son contradictorios y no hay un panorama claro al respecto. Por ejemplo, Aznarán (2019) determinó que no existe relación entre la concentración espermática y el volumen testicular, ya que no hay una diferencia estadística significativa; sin embargo, Jiménez (2022) menciona que las medidas testiculares son utilizadas para estimar la producción de espermatozoides y así predecir la eficacia del equino. Todo esto plantea una incertidumbre en cuanto a la importancia de la correlación para determinar el potencial reproductivo de los equinos en Costa Rica.

Por otro lado, también se desconoce a nivel nacional cómo clasificar un equino utilizado para reproducción, de acuerdo con las diferentes características presentes. Con esto, se puede estar pasando por alto múltiples alteraciones que repercuten en el resultado final de una gestación y más aún en que aquellas que se hagan por inseminación artificial (IA), por lo que es indispensable su clasificación para determinar si el equino presenta o no las condiciones ideales para reproducción y así poder clasificarlo reproductivamente.

1.2 Justificación

Respecto a las investigaciones realizadas en Costa Rica, solamente se han enfocado en bovinos; sin embargo, las técnicas utilizadas en los estudios realizados son similares a las que se implementaron en esta investigación. Otro aspecto relevante es que, al no encontrarse evidencia de estudios enfocados en equinos, se denota un vacío de información en el país, por lo cual se torna relevante los aspectos a investigar en este estudio.

Por otra parte, cabe destacar que, en Costa Rica, existe un número elevado de equinos de alto valor genético y económico, lo que ha propiciado una tendencia expansiva de demanda local e internacional (República de Costa Rica, 2004), de manera que la evaluación reproductiva completa y su relación con otros parámetros brindaría más información para el correcto diagnóstico de un semental apto para la reproducción.

Además, este tipo de selección se puede utilizar para la observación y elección de animales desde edades tempranas. Un ejemplo de esto es que, a partir de los 3 años de edad, el parénquima testicular ya presenta un incremento en la producción de espermatozoides, lo cual permite tener un mejor panorama, aunque no del todo preciso, de descartar los machos como sementales pese a su valor económico (Trillaud-Geyl et al., 2015).

Ahora bien, el alto valor económico que presentan los equinos en Costa Rica hace que este trabajo de investigación obtenga mayor interés, debido a la inversión que se realiza tanto en el área de producción como reproducción equina, donde se requiere la obtención de datos para ayudar a la clasificación de sementales, y es que este enfoque colaboraría no solo con el diagnóstico inmediato, sino con el pronóstico y su vida útil como semental, para valorar -en algunos casos- la castración, ya que esto podría influir en su expectativa de vida.

A pesar de que -en la actualidad- en el país no se realiza de manera frecuente el congelamiento de semen para su criopreservación, por el auge que la industria equina está presentando de manera exponencial, se prevé que esta práctica irá en aumento, por lo que es necesario el reconocimiento del equino apto para reproducción y de las características relevantes asociadas a este

estatus, como concentración espermática, motilidad espermática y el volumen de eyaculado, así como las variables que puedan influir, para su adecuado uso en la práctica (Alvarenga et al., 2016).

1.3 Antecedentes

1.3.1 Antecedentes internacionales

Silva (2014), en Brasil, muestreó 17 equinos de las razas Manga larga Marchador, Cuarto de Milla y Paint Horse, entre 2.5 y 18 años de edad.

Determinó el peso de los animales mediante la cinta específica de equinos; el volumen testicular se midió con un caliper; el eyaculado se obtuvo por medio de una yegua en celo y una vagina artificial.

Los resultados obtenidos mostraron que el peso corporal no presentó diferencias significativas $p>0.05$ entre la edad de los sementales. En cuanto a las correlaciones entre la biometría testicular con la edad, indicó que -a medida que aumenta la edad- es mayor el tamaño testicular, y, para el volumen testicular, se demostró una alta correlación con las mediciones testiculares. Se concluyó así que, a partir de las medidas testiculares, se puede predecir el volumen testicular y, por ende, la cantidad de parénquima testicular presente al igual que la producción de espermatozoides.

Por otro lado, Gottschalk et al. (2016), en Alemania, realizaron el muestreo de 381 sementales entre 3 y 30 años de edad, de 22 tipos de razas de caballos de sangre caliente, de tiro y ligeros, como el Anglo-árabe, Bávaro de sangre caliente, Belga de sangre caliente, Holandés de sangre caliente, Frisón, entre otros.

Se evaluó el volumen de eyaculado en ml, la concentración espermática por medio de un fotómetro SpermaCue y la motilidad progresiva con un microscopio de contraste de fases con un calentador de platina a 200-400X de aumento. Como resultado, los sementales angloárabes presentaron medias más altas para todas las características espermáticas con respecto a las otras razas investigadas. Las concentraciones más bajas de semen se encontraron en los holandeses de sangre caliente.

Además, los volúmenes de eyaculado más altos se observaron en los sementales Holsteiner y Dutch Warmblood, y los sementales Trakehner mostraron los volúmenes más bajos. A su vez, los sementales Oldenburg mostraron los eyaculados con las medias más elevadas para la motilidad progresiva, mientras que el valor más bajo para este parámetro fue en los sementales Thoroughbred, concluyendo así que existe una variación significativa dependiendo de la raza en todas las características seminales, sin embargo, las características encontradas pueden reflejar una variación normal en la calidad del semen.

En otro estudio, a cargo de Pricking et al. (2017), en Alemania, se evaluó a 52 sementales de diferentes razas, de edades que oscilaban entre los 3 y 24 años, determinando el volumen testicular mediante caliper, el eyaculado seminal por medio de una vagina artificial modelo "Hannover"; el volumen del semen se midió con un cilindro esterilizado graduado y la concentración espermática fue medida por medio de fotometría.

Entre los resultados obtenidos, destaca que el volumen del testículo izquierdo es mayor al del testículo derecho, sin embargo, las diferencias no

fueron significativas $p > 0.05$. La media de la producción diaria de esperma fue de 6.621×10^9 espermatozoides. Se concluyó que existe correlación entre la producción diaria de esperma y los volúmenes testiculares, y -a mayor volumen testicular- va a existir una mayor producción de esperma.

Por otra parte, Aznarán (2019), en Perú, hizo un muestreo de 38 caballos con edades que oscilaban entre los 4 y los 10 años, con una condición corporal de 5.5 y 6.5. Además, se realizó la evaluación del volumen testicular utilizando un caliper, la colección del eyaculado utilizando una yegua en estro y vagina artificial, el volumen de eyaculado por medio de una probeta y la concentración espermática utilizando la cámara de Neubauer.

De acuerdo con los resultados obtenidos, el promedio del volumen de eyaculado fue de 52.65 ml y la concentración espermática osciló entre los 136 a 300 millones/ml. Se determinó que no hay relación entre la concentración espermática y volumen testicular, la relación entre la concentración espermática y el volumen de eyaculado fue muy baja y no fue estadísticamente significativa ($p > 0.05$).

Por último, la relación entre concentración espermática y edad tampoco fue estadísticamente significativa ($p > 0.05$), con lo cual, se concluyó que ni el volumen de eyaculado ni el volumen testicular influyen en la concentración espermática, y la edad del semental tampoco es un factor determinante en este aspecto.

Adicionalmente, Dos Santos et al. (2021), en Brasil, evaluaron 56 sementales de raza Criolla, con edades que oscilaban entre los 3 a 18 años. Se determinó la biometría corporal mediante la cinta métrica, la condición corporal

mediante una puntuación de 1-9 por medio de visualización y palpación, la biometría testicular fue medida mediante el caliper y estimando la producción de esperma $\times 10^9$.

Ahora bien, los resultados mostraron que la biometría corporal no presentó diferencias entre los sementales jóvenes y adultos, el peso medio en los jóvenes fue de 449 kg, un 34 % presentó una puntuación de condición corporal de 7 o inferior y el 66 % presentó una puntuación de 8 y 9. Con respecto a la biometría testicular, no hubo diferencias significativas entre caballos jóvenes y adultos. El tamaño testicular y el tamaño del parénquima están correlacionados con la producción diaria de esperma, siendo un parámetro que ayuda a predecir el potencial reproductivo del semental.

Cabe agregar que la producción diaria de esperma fue de 4.4×10^9 y se concluyó que la biometría corporal y testicular no presentaron diferencias entre los animales jóvenes y adultos, y ya que el crecimiento testicular y corporal se asocian a la edad, este estudio sugiere que después de los 3 – 4 años la mayoría de los sementales han alcanzado su tamaño máximo de crecimiento.

En otro estudio, Jiménez (2022), en Perú, muestreó 14 equinos de raza peruana de paso, se realizó la evaluación escrotal mediante caliper y se recolectaron las muestras seminales utilizando una vagina artificial. En la evaluación seminal, se utilizaron varios métodos: el volumen de eyaculado mediante probeta, la concentración de espermatozoides por ml mediante cámara de Neubauer y la motilidad progresiva en porcentaje por medio del microscopio de luz a 400X, con platina caliente.

En los resultados obtenidos, se menciona que el promedio del diámetro escrotal es de 83.86 mm, el del volumen de eyaculado de 64.29 ml, la concentración espermática de 91.79 millones/ml y la motilidad de 52 %, hallando una coincidencia con valores en potros Pura Sangre Inglés, pero por debajo de los valores encontrados en otras razas.

A su vez, la correlación entre el diámetro escrotal con el volumen de eyaculado no fue significativa $p > 0.05$, por lo cual no hay evidencia que asocie estas características. La correlación entre el diámetro escrotal y la concentración de espermatozoides fue significativa $p < 0.05$, lo cual permite que el diámetro escrotal pueda predecir la concentración espermática.

Por último, Whitesell (2020) muestreó 20 sementales de pura raza y raza estándar de 6 y 22 años; realizó colecta de semen mediante vagina artificial y la fracción de gel fue eliminada utilizando un filtro. En la evaluación del semen, se realizó por triplicado empleando métodos estándar de análisis de semen, el volumen de semen por medio de estimación visual en ml utilizando un contenedor graduado, la concentración de espermatozoides a partir de un espectrofotómetro modificado, la motilidad empleando CASA y la evaluación testicular con ayuda de la ecografía y se obtuvo la longitud, ancho y altura de cada testículo.

Además, se realizó la clasificación -con base en el potencial de fertilidad- en satisfactorios (producían un mínimo de 100 millones de espermatozoides motiles, dos testículos normales y el volumen testicular total mínimo de 8 cm) y cuestionables (los que no cumplían con uno o más de los criterios). En los resultados, se menciona que el volumen testicular oscila entre 142.67 cm³ y

465.69 cm³ y con una media de 289.29 cm³, el volumen medio del semen fue de 50.1 ± 23.1 ml, la concentración media fue de 27.3 ± 174.1 millones de células por ml.

Finalmente, en el estudio se concluyó que el método de análisis puede afectar al resultado de la clasificación del examen andrológico, además de que hay un número significativo de sementales que no cumplen con el mínimo de células por ml e igualmente tienen éxito comercial. Finalmente, el análisis de semen realizado en el BSE no predice de manera confiable niveles de fertilidad entre animales de cuestionables a satisfactorios.

1.3.2 Antecedentes nacionales

En referencia a las investigaciones desarrolladas en Costa Rica, solamente se han llevado a cabo con bovinos; sin embargo, las técnicas utilizadas son similares a las que se van a desarrollar en esta investigación.

Por un lado, Chacón et al. (2014) evaluaron a 609 bovinos cebú, midieron el peso corporal y la circunferencia escrotal, correlacionándolo con la edad a partir de la pubertad. La edad media, la condición corporal y la circunferencia escrotal en la pubertad fueron de 18.57 ± 2.67 meses, 394.08 ± 68.34 kg y 26.65 ± 4.0 cm, respectivamente; se concluyó que la circunferencia escrotal es la variable más confiable y con mayor correlación con respecto a la edad de la pubertad en razas Bos Indicus.

Por otro lado, Víquez (2018) evaluó 609 toretes, considerando el peso corporal, la circunferencia escrotal y la concentración espermática. Los resultados de dicho estudio demostraron un incremento marcado del peso

corporal y la circunferencia escrotal durante el tiempo que se realizó la investigación en las diferentes razas estudiadas. Se concluyó que los factores de manejo influyen sobre la circunferencia escrotal y el peso corporal.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Determinar la clasificación andrológica de equinos en el Valle Central de Costa Rica mediante la evaluación de parámetros físicos y espermáticos, para la definición de su relación con respecto a edad, raza, peso vivo, condición corporal y volumen testicular.

1.4.2 Objetivos específicos

Clasificar -andrológicamente- a los equinos en sospechosos, satisfactorios e insatisfactorios mediante el análisis de las variables espermáticas y físicas, para la determinación de su pronóstico reproductivo.

Establecer el efecto de la raza, edad, peso, condición corporal de los equinos evaluados sobre el volumen de eyaculado, la concentración y motilidad espermática mediante correlación estadística, para la determinación de factores asociados a la capacidad reproductiva de los sementales y su clasificación andrológica.

Estimar la relación del volumen testicular con respecto a las variables seminales por medio de correlación estadística, para la determinación del efecto del tamaño testicular sobre el volumen de eyaculado, concentración espermática y variabilidad entre las categorías de diagnóstico andrológico.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Examen andrológico

La evaluación reproductiva de los sementales depende de varios criterios exigidos para determinar la capacidad de fecundación que presentan los equinos antes de aparearse, para así comprobar su eficiencia como reproductor (Varner, 2016). Los criterios para evaluar se describen a continuación:

2.1.1 Evaluación seminal

- Concentración espermática:

Es un componente esencial que conlleva el examen seminal, el cual determina el número total de espermatozoides por ml presentes en el eyaculado. Los resultados de su evaluación certifican la calidad reproductiva, pronóstico y/o diagnóstico de trastornos reproductivos, caracterización de muestras seminales para venta y determinación de dosis de inseminación (Brito et al., 2016).

El número total de espermatozoides en equinos maduros oscila entre 4 y 12 billones, pudiendo superar los 15 a 20 billones en sementales que no se encuentran en monta (Blanchard et al., 2003).

- Motilidad espermática:

La motilidad es un indicador de la viabilidad de una población de espermatozoides, la cual refleja la posible capacidad de fecundación del semental. En su análisis, la motilidad genera las características del movimiento de los espermatozoides evaluando sus rasgos en un gran grupo de ellos. La evaluación incluye el porcentaje de espermatozoides móviles y progresivamente

móviles, es decir, los que están por encima de la velocidad establecida y dirección de movimiento; velocidad de la trayectoria y la amplitud de desplazamiento de la cabeza durante el movimiento hacia adelante (Blanchard et al., 2003). El porcentaje de la población equina normal debe presentar valores ≥ 60 % de espermatozoides en movimiento (Buzón, 2013).

-Volumen de eyaculado:

Es utilizado en el cálculo del número total de espermatozoides en un eyaculado. Su medición se realiza después de ser filtrado para retirar la fracción de gel que proviene de las glándulas vesiculares del equino; esta filtración se lleva a cabo a la hora de la colecta de semen, beneficiando también la eliminación de esmegma, suciedad y pelos de la porción de semen sin gel.

La determinación de la cantidad obtenida se realiza de la porción de semen sin gel, la cual contiene la mayor parte de espermatozoides. El volumen se puede ver afectado por el tiempo de la preparación sexual y la estación del año (Blanchard et al., 2003). Cabe destacar que el volumen medio de un semental adulto oscila entre 50 – 70 ml, presentando un rango de 25 – 300 ml (Weese y Munroe, 2011).

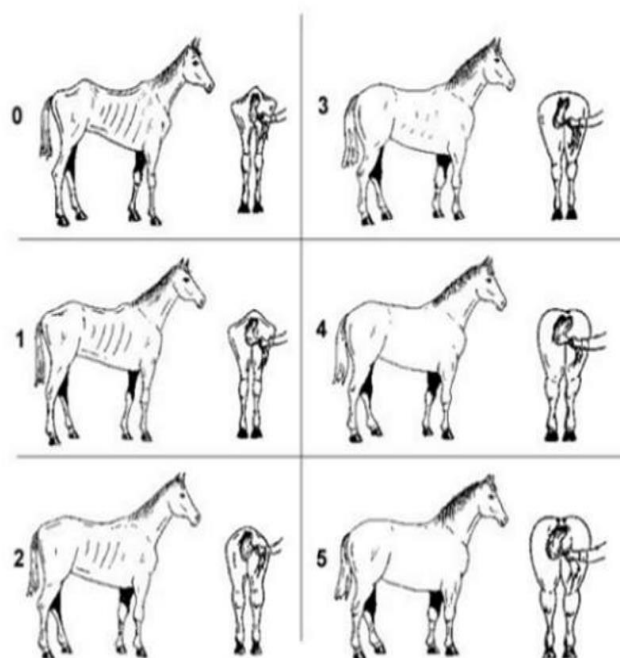
2.1.2 Mediciones biométricas

-Condición corporal

Método objetivo utilizado como referencia para la evaluación del grado de grasa y cobertura muscular presentes en el animal, lo cual se determina en el cuello, lomo, cruz, costillas y cuartos traseros, como lo demuestra la Figura 1 y la Tabla 1 (Carroll y Huntington, 1988).

Figura 1

Diagrama de la puntuación corporal equina



Nota. Por Carroll y Huntington, 1988.

Tabla 1*Sistema de puntuación corporal en equinos*

Puntuación	Cuello	Cruz	Lomo	Costillas	Cuartos traseros
1 Pobre	Estructura ósea: ligera repisa, en la unión del cuello con el hombro	Se siente la estructura ósea	Proceso espinoso se siente fácilmente, procesos transversales poseen ligera capa de grasa	Ligera capa de grasa, pero aún se sienten	Se sienten los huesos de la cadera
2 Moderado	Estructura ósea cubierta de grasa	Con depósitos de grasa - dependiendo de la conformación	Apófisis espinosas con grasa	No se ven las costillas, pero aún se sienten	Cadera cubierta de grasa
3 Buena	Cuello fluye suavemente hacia el hombro	Cuello redondea la cruz	Lomo nivelado	Costillas con capa de grasa	No se sienten los huesos de la cadera
4 Gordo	A lo largo del cuello con depósitos de grasa	La cruz en su alrededor con grasa acumulada	Pliegue positivo en el largo de la lomo	Sobre costillas grasa esponjosa	No se sienten los huesos de la cadera
5 Obeso	Grasa abultada	Grasa abultada	Positivo a pliegue profundo	Bolsas de grasa	Bolsas de grasa

Nota. Por Carroll y Huntington, 1988.

-Peso corporal

Parámetro que es calculado para estimar la gestión de alimento y la salud del animal. Además, la evaluación de esta variable es importante para considerar el tipo de entrenamiento, alojamiento y determinación correcta de la dosis de antihelmínticos de cada uno de los animales. El exceso de peso puede provocar problemas de salud como el síndrome metabólico, resistencia a la insulina, laminitis, disminución de la capacidad atlética e inadecuada termorregulación (Catalano et al., 2019).

-Medidas testiculares

Los testículos de los sementales maduros tienen la capacidad de producir aproximadamente entre 18 – 20 millones de espermatozoides por gramo de tejido testicular al día. La medición del largo, ancho y grosor de cada uno de los testículos se realiza para obtener el volumen total, aplicando la siguiente fórmula:

$$\text{Volumen} = 0.5233 \times \text{ancho} \times \text{largo} \times \text{grosor}$$

Se determina la cantidad de tejido escrotal para estimar su capacidad de producción seminal (Blanchard et al., 2003; Dascanio y McCuePatrick, 2014). En los sementales maduros, por lo general, miden aproximadamente de 4.5 cm a 6 cm de ancho, de 5 cm a 6.6 cm de grosor y de 8.5 cm a 11 cm de largo (Brinsko et al., 2010).

2.1.3 Características físicas

-Raza

Su determinación medirá el comportamiento de las variables con respecto a cada una de las razas evaluadas en el estudio. El tipo de raza de cada uno de los

sementales se definirá mediante los registros del propietario y con la ayuda de la observación de las características fenotípicas de cada raza.

-Edad

Los dientes, al ser órganos bastante resistentes al paso del tiempo por su consistencia dura, permiten su evaluación para la determinación de la edad, por medio de la evaluación de incisivos que tenga presentes, su desgaste, erupción, la forma que toma la superficie oclusal y su rasamiento (Cardona y Álvarez, 2010); sin embargo, este método no es 100 % certero, por lo que se tomará como segunda opción, pues primeramente se hará la determinación por medio de los registros del productor.

Además, cabe destacar que los equinos presentan siete etapas dentales que ocurren en forma secuencial, iniciando con los dientes incisivos centrales (también llamados pinzas), luego, los medios y, por último, los dientes extremos o cuñas. Las etapas son dientes temporales (de leche), el rasamiento de los dientes de leche, muda de los dientes temporales a permanentes (hueso), el rasamiento de los dientes permanentes, la tabla dentaria cambia de forma (comenzando en forma redonda, posteriormente, forma triangular y, por último, forma biangular, como lo muestra la Tabla 2) (Cardona y Álvarez, 2010).

Tabla 2.
Cronología dentaria equina y sus etapas evolutivas.

Etapas evolutivas	Pinzas	Medios	Extremos
1. Salida de dientes de leche	1° semana	1 – 2 meses	5 – 6 meses
2. Rasamiento de los dientes de leche	1 año	1.5 años	2 años
3. Muda de los dientes de leche a permanentes	2.5 – 3 años	3.5 – 4 años	4.5 – 5 años
Colmillos presente en el macho	Salen a los 4,5 años y se encuentran crecidos a los 5 años		
4. Rasamiento de los dientes de hueso	6 años	7 años	8 años
Cola de alondra	Se forma a los 7/11 años en los extremos superiores		
5. La forma cambia a redonda	9 años	10 años	11 años
6. Triangular	12 años	14 años	17 años
7. Biangular	19 años	20 años	24 años

Nota. Por Cardona y Álvarez, 2010.

2.1.4 Clasificación del examen andrológico:

Equino satisfactorio

Los *animales* representados en esta categoría reproductiva presentan dos testículos normales, producen 100 millones de espermatozoides por ml como mínimo en su concentración espermática; poseen una motilidad total $\geq 60\%$ y un volumen testicular total mínimo de 8 cm³ (Buzón 2013 y Whitesell et al., 2020).

Equino sospechoso

En esta categoría, se clasifican los animales que presentan en su concentración espermática menos de 100 millones de espermatozoides por ml, $< 60\%$ de la motilidad total y el volumen testicular total menor a 8 cm³ (Buzón 2013 y Whitesell et al., 2020).

Equino insatisfactorio

Son aquellos con alguna anomalía en su anatomía reproductiva, como los criptorquidos, lo cual es un rasgo hereditario transmisible a los hijos, presentan en su concentración espermática menos de 50 millones de espermatozoides por ml y <30 % de la motilidad total (Bedford, 2022).

III. MARCO METODOLÓGICO

3.1 Ubicación

El presente estudio se ejecutó a lo largo del Valle Central de Costa Rica, en diferentes fincas dedicadas a la cría, reproducción y/o tenencia de sementales equinos. Específicamente, en las provincias de Alajuela, San José, Cartago y Heredia, de las cuales se describen sus características climáticas en la Tabla 3.

Tabla 3

Características climáticas de las provincias del Valle Central de Costa Rica

Provincia	Temperatura	Humedad	Precipitación
Alajuela	27°C	69%	140 mm
San José	25°C	58%	146 mm
Cartago	23°C	38%	151 mm
Heredia	26°C	55%	143 mm

Nota. Por Weather Spark, s.f.

3.2 Muestra

Se efectuó una investigación de tipo cuantitativa, en la cual se estimó una proporción de la población de equinos presentes en el Valle Central de Costa Rica. La totalidad representada por CENAGRO (2014) es de 29394 equinos, con una proporción de 1:1.7 hembra - macho. Del total de machos (17290), se obtuvo la proporción 1:5 macho entero - macho castrados correspondiendo a 3458 sementales (Solano y WingChing-Jones, 2018) y, a partir del total, se estimó el tamaño de muestra por medio de la siguiente la siguiente fórmula:

$$n = \frac{N Z^2 p q}{d^2 (N - 1) + Z^2 p q}$$

Donde:

p = proporción aproximada del evento en estudio en la población de referencia.

q = proporción de la población de referencia que no presenta el evento en estudio ($1 - p$).

N = tamaño de la población.

Z = valor de Z crítico, calculado en las tablas del área de la curva normal. Llamado también nivel de confianza.

d = nivel de precisión absoluta. Referido a la amplitud del intervalo de confianza deseado en la determinación del valor promedio de la variable en estudio (Aguilar-Barojas, 2005).

Con lo anterior, se determina que la muestra es de 48 equinos, con un 95 % de nivel de confianza y un 2 % de margen de error (Aguilar-Barojas, 2005).

3.3 Métodos

3.3.1 Evaluación física del equino

A partir de la evaluación física del equino, se determinó el peso corporal mediante cinta específica de equinos, condición corporal por medio de observación en una escala de 1-5 y medidas testiculares con ayuda del caliper, tomando las medidas en centímetros. La raza y edad se determinaron por medio de registros de los propietarios y la cronología dentaria, utilizando la Tabla 4 como referencia del registro de cada semental.

Tabla 4

Registro individual de los equinos evaluados desde enero del 2022 a julio del 2023 en el Valle Central de Costa Rica

Lugar de procedencia	ID	Edad	Raza	Peso Corporal	Condición Corporal	Medidas Testiculares (cm)	
						T. izq	T. der
						L:	L:
						Gro:	Gro:
						An:	An:

Nota. Elaboración propia, 2022.

-Determinación de la edad y raza

Para la evaluación de la raza y edad se utilizaron registros aportados por los propietarios con dicha información. Si los propietarios no presentaron el registro de la edad de los animales, se optó por la inspección visual de la dentadura equina con base en la cronología dentaria, la cual brindó información por medio del reconocimiento de la aparición de dientes temporales, muda a permanentes, rasamiento de los dientes y de la forma de la superficie de los dientes, siendo evaluados por medio de las características presentes en la Tabla 2 (Cardona y Álvarez, 2010; Luszczynski y Pieszka, 2011).

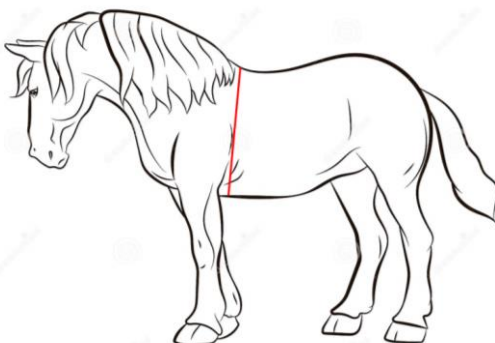
-Determinación de peso

La estimación del peso corporal se evaluó por medio de cinta para el cálculo de peso específica de equinos. Esta se colocó posterior al olecranon en la circunferencia del corazón del semental, se posicionó en línea recta de forma vertical sobre la cruz y a través del esternón. Se determinó mientras el caballo se encuentra en estación, en

pausa y al final de la espiración; se tomó en cuenta la tensión de la cinta, la cual debe de ser variable (Wagner y Tyler, 2011; Hoffmann et al., 2013).

Figura 2

Zona de colocación de la cinta (línea roja) para la determinación del peso en equinos



Nota. Elaboración propia, 2022.

-Determinación de condición corporal

Esta evaluación se determinó a través de la observación y palpación; la CC con referencia al sistema de puntuación de condición corporal (BCS), basado en una puntuación de 5, considerando el punto número 1 como CC pobre y el punto número 5 como obesidad. Así, se determina el grado de grasa del cuello, lomo, cruz, costillas y cuartos traseros, con ayuda de las características presentes en la Tabla 1 y representación gráfica de la Figura 1 (Carroll y Huntington, 1988).

-Determinación de las medidas testiculares

Se ejecutó mediante la utilización del caliper digital en cm, el cual contiene una precisión de ± 0.02 cm. Su medición se realizó con el semental amarrado. Se tomaron los testículos y se inspeccionó su contenido mediante la palpación manual para la

examinación de cualquier anormalidad; se sujetaron uniformemente y de manera suave en la parte ventral del escroto, para determinar la medida más ancha de ambos testículos (Figura 3), cuidando no alterar la forma de los testículos artificialmente.

De la misma manera, se midió la longitud y altura de cada uno de los testículos, moviendo uno para tomar las medidas del otro y, posteriormente, se utilizó la siguiente fórmula para el cálculo del volumen:

$$\text{Volumen} = 0.5233 \times \text{ancho} \times \text{largo} \times \text{grosor}$$

Dicho cálculo se realizó a cada uno de los testículos y los resultados se sumaron para obtener el volumen testicular total (Blanchard, et al., 2003; Descanio y McCuePatrick, 2014).

Figura 3

Medición de testículos por medio del caliper para la obtención del volumen testicular



Nota. Por Descanio y McCuePatrick, 2014.

3.3.2 Evaluación reproductiva del equino

Se realizó la colecta de semen por medio de vagina artificial y se evaluaron las características seminales del eyaculado de los sementales por medio del *software*

iSperm®, el cual determinó la concentración espermática en millones/ml y la motilidad en porcentaje. El volumen de eyaculado se midió en un tubo cónico de 50 ml y se registró en la Tabla 5.

Tabla 5

Registro seminal de los equinos evaluados desde enero del 2022 a marzo del 2023 en el Valle Central de Costa Rica

ID	Concentración espermática mill/ml	Motilidad espermática %	Volumen eyaculado (ml)
----	-----------------------------------	-------------------------	------------------------

Nota. Elaboración propia, 2022.

- Colecta de semen

Se realizó la colecta de semen por medio de vagina artificial Missouri, con ayuda de una hembra en celo. La vagina artificial contiene una cubierta de cuero externa y un revestimiento de hule de doble pared que permite dar la sensación más natural al equino a la hora de la colecta; a este doble revestimiento, se le agregó agua caliente entre 40°C – 45°C, para que tenga la temperatura adecuada, y, posteriormente, se lubricó con un gel que no fuera espermaticida y se procede con la colecta. El eyaculado se depositó en un chupón especial de la vagina artificial (Dascanio y Miller, 2021).

-Determinación de la concentración y motilidad espermática

La evaluación de la concentración de espermatozoides y la motilidad espermática se realizó por medio del software iSperm®, el cual es una alternativa práctica y confiable para su medición a campo y representa mediciones objetivas aplicándolas de forma específica por especie. El colector de muestras tiene un chip de muestreo en el cual se le depositaron 0.75 µm de la muestra de semen y, luego, se

cubrió con un chip de base para crear una profundidad de la cámara de muestreo de 20 μm .

En el siguiente paso, el colector de muestras se insertó en la parte posterior, la fuente de luz es encendida y la cámara del iPad es utilizada para la visualización de espermatozoides con un aumento de 200x; el análisis duró aproximadamente 10 segundos y los resultados fueron expuestos en la pantalla del dispositivo (Dini et al., 2019; Moraes et al., 2019).

-Determinación del volumen de eyaculado

Se realizó la medición del volumen de eyaculado sin gel. Después de la colecta de semen, se pasó el eyaculado a través de un filtro de papel, para separar la porción de gel y los residuos extraños (esmegma, suciedad y pelo). Posteriormente, el semen sin gel se depositó en un tubo cónico de 50 ml, para determinar con precisión visual su medida a través de la medida que muestra el tubo.

3.3.3 Clasificación andrológica

Se determinó la clasificación andrológica de cada semental en relación con la presencia de ambos testículos en el escroto, la cantidad de espermatozoides presentes en el eyaculado y su motilidad, y el volumen testicular, clasificándolos en satisfactorio, sospechoso e insatisfactorio.

3.3.4 Clasificación de las características físicas

- Clasificación de la edad

Según la edad correspondiente de los equinos, posteriormente fueron categorizados en tres diferentes grupos: los jóvenes, que abarcan edades desde los 3

años a los 4 años; los adultos, con edades que van desde los 5 años a los 16 años y los geriátricos, con edades a partir de los 17 años en adelante.

- Clasificación de razas y pesos

Según la raza y el peso, los individuos evaluados fueron divididos en caballos de talla liviana los que pesan entre 250 – 500 kg y de tiro pesado los que presentaban un peso mayor a 500 kg.

- Clasificación de la condición corporal

Según la CC que fue asignada a cada equino, posteriormente, se realizó la categorización en tres diferentes grupos: baja CC, los que presentaron CC de 1 a 2.75; adecuada, los que obtuvieron puntaje de 3 a 3.25, y obesos, los que recibieron puntaje de 3.5 a 5.

3.4 Análisis de datos y método estadístico

Se realizó un análisis estadístico descriptivo (media, error estándar, valor mínimo, máximo, y desviación estándar) de las variables (concentración, motilidad, volumen de eyaculado y medidas testiculares) y de frecuencia para edad, raza, CC y peso. Además, se aplicó un modelo de regresión multivariada entre tres variables dependientes, siendo estas la concentración espermática, motilidad espermática y el volumen de eyaculado y cinco variables independientes correspondiendo al peso, CC, edad, raza y volumen testicular (Moral, 2016).

Además, hay que decir que este estudio se llevó a cabo mediante el programa estadístico Minitab® (Versión 21,4 (64-bit)).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Estadística descriptiva

En la Tabla 6, se muestra la media, error estándar, valor mínimo, valor máximo y desviación estándar para las mediciones de concentración espermática, motilidad y volumen de eyaculado de todos los equinos evaluados.

Tabla 6

Estadística descriptiva para concentración, motilidad espermática y volumen de eyaculado del total de equinos evaluados

Variable	Media	E.E	D.E	Mín.	Máy.
Conc. Espermática (mill/ml)	234.1	25.1	173.9	0.0	619.1
Motilidad esp. (%)	36.9	3.3	23.1	0.0	96.0
Vol. Eyaculado (ml)	54.8	4.28	29.6	7.50	120.0

E.E= Error estándar; D.E= Desviación estándar; Mín.= Mínimo; Máx.= Máximo

Se observó que la media de la concentración espermática se encontró por encima de 100 millones por ml, por lo cual se asume de manera general que el promedio de machos analizados posee el valor mínimo para la obtención de una adecuada fertilización, como lo mencionó Davies (2005).

Además, se obtuvo un valor mínimo de concentración de cero, esto debido a la presencia de un animal azoospermico, (eyaculado sin espermatozoides). A su vez, varios individuos presentaron valores por encima de 100 millones por ml, número mínimo para obtener índices de fertilización ideales.

Con referencia a la motilidad espermática, la media se encontró por debajo del porcentaje recomendado (>60 %), según lo reportado por Buzón (2013), lo cual indica

que la mayoría de equinos no presentaron una adecuada capacidad fertilizante del eyaculado para lograr conseguir una preñez. Asimismo, se observó que el valor mínimo fue de 0%, esto por el efecto del individuo azoospermico, lo que implicó que los valores se vean disminuidos.

Por su parte, la media del volumen de eyaculado se encontró dentro del rango ideal (25 – 300 ml) indicado por Weese y Munroe (2011), lo que hace referencia a que los equinos presentaban volúmenes adecuados de semen para asegurar una preñez, sin embargo, muchos de estos individuos tenían baja cantidad de espermatozoides en el eyaculado y baja motilidad, lo que implicó que el eyaculado no presentó las características adecuadas para garantizar una gestación.

Por otro lado, el valor mínimo se encontró por debajo de lo recomendado, significando esto que algunos de los individuos evaluados no presentaron la cantidad suficiente de semen para el aseguramiento de una preñez.

- Medidas testiculares

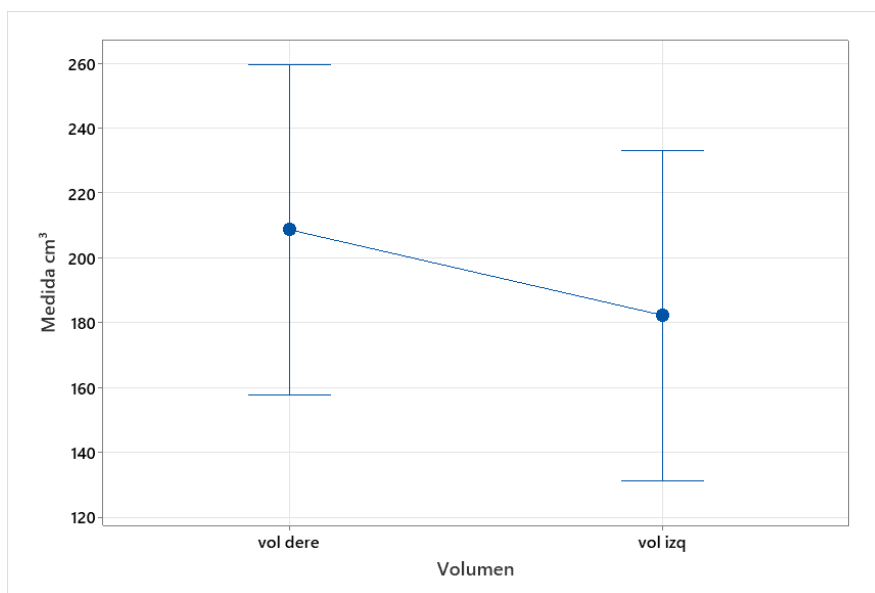
En el análisis de las medidas testiculares en el total de equinos evaluados, se presentó para el testículo izquierdo una media del largo escrotal de 9.7 ± 3.1 cm, para el grosor de 4.9 ± 1.5 cm y para el ancho 5.9 ± 2.0 cm, determinando así que no hay mucha dispersión en los datos.

Por otra parte, el testículo derecho presentó una media de 10.2 ± 2.9 cm para el largo escrotal, 5.1 ± 1.7 cm para el grosor y 6.2 ± 2.0 cm para el ancho, determinando de igual manera que no hay mucha dispersión en los datos; así mismo, se demostró que el testículo derecho fue de mayor tamaño comparado al testículo izquierdo, sin embargo, no presentaron una diferencia estadísticamente significativa (Figura 4, $p > 0.05$), lo que

difiere de lo reportado por Pricking et al. (2017), implicando que no todos los equinos evaluados tendrán el testículo derecho de mayor tamaño que el izquierdo.

Figura 4

Comparación de las medidas testiculares del volumen en general



- Frecuencia estadística

Los equinos evaluados presentaron edades desde 3 años a los 26 años. La distribución según la clasificación fue 17 % jóvenes (8/48), 71 % adultos (34/48) y 12 % geriátricos (6/48). El peso varió desde los 263 kg a los 600 kg, la distribución fue 96 % livianos (46/48) y 4 % pesados (2/48), y el rango más común (5/48) fue de 420 kg correspondiendo a los livianos.

Cabe destacar que las razas estudiadas fueron Iberoamericano, Costarricense de Paso, Español, Cuarto de Milla, Frisón, Cuarto de Milla-Criollo y Appaloosa. Estas fueron clasificadas -según el peso- en livianos 96 % (46/48) y 4 % pesados (2/48), de las cuales la mayor cantidad correspondió a la raza liviana Iberoamericano (21/48). Respecto a la CC, fue categorizada en baja 25% (12/48), adecuada 42% (20/48) y

obesos 33% (16/48), siendo la más frecuente la considerada como adecuada, según como lo mencionan Carroll y Huntington (1988).

- Clasificación andrológica

Los individuos examinados se categorizaron en tres grupos, según sus características físicas (volumen testicular) y seminales. El grupo de satisfactorios (n=6) representó el 13 % de la población; el de sospechosos (n=27) el 56 % de individuos, y en el grupo de insatisfactorios (n=15), sobresalió un 31 %. Debido al bajo número de individuos en cada categoría, los efectos sobre estos pudieron verse sesgados, esto sumado a que la mayoría de animales analizados (87 %) no eran aptos para ser utilizados como sementales al momento de la evaluación.

En la Tabla 7, se muestran la media, la desviación estándar, valor mínimo y máximo para los animales de las categorías de satisfactorio, sospechoso e insatisfactorio.

-Satisfactorios andrológicamente

En su mayoría, los animales andrológicamente satisfactorios eran de 10 años, correspondiendo a la categoría de adultos, con un peso promedio de 465 kg y de las razas Iberoamericano, Costarricense de paso y Español en igual proporción. A su vez, presentaron una media en la concentración espermática (346.9 mill/ml) por encima de 100 millones por ml, número aceptable para una adecuada fecundación.

En cuanto a la motilidad, esta fue de (75.1%) >60 %, porcentaje que representa una alta capacidad fertilizante del eyaculado y, además, obtuvieron un volumen testicular total en su media de 551 cm³, número que se encontró por encima (8 cm³) de lo mencionado por Whitesell et al. (2020), lo cual confirma que dichos animales

cumplen con las tres variables de aceptación para que entren en dicha categoría (también, presentan ambos testículos descendidos).

Tabla 7

Estadística descriptiva para concentración, motilidad espermática y volumen testicular total de equinos según su clasificación andrológica.

	Variable	Media	D.E.	Mín.	Máx.
Satisfactorios	Conc. Espermática (mill/ml)	346.9	185.6	114.0	558.4
	Motilidad esp. (%)	75.1	11.8	64.0	96.0
	Vol. Testicular (cm ³)	551.0	506.0	93.0	1489.0
Sospechosos	Conc. Espermática (mill/ml)	283.6	154.4	104.3	619.1
	Motilidad esp. (%)	38.3	15.6	4.0	59.0
	Vol. Testicular (cm ³)	355.0	307.7	87.0	1402.4
Insatisfactorios	Conc. Espermática (mill/ml)	98.0	124.3	0.0	421.9
	Motilidad esp. (%)	19.2	18.1	0.0	56.0
	Vol. Testicular (cm ³)	391.1	328.4	19.6	1025.7
D.E= Desviación estándar; Mín.= Mínimo; Máx.= Máximo					

- Sospechosos andrológicamente

Los sementales categorizados como sospechosos, en su mayor parte, fueron de la raza Iberoamericano, con un peso de 420 kg y una edad de 4 años, correspondiendo a la categoría de jóvenes (Tabla 7), en los cuales la media para la concentración espermática fue de 283 mill/ml, número que se encontró dentro del rango (≥ 100 mill/ml) para determinar una adecuada fertilidad.

Con respecto a la motilidad, la media se encontró por debajo del rango aceptable (>60 %) para considerarse un semental andrológicamente satisfactorio, debido a la baja capacidad fertilizante del eyaculado, como fue descrito por Whitesell et al. (2020). A su

vez, el volumen testicular obtuvo una media de 355 cm³, medición que no se encontró muy por debajo (>8 cm³) para que entren en la categoría de aceptación.

Al presentar los tres criterios (concentración, motilidad y volumen testicular) por debajo de los rangos aceptables, se diagnosticaron en esta categoría hasta que el problema de subfertilidad sea detectado o se resuelva con el tiempo.

- Insatisfactorios andrológicamente

El 31 % de animales evaluados fue considerado como insatisfactorio, siendo la raza más frecuente la Iberoamericana, el peso de 385 kg y la edad de 9 años, correspondiendo a la categoría de jóvenes. Presentaron una media (Tabla 7) en la concentración espermática de 98 mill/ml, rango que se encontró por debajo de los 100 mill/ml, cantidad mínima para una adecuada fertilización.

Aunado a lo anterior, la media en la motilidad fue de 19.2 %, número que se encontró por debajo del rango aceptable (>60 %), lo que indica una baja capacidad fertilizante del eyaculado, como fue descrito por Whitesell et al. (2020). En cuanto a la media para el volumen testicular total (391.1 cm³) se obtuvo un rango dentro del criterio (>8 cm³), según lo indicado por Whitesell et al. (2020), lo que sugiere que la mayoría de equinos, a pesar de estar en esta categoría, presentaron testículos de tamaños ideales.

A pesar de lo anterior, en dicha categoría, se presentó un animal azoospermico que bajó los rangos de mínimo-máximo a 0 mill/ml en concentración y 0% en motilidad espermática; esto debido a degeneración en el parénquima testicular u otras razones de las cuales se deben valorar individualmente, como fue mencionado por Monteiro y Arruda (2017). También, destaca que el 6 % de los individuos en estudio fueron

criptorquidos, anormalidad anatómica que hace que estos animales entren en la categoría de insatisfactorios, por no cumplir con los criterios de aceptación.

Con respecto a la concentración espermática y la motilidad, según las categorías de diagnóstico andrológico (satisfactorio, sospechoso e insatisfactorio), existen diferencias estadísticamente significativas entre ellas ($p < 0.05$), lo que indicó que, conforme el equino se encuentre en una mejor categoría diagnóstica, aumentarán así los valores de concentración y motilidad espermática; sin embargo, con respecto al volumen de eyaculado, no hay diferencia estadística ($p > 0.05$) entre las categorías diagnósticas, lo que implicó que el volumen de eyaculado no varía con respecto al diagnóstico andrológico en este caso.

4.2 Análisis de regresión

Con respecto al efecto de las características físicas (peso, edad, raza, CC y volumen testicular total) sobre las características seminales (concentración espermática, motilidad y volumen de eyaculado) en el total de equinos evaluados, no se presentó correlación estadística ($p > 0.05$), lo que implicó que hasta el momento no se puede asumir que al presentarse ciertas características físicas se vayan a dar cambios en las características seminales.

En cuanto al efecto de las variables físicas (peso, edad, raza y CC) sobre la concentración espermática en cada categoría de diagnóstico andrológico (satisfactorio, sospechoso e insatisfactorio), no se dio ($p > 0.05$), lo que sugiere que no existe una correlación entre las variables, como fue reportado por Aznarán (2019).

Aunado a lo anterior, el efecto de estas variables físicas sobre la motilidad y el volumen de eyaculado en cada uno de los tres diagnósticos andrológicos, tampoco se

encontró significancia estadística ($p>0.05$), como fue reportado por Dos Santos et al. (2021), lo que implicó que hasta el momento no se puede asumir -con base en las características físicas- los valores de las características seminales evaluadas.

- Volumen testicular según su diagnóstico andrológico

En los individuos andrológicamente satisfactorios, el volumen testicular demostró una alta variabilidad (Tabla 8). La media del testículo izquierdo fue de $193.5 \pm 224.6 \text{ cm}^3$. Adicionalmente, la media del testículo derecho fue de $298.0 \pm 316.0 \text{ cm}^3$, lo que indicó que en ambos testículos existe mucha variabilidad en los datos.

Por otra parte, el volumen testicular total presentó una media de 551.0 cm^3 , demostrando que estas medidas fueron mucho mayores a las que se reportaron por Muñoz et al. (2016), implicando que los equinos evaluados presentan volúmenes testiculares mayores y, por ende, mayor capacidad de producción espermática.

Tabla 8

Volumen testicular de equinos satisfactorios, sospechosos e insatisfactorios

Categoría	Volumen (cm³)	Media	D.E	Mín.	Máy.
Satisfactorios	TI	193.5	224.6	20.1	616.5
	TD	298.0	316.0	62.0	873.0
	Total	551.0	506.0	93.0	1489.0
Sospechosos	TI	181.5	167.4	35.7	690.8
	TD	173.4	147.5	25.3	711.7
	Total	355.0	307.7	87.0	1402.4
Insatisfactorios	TI	180.8	146.9	7.1	517.9
	TD	256.6	185.4	12.6	644.7
	Total	391.1	328.4	19.6	1025.7

TI= Testículo izquierdo; TD= Testículo derecho; D.E= Desviación estándar; Mín.= Mínimo; Máx.= Máximo

Como se ve en la Tabla 8, los volúmenes testiculares de las categorías de sospechosos, en comparación a los insatisfactorios, demostraron gran diferencia de las medidas. Los animales clasificados como sospechosos presentaron las mediciones testiculares mayores que los insatisfactorios, sin embargo, no hubo significancia estadística ($p>0.05$), lo que implicó que los equinos con volúmenes testiculares por encima del criterio de aceptación ($>8\text{ cm}^3$) podrían entrar en la categoría de reproductores aptos, siempre que cuenten los otros criterios de clasificación.

En cuanto a la relación entre el volumen testicular con el volumen de eyaculado y la concentración espermática de la totalidad de individuos en estudio, no obtuvieron relación estadística ($p>0.05$), por lo que no se puede predecir que, conforme aumente el volumen testicular, será mayor el volumen de eyaculado y la concentración espermática.

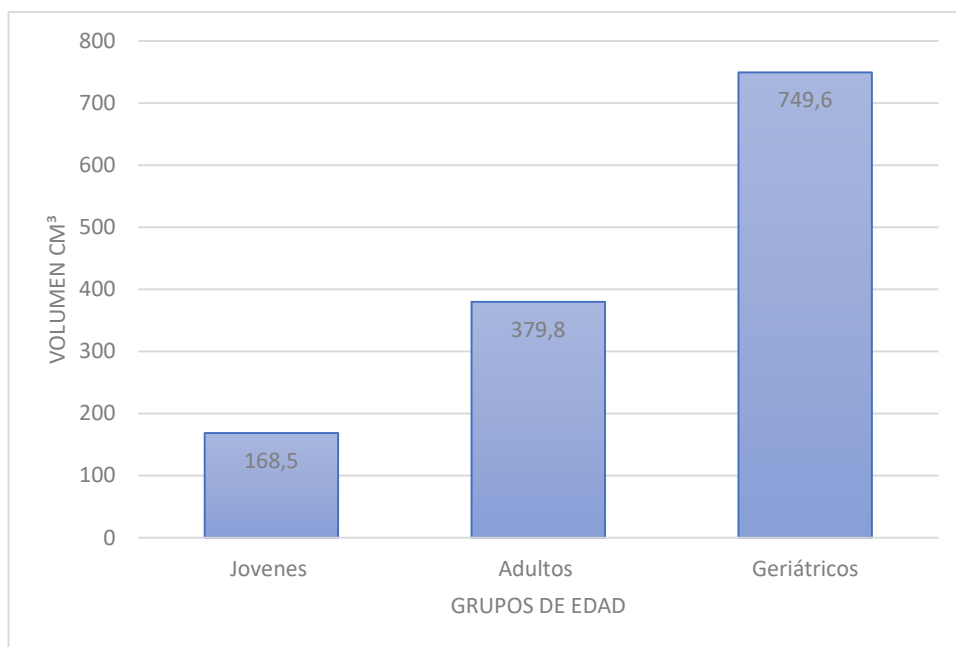
Por su parte, el efecto del volumen testicular con respecto al volumen de eyaculado de los 3 grupos categóricos no presentó significancia estadística ($p>0.05$), como fue reportado por Jiménez (2022). Además, en la correlación del volumen testicular con la concentración espermática en cada categoría diagnóstica tampoco se obtuvo correlación estadística ($p>0.05$), lo cual difiere de lo observado por Jiménez (2022).

Lo anterior demuestra que no hay efecto de forma general en la población estudiada ni tampoco una tendencia en las categorías diagnósticas, por lo que no se puede predecir el volumen de eyaculado y la concentración espermática por medio del volumen testicular en los equinos de esta investigación, a pesar de obtener resultados evidentemente menores en las categorías de sospechosos e insatisfactorios de manera general.

En contraste a lo anterior, con referencia a los datos obtenidos en el estudio, se estimó que, conforme aumenta la edad, el volumen testicular es mayor (Figura 5, $p<0.05$), lo cual coincide con lo afirmado por Dos Santos et al. (2021). Esto implicó que, conforme aumente la edad, el volumen testicular será mayor y así indirectamente la producción de espermatozoides, hasta que los efectos seniles normales la afecten.

Figura 5

Comparativa de medias de volumen testicular según los grupos de edad de los equinos estudiados.



V. CONCLUSIONES

En el estudio, se demostró que existe una alta variabilidad de las medidas físicas y seminales en los equinos evaluados, los cuales se categorizaron en satisfactorios, sospechosos e insatisfactorios, siendo los equinos sospechosos los más evaluados (56%). Esto implicó que la mayoría de equinos en el Valle Central de Costa Rica no tienen las características reproductivas adecuadas para ser usados como sementales rutinariamente y para muchos de ellos (31%) debería considerarse su castración.

Además, al no existir en este estudio relación entre las variables físicas y seminales, asumir por medio de las características físicas la capacidad espermática de los sementales es inconclusa, sin antes hacer más investigaciones donde la población a estudiar sea únicamente de equinos satisfactorios. A esto, se une la importancia de realizar el examen andrológico completo de manera rutinaria, para conocer el estado reproductivo y el pronóstico del animal, así como utilizar herramientas complementarias como la ecografía testicular.

A su vez, se encontró que existe una gran variación en relación con el volumen testicular total con respecto a cada uno de los animales analizados, y que el testículo derecho fue de mayor tamaño que el izquierdo.

Por otro lado, en Costa Rica, aún se utilizan caballos criptorquidos como padrotes, debido a que la capacidad de fecundación no es de las primeras opciones al elegir un semental, encontrándose con mayor importancia las características de raza, premios, deporte, entre otros. Debido a esto, es muy importante realizar el examen andrológico, ya que los sementales con esta alteración en el estudio obtuvieron

resultados mejores en relación con la concentración y motilidad espermática, comparados con los caballos normales.

También, al no existir correlación entre el volumen testicular, la concentración espermática y el volumen de eyaculado ($p>0.05$), no se puede comprobar que los individuos con testículos de mayor tamaño tuvieran mayor producción de semen, esto debido a que la mayoría de equinos fueron insatisfactorios o sospechosos (87%), por lo cual sus variables espermáticas estaban alteradas; sin embargo, sí se pudo determinar que -en los caballos evaluados-, conforme se aumenta la edad, el volumen testicular también.

Finalmente y adicional a lo anterior, para mejorar la calidad de semen que no posee las condiciones ideales para preñez, se han introducido al mercado muchos mejoradores seminales, además de técnicas como la inseminación artificial (IA) e IA profunda, las cuales permiten la utilización de semen con un bajo número de espermatozoides, lo que genera un aumento en la capacidad de reproducción.

VI. RECOMENDACIONES

Clasificar andrológicamente a los equinos es importante para conocer su estado reproductivo y así determinar la capacidad de fecundación y un correcto pronóstico. Es por esto que el examen andrológico (BSE) se debe de realizar al menos una vez al año o antes de hacer una colecta, indiferentemente de su finalidad reproductiva, ya que, al no poder relacionar aún las características físicas con las reproductivas, no hay forma de asumir su potencial como semental sin realizar el BSE.

Además, es recomendable realizar las mediciones completas de los testículos, ya que este es un criterio de evaluación para la clasificación andrológica, pues indica la relación de tejido testicular con la producción de espermatozoides. Asimismo, al confirmar una variabilidad en el tamaño de los testículos, es importante no descartar machos por esto, siempre y cuando se encuentren dentro de los parámetros normales y presenten ambos testículos.

A su vez, es relevante ampliar las investigaciones sobre la correlación de las medidas seminales y físicas en equinos en el país, realizando agrupaciones de razas, edades y con diagnóstico satisfactorio, debido a que esta investigación presentó gran variabilidad y es probable que por esto no se obtuvo un efecto significativo, por lo que aún quedan muchos vacíos investigativos sobre del comportamiento reproductivo de los machos de esta especie en Costa Rica.

Por último, es de gran trascendencia realizar programas de educación a los propietarios y organizaciones de equinos en el país, para que puedan entender la importancia de esta evaluación y así implementarla con mayor frecuencia para agregarle mayor valor al equino reproductor.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar-Barojas, S. (2005). Fórmulas para el cálculo de la muestra en investigaciones de salud. *Salud en Tabasco*, 11(1-2), 333–338. <https://acortar.link/OpN6eE>
- Alvarenga, M. A., Ozanam, F., y Ramírez, C. (2016). Advances in Stallion Semen Cryopreservation. *ELSEVIER*, 32(3), 521–530. <https://acortar.link/OMBF2J>
- Aznarán Vigo, R. (2019). *Relación entre el volumen testicular, volumen del eyaculado y concentración espermática en caballos inscritos en la asociación de criadores y propietarios del caballo peruano de paso–Lambayeque* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo]. Repositorio Institucional UNPRG. <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/4597>
- Bedford, S. (2022). Breeding Soundness Examination of Stallions. *MSD Manual*. <https://acortar.link/hHiwI7>
- Blanchard, T., Varner, D., Schumacher, J., Love, C., Brinsko, S., & Rigby S. (2003). *Manual of Equine Reproduction*. (2.^a ed.). Mosby.
- Brito, L. F., Althouse, G. C., Aurich, C., Chenoweth, P. J., Eilts, B. E., Love, C. C., & Waberski, D. (2016). Andrology laboratory review: Evaluation of sperm concentration. *Theriogenology*, 85(9), 1507-1527. <https://acortar.link/dnMD63>
- Brinsko, S. P., Blanchard, T. L., Varner, D. D., Schumacher, J., & Love, C. C. (2010). *Manual of equine reproduction*. Elsevier Health Sciences.
- Buzón, A. (2013). *Análisis cinético y morfométrico del espermatozoide del caballo empleando el sistema Sperm Class Analyzer* [Tesis doctoral, Universidad de Córdoba]. <https://acortar.link/0Ffq7a>

- Cardona, J. A., & Álvarez, J. (2010). Estimación de la edad de los caballos basado en el examen dentario. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 13(1), 29-39. <https://acortar.link/QfY0kj>
- Carroll, CL, & Huntington, PJ (1988). Puntuación de la condición corporal y estimación del peso de los caballos. *Diario veterinario equino*, 20, 41-45.
<https://acortar.link/c6A1Xp>
- Catalano, D. N., Coleman, R. J., Hathaway, M. R., Neu, A. E., Wagner, E. L., Tyler, P. J., & Martinson, K. L. (2019). Estimation of actual and ideal bodyweight using morphometric measurements of Miniature, saddle-type, and Thoroughbred horses. *Journal of equine veterinary science*, 78, 117-122.
<https://doi.org/10.1016/j.jevs.2019.04.008>
- Chacón, J., Arias, A., Barrantes, K., & Vargas, B. (2014). *Correlations between body weight and scrotal circumference with age at puberty in zebu steers raised under tropical conditions*. 9ª Conferencia Bienal de la Asociación de Andrología Animal Aplicada. <https://acortar.link/lhWfAN>
- Dascanio, J., & McCue, P. (2014). Measurement of Testicular Size and Estimation of Daily Sperm Output. *Equine Reproductive Procedures*. 386–388.
<https://doi.org/10.1002/9781118904398.ch117>
- Dascanio, J., & Miller, L. (2021). Missouri Artificial Vagina. *Equine Reproductive Procedures*, 433-435.
- Davies M. (2005). Inseminación Artificial. *Fisiología de la reproducción de los équidos, cría y manejo*. (2.ª ed.). Ed Acribia.
- Dini, P., Troch, L., Lemahieu, I., Deblende, P., & Daels, P. (2019). Validation of a portable device (iSperm®) for the assessment of stallion sperm motility and

- concentration. *Reproduction in Domestic Animals*, 54, 1113–1120.
<https://doi.org/10.1111/rda.13487>
- Dos Santos, F., Curcio, B., & Wayne, C. (2021). Body and testicular biometry of Crioulo. *Ciencia Rural*, 52, 1-5. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20210156>
- Gottschalk, M., Sieme, H., Martinsson, G., & Distl, O. (2016). Analysis of breed effects on semen traits in light horse, warmblood, and draught horse breeds. *Theriogenology*, 85(8), 1375–1381. <https://acortar.link/29Q9uJ>
- Hoffmann, G., Bentke, A., Rose-Meierhöfer, S., Ammon, C., Mazetti, P., & Hardarson, G. (2013). Estimation of the Body Weight of Icelandic Horses. *Journal of Equine Veterinary Science*, 33, 893–895. <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2013.01.002>
- INEC. (2015). *VI Censo Nacional Agropecuario*. San José, Costa Rica.
- Jensen, R.B., Danielsen, S.H., & Tauson, AH. (2016). Body condition score, morphometric measurements and estimation of body weight in mature Icelandic horses in Denmark. *Acta Vet Scand*, 58(59). <https://acortar.link/O3JQ3y>
- Jiménez, E. (2022). *Correlación entre el diámetro escrotal y características seminales en el caballo peruano de paso en cuatro criaderos de la costa* [Tesis de maestría, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio Institucional UNALM. <https://acortar.link/mpgqwz>
- Love, C. C. (2007). Reproductive examination of the stallion: evaluation of potential breeding soundness. *Vet Clin North Am Equine Pract*, 8(1), 149-165.
<https://acortar.link/ph6Wmf>
- Łuszczynski, J., & Pieszka, M. (2011). Usefulness of Selected Incisor Characteristics for Determining the Age of Hucul Horses. *Annals of Animal Science*, 11(4), 569–575.
<https://doi.org/10.2478/v10220-011-0008-9>

- Monteiro, G., & de Arruda, A. (2017). Causas e Tratamentos de Distúrbios Ejaculatórios em Equinos. *Rev. Científica de Med. Vet. Periódico Semestral*, (28).
- Moraes, C., Runcan, E., Blawut, B., & Coutinho da Silva, M. (2019). The use of iSperm technology for on-farm measurement of equine sperm motility and concentration. *Translational Animal Science*, 3(4), 1513-1520.
<https://doi.org/10.1093/tas/txz115>
- Moral, I. (2016). Modelos de regresión: lineal simple y regresión logística. *Revista Seden*, 14, 195-214. <https://revistaseden.org/files/14-CAP%2014.pdf>
- Muñoz-Alonzo, L., Morales Quintana, F., Ortiz Ramírez, R., Cruces Leal, J., Briones Luengo, M., & Saravia Ramos, F. (2016). Medición testicular en sementales de raza caballo chileno enteros y castrados unilateralmente. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 27(2), 303-308.
- Perumal, P. (2014). Scrotal Circumference and Its Relationship with Testicular Growth, Age, and Body Weight in Tho Tho (*Bos indicus*) Bulls. *International Scholarly Research Notices*, 1–6. <https://doi.org/10.1155/2014/249537>
- Pricking, S., Bollwein, H., Spilker, K., Martinsson, G., Schweizer, A., Thomas, S., Oldenhof, H., & Sieme, H. (2017). Testicular volumetry and prediction of daily sperm output in stallions by orchidometry and two- and three-dimensional sonography. *Theriogenology*, 104, 149–155. <https://acortar.link/KEUuEc>
- República de Costa Rica. (2004). *Informe preliminar del país sobre la situación nacional de los recursos zoo genéticos*. (Publicación 45 p. ISBN: 9968-877-14-X). Ministerio de Ganadería. <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/L01-8819.pdf>
- Silva Rua, M. A. (2014). *Biometria testicular, avaliação do sêmen e do comportamento sexual de garanhões do norte do estado do Rio de Janeiro* [Tesis de maestría,

- Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro]. Repositorio Institucional UENF. <https://acortar.link/h5os87>
- Solano Mora, G., & WingChing-Jones, R. (2018). Estructura de hato y manejo nutricional, sanitario, reproductivo y ambiental del caballo iberoamericano en Costa Rica. *UNED Research Journal*, 10(2), 428–434.
<https://doi.org/10.22458/urj.v10i2.2172>
- Trillaud-Geyl, C., Martin-Rosset, W., & Magistrini, M. (2015). The stallion. *Equine nutrition*, 157-168.
- Varner, D. (2016). Approaches to breeding soundness examination and interpretation of results. *Journal of Equine Veterinary Science*, 43, S37-S44.
<https://doi.org/10.1016/j.jevs.2016.06.075>
- Viquez, C. (2018). Factores ambientales y genéticos que afectan la circunferencia escrotal y el peso corporal de toretes cebú en Costa Rica [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Costa Rica]. Repositorio Institucional UNA.
<https://repositorio.una.ac.cr/handle/11056/20680>
- Wagner, E., & Tyler, P. (2011). A comparison of weight estimation methods in adult horses. *Journal of Equine Veterinary Science*, 31(12), 706-710.
<https://doi.org/10.1016/j.jevs.2011.05.002>
- Weather Spark. (s.f.). *El tiempo en Costa Rica*. Consultado el 10 de julio de 2023.
<https://acortar.link/y7H32B>
- Weese, S. y Munroe, G. (2011). *Equine clinical medicine, surgery and reproduction*. Manson Publishing Ltd.

Whitesell, K., Stefanovski, D., McDonnell, S., & Turner, R. (2020). Evaluation of the effect of laboratory methods on semen analysis and breeding soundness examination (BSE) classification in stallions. *Theriogenology*, 142, 67-76.

VIII. ANEXOS

CARTA DE AUTORIZACIÓN PARA USO Y MANEJO DE LOS TRABAJOS FINALES DE GRADUACIÓN UNIVERSIDAD TÉCNICA NACIONAL

Alajuela, 27 setiembre de 2023.

Señores

Vicerrectoría de Investigación

Sistema Integrado de Bibliotecas y Recursos Digitales

Estimados señores:

Yo Brenda Sancho Fernández portador (a) de la cédula de identidad número 207170448. En mi calidad de autor (a) del trabajo de graduación titulado: Clasificación andrológica de equinos del Valle Central de Costa Rica y su relación con variables físicas y espermáticas.

El cual se presenta bajo la modalidad de:

_____ Seminario de Graduación

_____ Proyecto de Graduación

 X Tesis de Graduación

Presentado en la fecha 31 / 08 / 23, autorizo a la Universidad Técnica Nacional, sede Atenas, para que mi trabajo pueda ser manejado de la siguiente manera:

Autorizo	
Conservación de ejemplares para préstamo y consulta física en biblioteca	X
Inclusión en el catálogo digital del SIBIREDI (Cita catalográfica)	X
Comunicación y divulgación a través del Repositorio Institucional	X
Resumen (Describe en forma breve el contenido del documento)	X
Consulta electrónica con texto protegido	X
Descarga electrónica del documento en texto completo protegido	X
Inclusión en bases de datos y sitios web que se encuentren en convenio con la Universidad Técnica Nacional contando con las mismas condiciones y limitaciones aquí establecidas.	X

Por otra parte, declaro que el trabajo que aquí presento es de plena autoría, es un esfuerzo realizado de forma personal, académica e intelectual con plenos elementos de originalidad y creatividad. Garantizo que no contiene citas, ni transcripciones de forma indebida que puedan devenir en plagio, pues se ha utilizado la normativa vigente de la American Psychological Association (APA). Las citas y transcripciones utilizadas se realizan en el marco de respeto a las obras de terceros. La responsabilidad directa en el

diseño y presentación son de competencia exclusiva, por tanto, eximo de toda responsabilidad a la Universidad Técnica Nacional.

Conscientes de que las autorizaciones no reprimen nuestros derechos patrimoniales como autores del trabajo. Insto a la Universidad Técnica Nacional a que respete y haga respetar mis derechos de propiedad intelectual.

Firma del estudiante



Número de identificación 207170448

Fecha 27/09/23