

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

**CONTRIBUCIÓN AL ESTABLECIMIENTO DE VALORES DE
REFERENCIA DE ALGUNOS PARÁMETROS FISIOLÓGICOS EN
PERROS ADULTOS DE TALLA MEDIANA DEL VALLE DE MÉXICO**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA**

PRESENTA

FERNANDO HERNÁNDEZ MORGADO

Asesora:

Dra. María del Carmen Frías Domínguez

Ciudad Universitaria, CDMX 2021



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.

Agradecimientos

A mi maravillosa madre, Guadalupe M., quien incansablemente ha trabajado por el bienestar y desarrollo de sus hijos, inculcando valores y exhortando a siempre ser buenas personas; sin tu apoyo ninguno de mis logros se habría hecho realidad.

A mis hermanos Ximena y David quienes siempre me han apoyado; los quiero mucho.

A mi padre Fernando H., quien ha fomentado en mí las virtudes del estudio y el ejercicio.

A la Dra. María del Carmen Frías Domínguez quién ha sido una inspiración desde que la conocí y de quien he adquirido un sinfín de conocimientos los cuales han formado parte importante de mi desarrollo personal y profesional.

A mis compañeros Rosa Isela G., Adán T., Mitzi N. e Israel B., que me ayudaron en la adquisición de conocimientos y habilidades esenciales durante mi formación como M.V.Z.; agradezco su invaluable amistad.

A mis animales de compañía Pepe, Hamilton, Ajarito, Eduardo, Manuel, Paloma, Ghidorah y aquellos con los que pueda tener el honor de convivir en el futuro.

Al departamento de fisiología y farmacología, por brindarme los espacios y materiales necesarios para poder realizar el presente trabajo de investigación.

Índice

	Página
RESUMEN	1
ANTECEDENTES	2
MATERIAL Y METODOS	40
RESULTADOS	43
DISCUSIÓN	62
CONCLUSIONES	70
BIBLIOGRAFÍA	72

Resumen

HERNANDEZ MORGADO FERNANDO. Contribución al establecimiento de valores de referencia de algunos parámetros fisiológicos en perros adultos de talla mediana del Valle de México (bajo la dirección de: Dra. María del Carmen Frías Domínguez).

Se han realizado pocos trabajos enfocados al establecimiento de valores de referencia de los parámetros fisiológicos en perros, la falta de información en este campo de investigación se refleja en el hecho de que, en diversos textos de diagnóstico veterinario en pequeñas especies escritos en nuestro país, los valores de referencia de distintos parámetros fisiológicos corresponden a valores obtenidos en lugares como Estados Unidos de América.

Formaron parte del estudio, 78 perros clínicamente sanos, residentes de diversas zonas del Valle de México. De cada uno se obtuvo la frecuencia cardiaca y respiratoria, así como el pulso, la temperatura rectal y el nivel de saturación de la hemoglobina con oxígeno. Como herramienta auxiliar para la evaluación del estado de salud de los animales, se realizó un electrocardiograma en 6 derivaciones.

Los valores de frecuencia cardiaca mostraron un rango estrecho, encontrándose el 70.7% de los datos en un intervalo de **100** a **116** latidos por minuto; en el caso de la frecuencia respiratoria, el 85.9% de los datos se encuentran en un rango entre **16** y **28** ciclos respiratorios por minuto; la saturación de la hemoglobina con oxígeno presentó poca variabilidad teniendo el 100% de datos entre **95%** y **100%** de saturación; por último, el 100% de los valores de temperatura corporal se encontró en un rango de entre **38.5°** y **39.1°**.

Adicionalmente, por medio de la prueba chi cuadrada, se correlacionaron las variables cuantitativas, encontrando una correlación positiva entre la temperatura corporal y la frecuencia cardiaca; además, una correlación positiva entre la saturación de hemoglobina con oxígeno y la frecuencia respiratoria.

ANTECEDENTES

Características geográficas y demográficas del Valle de México.

La zona del Valle de México (ZVM) es una región de la República Mexicana reconocida como uno de los centros de desarrollo económico, financiero, político y cultural del país. “Con respecto a su población, es la tercera zona metropolitana más grande de la OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos) y la más grande del mundo fuera de Asia. La ZVM abarca alrededor de 7866 km² y comprende las 16 alcaldías de la CDMX, 59 municipios del Estado de México y un municipio del estado de Hidalgo” (OECD, 2015).

En relación con sus condiciones medioambientales presenta una altitud media de 2240 metros sobre el nivel del mar (Tapia, 2007) y una temperatura media anual de entre 13° y 17° grados centígrados (OECD, 2015).

El valle de México cuenta con una población aproximada de más de 20 millones de residentes (OECD, 2015); población de la cual, 57 de cada 100 personas cuentan con mascotas y de esta cifra el 89% son perros, por lo que es uno de los animales de compañía más comunes en la zona del valle de México (INEGI, 2019).

El perro como animal de estudio.

El perro (*Canis lupus familiaris*) fue domesticado hace aproximadamente 100,000 millones de años (Vilá, 1997); entendida tal domesticación como el momento en el que los primeros canidos cumplieron todo un ciclo de vida junto a los humanos sin separarse y teniendo una relación de comensalismo (Valadez, 2000).

Al coexistir con el humano en una relación simbiótica, los perros se han adaptado a cumplir diferentes tareas, debido a esto hay un gran número de razas. Actualmente se pueden dividir en 10 grupos según sus objetivos zotécnicos; sin embargo, existen otras clasificaciones con base en tallas, lugares de origen, características fenotípicas especiales, etc.

Para objetivos de este estudio se utilizó una clasificación basada en la talla de los perros, la cual establece que los perros se pueden agrupar en 5 grupos (Biblioteca de razas, 2020).

Cuadro 1
Clasificación de perros por talla.

Talla	Peso	Ejemplos de raza
Miniatura	2-4 kg	Chihuahueño, Petit brabanzón, Yorkshire Terrier.
Chico	5-10 kg	Boston Terrier, Fox Terrier, Grifón Belga.
Mediano	11-25 kg	Airdale Terrier, Beagle, Border Collie.
Grande	26-44 kg	Akita Inu, Bóxer, Dálmata, Boyero de Flandes.
Gigante	Mayor a 45 kg	Dogo de burdeos, Broholmer, Boyero de Berna.

Esta clasificación toma importancia al ser utilizada para distintas actividades que tienen que ver con la tasa metabólica como es la alimentación comercial y el ejercicio diario.

Variables fisiológicas: su origen y regulación.

Temperatura corporal

La temperatura corporal es un reflejo de las múltiples adaptaciones y características fisiológicas desarrolladas en el reino animal. Dependiendo de la relación entre la temperatura corporal y la temperatura ambiental, así como del origen principal del calor corporal, los animales se han clasificado en poiquilotermos, que a su vez incluyen a los animales ectotermos, y en homeotermos, que comprenden a los animales endotermos en general (Hill, 2012). La temperatura corporal de los animales poiquilotermos ectotermos (reptiles, anfibios, peces) depende principalmente de las fuentes de calor ambiental, de manera que su temperatura llega a ser semejante a la del ambiente y debido a que ésta puede presentar variaciones considerables; la temperatura corporal de estos animales también puede presentarlas durante las diversas temporadas del año, teniendo fluctuaciones más grandes durante el invierno (Seebacher, 2003), lo cual determina fluctuaciones en los procesos fisiológicos, a las cuales se han adaptado. Asimismo, la temperatura del medio afecta el comportamiento y el desarrollo ecológico de estas especies (Huey, 1989). Por otra parte, los animales homeotermos endotermos (mamíferos y aves) poseen mecanismos termorreguladores que les permiten, dentro de ciertos límites, mantener una temperatura corporal relativamente constante; en lo general, superior a la temperatura ambiente, a pesar de que ésta exhiba cambios considerables (Klein, 2014).

En perros, los valores de temperatura corporal reportados en la literatura presentan poca variabilidad en comparación con otras variables fisiológicas; sin embargo, en algunos casos la diferencia reportada entre autores puede llegar a ser hasta de 1°C, lo que podría deberse a que son valores que aplican para esa especie, no así para alguna raza, talla, sexo o edad en particular. A continuación, se presentan valores de temperatura corporal en perros obtenidos de diversas fuentes bibliográficas.

Cuadro 2

Intervalos de temperatura corporal en perros.

Temperatura corporal (C°)	Referencia
37.5 - 39.2	(Torrente, 2012)
38.5 - 39.5	(Jiménez, 2011)
38 - 39	(Brejov, 2016)
38 - 39	(MDE., 2013)
38.3 - 38.7	(Aspinall, 2014)
Media 38.9	(M.M., 2011)
37.5 - 38.5	(Pérez, 2014)

Origen

Hormonas tiroideas y tasa metabólica basal.

La temperatura corporal está determinada por la cantidad de calor por unidad de masa corporal. El calor corporal se origina endógenamente de las reacciones metabólicas que tienen lugar en el cuerpo animal, toda vez que al final de una reacción química se obtiene calor, además de otros productos metabólicos.

La cantidad de energía consumida para la actividad celular del organismo en condiciones de ayuno, temperatura confortable y reposo absoluto es denominada tasa metabólica basal; la cual, a su vez, es un indicador de la producción de calor y se puede ver afectada principalmente por la secreción de las hormonas tiroideas yodadas, triyodotironina (T₃) y tetrayodotironina (T₄ o tiroxina).

Como efecto primario, las hormonas tiroideas provocan un aumento de la tasa metabólica basal, dando como resultado un mayor consumo de oxígeno y un efecto calorigénico; lo cual está correlacionado con el efecto de las hormonas tiroideas sobre la velocidad de desdoblamiento de carbohidratos, grasas y proteínas para convertirlas en energía; así como, con la estimulación del apetito ejercida por estas hormonas (Hill, 2012).

La actividad de la glándula tiroides es regulada de manera endocrina por el hipotálamo y la adenohipófisis (eje hipotalámico-hipofisiario). En el hipotálamo se encuentra un grupo de neuronas encargadas de producir y secretar Hormona liberadora de Tirotropina, también conocida por las siglas TRH, la cual tiene la capacidad de estimular en las células tirotróficas de la adenohipófisis la producción y secreción de Hormona Estimulante de la Tiroides, también conocida por las siglas TSH. De manera endocrina, la TSH llega a la glándula tiroides donde estimula la síntesis y secreción de las hormonas tiroideas yodadas (T_3 y T_4). Así mismo, la regulación de su síntesis y secreción está dada por mecanismos de retroalimentación negativa mediante acciones inhibitorias de las hormonas tiroideas en el hipotálamo y la adenohipófisis.

Existe una relación directa entre la cantidad de calor y la cantidad de reacciones metabólicas que suceden en el cuerpo animal; al existir un aumento en la actividad cinética de las moléculas, la velocidad de las reacciones metabólicas se ve incrementada y, por consiguiente, la producción de calor y la temperatura corporal también se incrementan (Blasco, 2015). La tasa metabólica de los animales tiene una relación estrecha con la superficie corporal; así, por ejemplo, un perro de talla miniatura, que presenta una mayor proporción superficie/masa corporal que un perro de mayor talla, tiene un metabolismo mayor; lo que determina que su temperatura corporal tienda a ser ligeramente superior (a pesar de la mayor proporción superficie/masa corporal), que la temperatura de un perro de mayor talla.

Regulación

Los animales presentan respuestas termorreguladoras reflejas y semireflejas, las cuales comprenden modificaciones somáticas, endocrinas, conductuales y aquellas reguladas por el sistema nervioso autónomo (Barret, 2013); estas acciones varían dependiendo de la especie, pero de manera general se pueden dividir en procesos que evitan el aumento de la temperatura o favorecen su disminución y aquellos que evitan la disminución de la temperatura o favorecen su aumento.

El centro termorregulador se ubica en el área preóptica y la parte anterior del hipotálamo; en estas zonas se integra la información proveniente de receptores

sensitivos ubicados en piel, zonas extra-hipotalámicas, hipotálamo, tejidos profundos y médula espinal. En el centro termorregulador se compara dicha información con las temperaturas centrales límite y de alcanzarse los umbrales preestablecidos por esta región se desarrollan respuestas reflejas como pueden ser el escalofrío en caso de una baja temperatura y la vasodilatación en caso de una temperatura alta (Barret, 2013).

En los animales homeotermos endotermos, se desencadenan acciones termorreguladoras complejas tendientes a evitar cambios significativos de la temperatura corporal cuando la temperatura ambiente adquiere valores por fuera de su zona termoneutral, o el estado fisiológico determina cambios considerables en la producción de calor. Así, por ejemplo, si la temperatura ambiente adquiere valores superiores a los de la zona termoneutral, se desarrollan acciones tendientes a aumentar la pérdida de calor, disminuir su ganancia o reducir su producción; pudiendo desencadenarse, por ejemplo, sudoración o un aumento de la frecuencia respiratoria que promueve la pérdida de calor por evaporación (Hill, 2012). Por el contrario, si la temperatura ambiente adquiere valores por debajo de la zona termoneutral, se desarrollan acciones tendientes a incrementar la ganancia de calor o promover su producción. Así, se desencadenan acciones como el tiriteo, vasoconstricción cutánea, exposición a los rayos solares e incluso, en caso de exposición prolongada a temperaturas considerablemente bajas, incremento de la secreción de hormonas tiroideas, las cuales aumentan la tasa metabólica basal y la producción de calor por un periodo de tiempo prolongado.

En animales poiquilotermos ectotermos las acciones termorreguladoras dependen en su mayoría de la temperatura ambiente, ya que esta determina en gran medida su temperatura corporal; por ejemplo, una lagartija al detectar un descenso en su temperatura corporal busca exponerse directamente al sol para lograr así un aumento en la ganancia de calor; a su vez al sentir que la temperatura ambiente adquiere valores por encima de su zona termoneutral ella buscará refugio en la sombra para así detener la ganancia de calor; sin embargo, existen además procesos fisiológicos mucho más complejos como la hibernación en algunos reptiles

tales como las tortugas (Loehr, 2018), el súper enfriamiento en algunas especies de ranas y lagartijas (Costanzo, 2013) y la aclimatación enzimática en cocodrilos (Seebacher, 2003) entre otros.

Generalidades del sistema cardiovascular

Las células animales dependen de muchos elementos para poder realizar sus funciones de manera adecuada, muchos de estos elementos tales como glucosa, oxígeno, aminoácidos, hormonas, entre otros compuestos, se distribuyen a los diversos órganos y sistemas del cuerpo gracias a un sistema de irrigación, el sistema cardiovascular.

El sistema cardiovascular está formado por el corazón y una red estructurada de vasos sanguíneos que se dividen en arterias, arteriolas, capilares, vénulas y venas.

De manera estructural, el corazón de los mamíferos se divide en atrios y ventrículos; los atrios se comunican con los ventrículos a través de las válvulas atrio-ventriculares, a su vez, los ventrículos se comunican con la arteria aorta (ventrículo izquierdo) y con la arteria pulmonar (ventrículo derecho) por medio de las válvulas semilunares (Dyce, 2011).

Los atrios están separados entre sí por medio de un septo interatrial compuesto en su mayoría por tejido fibroso, y a la vez se encuentran separados de los ventrículos por medio del septo atrioventricular también constituido por tejido fibroso en la mayoría de los mamíferos (Dyce, 2011).

Por otra parte, los vasos sanguíneos se dividen en distintas estructuras dependiendo de los componentes tisulares, diámetros y sus principales funciones.

Las arterias están compuestas por 3 capas; una interna, la cual se subdivide en una capa endotelial y una membrana basal, una túnica media compuesta de fibras musculares lisas y una túnica externa principalmente compuesta de tejido conjuntivo (Rubenstein, 2012); de diámetro variable entre especies, en los perros va desde 1 mm hasta los 25 mm en las arterias más grandes como la aorta. Sus principales

funciones son favorecer el flujo de sangre mediante su retracción elástica y la distribución de sangre a través del sistema circulatorio.

Las arteriolas son vasos sanguíneos de menor diámetro; están constituidas de manera similar a las arterias (endotelio, membrana basal, túnica media y túnica externa) pero con una capa muscular lisa proporcionalmente más grande que en los demás vasos sanguíneos; tienen un diámetro aproximado de 15 μm y una de sus principales funciones es el establecimiento de la resistencia periférica total, que es uno de los factores determinantes de la presión arterial y del flujo sanguíneo a nivel tisular (Dyce, 2011).

Entre arteriolas y capilares se encuentran los esfínteres precapilares; estructuras constituidas de músculo liso, que ayudan a controlar el flujo sanguíneo capilar.

Los capilares sanguíneos cuentan con un diámetro muy reducido de aproximadamente 5-10 μm (Done, 2010), se ramifican de manera extensa a través de los intersticios lo que aumenta el área de superficie; histológicamente están compuestos por un endotelio y una membrana basal. Su principal función es permitir la difusión de distintos componentes a través de la pared vascular (König, 2011).

Se pueden reconocer 3 tipos de capilares sanguíneos; continuos, discontinuos y fenestrados, cuya diferencia radica en el diámetro y densidad de los poros presentes en su pared, lo que a su vez determina el tipo de moléculas que pueden pasar a través de esta.

Las vénulas son vasos sanguíneos ubicados después de los capilares sanguíneos, cuentan con un diámetro variable, histológicamente poseen un endotelio, membrana basal, capa subendotelial y una capa adventicia gruesa. Se pueden reconocer 2 tipos de vénulas; las poscapilares y las musculares (König, 2011).

Las venas son los vasos sanguíneos que conducen la sangre de regreso al corazón; son de calibre variable y de manera general se dividen en 3 categorías; venas de mediano calibre, senos venosos y venas de gran calibre; una de sus principales características es poseer proyecciones del endotelio llamadas válvulas que favorecen el retorno venoso evitando el reflujo de sangre (Rubenstein, 2012). En las

venas se encuentra cerca del 70% de la sangre sistémica funcionando así también como un reservorio de sangre para el animal.

Histológicamente las venas cuentan con las mismas capas que una arteria (endotelio, membrana basal, túnica media y túnica externa) pero con una túnica media menos desarrollada; esto implica que comparativamente tienen menos fibras musculares, además cuentan con una capa adventicia con mayor cantidad de tejido fibroso (Rubenstein, 2012).

Circulación menor y mayor (Pulmonar y sistémica).

El atrio derecho recibe la sangre que regresa de la circulación sistémica a través de las venas cavas; la cual, comparada con la que eyecta el ventrículo izquierdo posee una menor saturación de oxígeno; esta sangre pasa a la cámara ventricular derecha, a través de la válvula tricúspide, cuando la presión que ejerce la sangre vence la resistencia que mantiene la válvula cerrada, generando así un llenado parcial del ventrículo derecho (Khang, 2019). El ventrículo derecho está comunicado con la arteria pulmonar (Feher, 2012) a través de la cual circula la sangre hacia los pulmones donde se da el fenómeno de transferencia alveolo-capilar de gases.

Después de pasar por los pulmones a través de una extensa red capilar, la sangre vuelve al corazón por medio de las venas pulmonares e ingresa al atrio izquierdo, donde permanece por un breve periodo hasta que la presión ejercida por la sangre sobre la válvula bicúspide supera la resistencia que ésta ejerce y se abre (Feher, 2012), generando un llenado parcial de la cámara ventricular izquierda. El ventrículo izquierdo se encuentra comunicado con la arteria aorta a través de la válvula aórtica y es propiamente la contracción ventricular la encargada de generar la presión suficiente para que la sangre eyectada por el ventrículo izquierdo a la arteria aorta se distribuya de manera sistémica por medio de los vasos sanguíneos.

Frecuencia cardiaca.

La frecuencia cardiaca se define como la cantidad de ciclos cardiacos por minuto y puede expresarse en latidos por minuto (lpm) o ciclos cardiacos por minuto (cc/m). Esta variable es dependiente de factores fenotípicos tales como la talla, raza y el sexo, además puede verse modificada durante algunos estados fisiológicos como la gestación. A continuación, se presentan valores de frecuencia cardiaca en perros en reposo de diversas fuentes bibliográficas.

Cuadro 3.

Intervalos de frecuencia cardiaca en perros obtenidos en la literatura.

Frecuencia cardiaca (lpm)	Referencia
60-180	(Aspinall., 2014)
140-160	(Jiménez., 2011)
70-120	(M.M., 2011)
80-160	(Signe., 2000)
80-120	(Pérez., 2014)
80-160	(MDE., 2013)
80-140	(Ettinger., 2017)
60-180	(Torrente., 2012)
80-120	(Brejov., 2016)

Los valores de frecuencia cardiaca registrados en la literatura pueden llegar a presentar rangos muy amplios, lo cual puede atribuirse a que en muchos estudios se incluyen perros de diferente raza, sexo, talla y edad.

Origen de la actividad eléctrica cardiaca

El corazón está compuesto por un tipo celular denominado cardiomiocito, estas células se dividen con base en su especialización en miocitos conducentes y miocitos contráctiles.

Los miocitos contráctiles (especializados en la contracción) están compuestos por fibras individuales con una membrana plasmática delimitada; sin embargo, entre células adyacentes existen puentes de baja resistencia eléctrica denominados uniones tipo gap o uniones comunicantes, que forman parte de los discos intercalares y que proveen al corazón una capacidad sincitial. La capacidad sincitial en el corazón es de suma importancia para que la despolarización de las células se extienda de manera radial a través de las fibras cardíacas.

Por otra parte, los miocitos conducentes están especializados en la generación de potenciales de acción, así como en la propagación de estos a través del sistema intrínseco de conducción del que forman parte (Allen, 2018) y entre éste y los miocitos contráctiles.

Sistema intrínseco de conducción.

El nodo sinusal está ubicado en la unión de la vena cava superior con el atrio derecho y es donde se generan los potenciales de acción (Davies, 1946) en cada ciclo cardíaco; los cuales, se propagan de manera ordenada al resto del miocardio. El nodo sinusal se comunica con tres haces de fibras denominadas “fibras internodales”, las cuales conducen los potenciales de acción hasta el nodo atrio ventricular, ubicado en la porción posterior derecha del tabique interauricular (Sanchez, 2003). El nodo atrio ventricular se comunica con el haz de His, que emite dos ramas que corren a través del plano subendocárdico por ambos lados del tabique interventricular y entran en contacto con el sistema de Purkinje, que extiende sus fibras por las paredes del miocardio ventricular (Durrer, 1970).

Generación del potencial de acción en las células del nodo sinusal.

La capacidad autodespolarizante del nodo sinusal le confiere al corazón una actividad autónoma que determina el ritmo de contracción del corazón y de los eventos hemodinámicos producidos durante el ciclo cardíaco (Cardona, 2008). A la despolarización espontánea desarrollada en los miocitos del nodo sinusal se le conoce como potencial marcapasos; ésta se debe a la apertura de canales *funny* de la membrana plasmática, a través de los cuales ingresa sodio al citoplasma.

Las células del nodo sinusal tienen un potencial de membrana de reposo de aproximadamente -60 mV y cuando el potencial marcapasos alcanza un valor aproximado de -40 mV se abren canales voltaje dependientes para Ca^+ tipo L, provocando el ingreso de calcio a la célula desde el líquido extracelular, desencadenando la fase de despolarización del potencial de acción en los miocitos del nodo sinusal. Posteriormente, la apertura de canales voltaje dependientes de K^+ , provoca la salida de potasio intracelular y genera la repolarización de la membrana celular, el cierre de los canales voltaje dependientes de K^+ marca el fin de la fase de repolarización y el inicio de una nueva despolarización espontánea.

Propagación del potencial de acción entre los elementos del sistema intrínseco de conducción.

El potencial de acción se propaga a una velocidad de 1 m/s a través de los atrios y alcanza el nodo atrio-ventricular en aproximadamente 50 milisegundos (ms) en perros. En el nodo AV la propagación de los potenciales de acción es lenta fundamentalmente por 2 razones, porque los miocitos son delgados y porque tienen menos uniones intercelulares comunicantes a través de las cuales se propague el potencial de acción entre los cardiomiocitos. Esto disminuye la velocidad de propagación a través de los miocitos del nodo AV, esta demora es necesaria para que se finalice el llenado ventricular (Boron, 2017) antes de que inicie la contracción de los ventrículos.

Después de conducirse por los miocitos del nodo AV, la despolarización se propaga por el haz de His y la red de Purkinje a una velocidad de 4 m/s (la mayor velocidad en el sistema de conducción cardíaco), gracias a esto, la despolarización se propaga en la totalidad de miocitos ventriculares en aproximadamente 50 ms, desarrollándose casi simultáneamente en ambos ventrículos.

Desarrollo y propagación del potencial de acción en los cardiomiocitos contráctiles.

Los cardiomiocitos contráctiles tienen un potencial de membrana en reposo de -90 mV y se despolarizan mediante el ingreso al citoplasma de cationes provenientes de miocitos adyacentes, a través de las uniones comunicantes. Para que la fase de

despolarización se presente, es necesario que se abran canales voltaje dependientes para Na^+ , lo que genera un flujo de Na^+ al interior de la célula volviendo positivo el potencial de membrana (Cardona, 2008). Durante la fase de despolarización del potencial de acción en estos cardiomiocitos se alcanzan valores cercanos a los +30 mV, una vez que se invierte la polaridad de la membrana los canales voltaje dependientes para Na^+ se van cerrando.

Una vez que el potencial de membrana alcanza valores positivos, se abren canales voltaje dependientes para Ca^{++} tipo L; lo que permite entrada de iones calcio a las células manteniéndolas despolarizadas (fase de meseta). Por otra parte, estos iones se fijan a canales de Ca^{++} presentes en la membrana del retículo sarcoplásmico, desencadenando la liberación de Ca^{++} al citoplasma. El Ca^{++} se fija a las moléculas de troponina provocando la contracción del músculo estriado cardiaco (Boron, 2017).

En el músculo cardiaco, la fase de meseta del potencial de acción se prolonga cerca de 250 ms, lo cual favorece la contracción sostenida necesaria para la eyección de sangre por los ventrículos. Al final de la etapa de meseta se cierran los canales para Ca^{++} de la membrana plasmática y se abren canales voltaje dependientes de K^+ , el cual difunde al espacio extracelular, generando que la membrana se vuelva más negativa y regrese al valor de membrana inicial de -90 mV.

Regulación de la frecuencia cardíaca

El Sistema Nervioso Autónomo (SNA) regula en gran medida muchos de los procesos involuntarios en el organismo incluyendo la frecuencia y fuerza de contracción del corazón. Las divisiones simpática y parasimpática del SNA son las dos vías eferentes que controlan los diferentes órganos diana. Cada división inerva los tejidos mediante circuitos de doble sinapsis. Los cuerpos celulares de las primeras neuronas de estos circuitos (neuronas preganglionares) están en el interior del Sistema Nervioso Central (SNC), situados en el tronco encefálico o en la médula espinal y emiten prolongaciones axonales fuera del SNC que establecen sinapsis con neuronas posganglionares en los ganglios periféricos que se ubican entre el

SNC y los órganos diana o en la pared de éstos. Los axones procedentes de las neuronas posganglionares se proyectan hacia sus células diana (Boron, 2017).

Las divisiones simpática y parasimpática actúan de manera independiente entre sí y en lo general, sus efectos son antagónicos en un mismo órgano blanco (Karemaker, 2017). En condiciones de estrés, ansiedad, actividad física o miedo se produce un aumento generalizado de la actividad de la división simpática, mientras que; por ejemplo, la actividad de la división parasimpática ejercida sobre el tracto gastrointestinal presenta un aumento, en términos generales, durante el proceso digestivo (Boron, 2017). El corazón está sometido a la acción de neurotransmisores provenientes de ambas ramas del sistema nervioso autónomo, los cuales ayudan a regular la generación de potenciales de acción en el nodo sinusal, la velocidad de propagación de potenciales de acción en el resto del sistema intrínseco de conducción y la fuerza de contracción de los cardiomiocitos; los neurotransmisores que generan estas modificaciones son la noradrenalina y la acetilcolina, así como la hormona, adrenalina.

El aumento de la frecuencia cardíaca se da principalmente por aumento en la secreción de noradrenalina (NA) por parte de neuronas simpáticas posganglionares; la NA se une a receptores β 1-adrenérgicos en el nodo sinusal, lo que favorece aumento de la velocidad de despolarización de la membrana plasmática de las células del nodo sinusal, provocando así, aumento de la frecuencia cardíaca (Boron, 2017).

La adrenalina, producida y secretada por la médula de las glándulas adrenales, al igual que la noradrenalina, se une a receptores β 1-adrenérgicos en el nodo sinusal, provocando aumento de la frecuencia cardíaca (Hill, 2012).

Por otra parte, la acetilcolina secretada por neuronas posganglionares del sistema nervioso parasimpático se une a receptores muscarínicos M2 en las células del nodo sinusal, estructura que funge como el marcapasos del corazón. En estas células, la acetilcolina promueve la hiperpolarización de su membrana, lo que disminuye la frecuencia de potenciales de acción en ellas y, por consiguiente, la frecuencia cardíaca.

Electrocardiografía

Es posible conocer la actividad eléctrica del corazón mediante el análisis del electrocardiograma; el cual es el registro gráfico generado por los cambios de voltaje desarrollados en el corazón a través del tiempo.

Desde su descubrimiento, el electrocardiograma (ECG) se ha utilizado como una herramienta de estudio para la medicina veterinaria y la fisiología comparativa debido a su naturaleza no invasiva (Boukens, 2019).

Un ciclo electrocardiográfico está compuesto por ondas y segmentos, las ondas son originadas por la despolarización y repolarización de las células atriales y ventriculares; mientras que los segmentos se deben a la ausencia momentánea de cambios de voltaje en las células cardiacas y se representan como una línea isoeléctrica (Montoya, 2007). La duración y magnitud de las ondas en un ECG, así como la duración de segmentos, puede proveer información importante sobre la función del corazón (De Jong, 1992).

Para el estudio de la actividad del corazón por medio del electrocardiograma es necesario el uso de derivaciones; éstas son ejes sobre los cuales se proyecta la actividad eléctrica del corazón que permiten realizar un análisis desde distintos puntos de vista (Bayes de luna, 2014). Cada derivación está determinada por la ubicación y polaridad de los electrodos de registro. Existen derivaciones en el plano frontal y en el plano transversal; las derivaciones del plano frontal se caracterizan porque los electrodos de registro se ubican en las extremidades del animal e incluyen las derivaciones bipolares (DI, DII, DIII) y las monopares (aVR, aVL, aVF); estas derivaciones constituyen las derivaciones estándar de miembros en pequeñas especies. Las derivaciones del plano transversal se caracterizan por registrar la actividad eléctrica del corazón desde el precordio, y en humanos corresponden a las derivaciones: V1, V2, V3, V4, V5 y V6 (Castellano, 2004).

La polaridad de cada onda del ECG depende de la dirección del vector de despolarización o de repolarización cardiacos y de la polaridad y ubicación de los electrodos en la piel del animal. Cuando el vector medio de despolarización se dirige hacia el electrodo positivo se genera una onda positiva, mientras que, si va en

dirección contraria, se inscribe una onda negativa. De forma contraria, cuando un vector de repolarización dirige hacia el electrodo positivo se registra una onda negativa y, por último, si el vector medio de repolarización se aleja del electrodo positivo se inscribe en el papel una onda positiva; en términos generales, los aspectos mencionados se fundamentan en la teoría del dipolo eléctrico (Montoya, 2007). Diversas alteraciones en la polaridad de las ondas del ECG, así como en su morfología, pueden orientar hacia el diagnóstico de problemas cardiacos como lesiones, necrosis o isquemia del miocardio, entre otros (Rubio, 2016).

La nomenclatura utilizada para denominar las ondas del ECG obedece al orden alfabético, siendo la primera onda de cada ciclo, la onda “P”, seguida por el complejo “QRS” y por último se presenta la onda “T”; aunque existen especies en las que se puede presentar una onda posterior denominada onda “U”. Los segmentos del ECG se ubican entre las ondas antes mencionadas. En el cuadro 4 se mencionan los eventos electrocardiográficos y los eventos eléctricos que los originan.

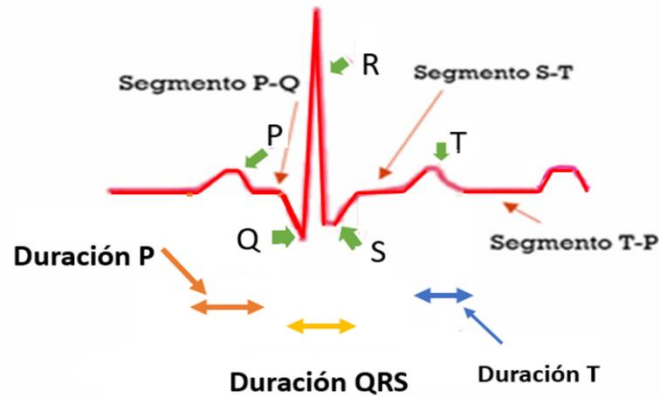
Cuadro 4.

Eventos electrocardiográficos y su origen.

Eventos electrocardiográficos	Origen
Onda P	Despolarización de las células musculares de ambos atrios.
Segmento P-Q	Propagación de la despolarización en las células del nodo AV y del Haz de His.
Complejo QRS	Despolarización las células musculares de ambos ventrículos.
Segmento S-T	Mantenimiento de la etapa de meseta del potencial de acción de las células ventriculares.
Onda T	Repolarización de las células musculares ventriculares.
Segmento T-P	Periodo durante el cual las células del miocardio se encuentran en reposo eléctrico (salvo las células del nodo sinusal).

Figura 1.

Morfología de los elementos gráficos de un ciclo electrocardiográfico.



Modificado de Montoya J., Ynaraja E., (2007). Manual práctico de electrocardiografía en pequeños animales., Ed. Elsevier Masson pp. 40.

Gasto Cardíaco

Se denomina gasto cardíaco a la cantidad de sangre eyectada por un ventrículo durante un minuto (Hall, 2010) y es determinado por 2 factores: volumen sistólico (VS) y frecuencia cardíaca (FC), de tal manera que se puede conocer el gasto cardíaco en un animal sabiendo los valores de estas variables. En perros el volumen sistólico normal es de 2-3 ml/kg (Alvarez, 2011), mientras que la frecuencia cardíaca puede ir desde los 60 hasta los 180 lpm (Aspinall, 2014).

El gasto cardíaco varía con el estado fisiológico, en particular con el grado de actividad física; durante el ejercicio puede incrementarse significativamente. Se obtiene aritméticamente multiplicando la frecuencia cardíaca por el volumen sistólico; por tanto, si alguno de estos componentes se ve modificado, el gasto cardíaco cambia. Debe tenerse en cuenta que la frecuencia cardíaca y el volumen sistólico son variables interdependientes y que generalmente, cambian juntos y en direcciones opuestas.

Adicional a la frecuencia cardiaca, hay otras tres variables determinantes del volumen sistólico y por tanto; del gasto cardiaco, estas son la precarga, la contractilidad y la poscarga.

La precarga depende del grado de distensión de las fibras musculares previo a la contracción y según la ley de Frank-Starling, cuanto mayor sea la precarga más fuerte será la contracción y, por lo tanto, mayor será el volumen sistólico y el gasto cardiaco.

La poscarga es la resistencia que los ventrículos deben superar para eyectar la sangre; el aumento de la poscarga, a partir del valor normal, provoca disminución del volumen sistólico y por tanto, del gasto cardiaco (Alvarez, 2011).

La contractilidad es la capacidad de contracción del músculo cardiaco, la cual permite la generación de fuerza de contracción con independencia de las condiciones de carga (Alvarez, 2011). El incremento del grado de contractilidad en las fibras cardiacas ventriculares genera aumento del volumen sistólico y por tanto, del gasto cardiaco; modificaciones contrarias en la contractilidad generan cambios opuestos en el gasto cardiaco.

A la diferencia entre el gasto cardiaco en reposo y el gasto cardiaco máximo se le conoce como reserva cardiaca, y es la capacidad de aumento máximo del gasto cardiaco que posee un animal.

Presión Arterial

La presión arterial es la fuerza que ejerce la sangre sobre las paredes arteriales, su importancia radica en su relación con el flujo sanguíneo a todos los órganos y sistemas del cuerpo y por lo tanto, con la distribución de oxígeno y nutrientes y la recolección de metabolitos residuales provenientes de las reacciones metabólicas.

El flujo sanguíneo se puede definir como la cantidad de sangre que atraviesa una sección dada de la circulación en un período de tiempo determinado y depende de la diferencia de presión sanguínea entre el inicio y el final de la sección, así como de la resistencia al flujo ejercida por las paredes vasculares y de la viscosidad de la sangre (Saladin, 2012). De esta manera se mantiene una relación en la que, si

disminuye la diferencia de presión, disminuye el flujo sanguíneo, de la misma manera que si aumenta la resistencia vascular o la viscosidad de la sangre.

Los líquidos fluyen en el sistema cardiovascular debido a gradientes de presión desde regiones donde existe una mayor presión a regiones donde existe una menor presión, es por esto que la sangre puede fluir a través del sistema cardiovascular solo si una región presenta una mayor presión que la otra (Silverthorn, 2013).

En el sistema cardiovascular, el corazón genera tal gradiente de presión ya que al contraerse trasfiere a la sangre energía cinética y potencial que a su vez genera que la sangre se desplace hacia una zona de menor presión. La presión no es constante a lo largo del sistema vascular debido a que la presión se va perdiendo por la fricción entre el fluido y las paredes vasculares y, consecuentemente, la presión arterial va disminuyendo continuamente a medida que se aleja del corazón (Silverthorn, 2013). En el cuadro número 4 se presentan valores de presión media en distintos vasos sanguíneos de la circulación sistémica.

Cuadro 5.

Valores de presión media en la circulación sistémica

Vasos sanguíneos	Presión media (mmHg)
Arterias grandes	95
Arteriolas	60
Capilares	25 (rango, 35-15)
Vénulas	15
Venas	15-3

Cuadro 4. Valores de presión media en la circulación sistémica, modificado de Boron W., Boulpaep E. (2017) Fisiología Medica 3er edición., Ed. Elsevier.

Podemos observar que, en las grandes arterias, como la arteria aorta, se pueden encontrar valores de presión arterial media de hasta 95 mmHg y a lo largo de la circulación, esta presión media desciende hasta valores de 3 mmHg en las venas cavas (Boron, 2017).

Factores determinantes de la presión arterial

Como se mencionó, la presión arterial no es constante a lo largo de la circulación sistémica y puede sufrir modificaciones según las necesidades del cuerpo, estos cambios se logran con la adaptación de distintos factores como lo son el gasto cardiaco y la resistencia al flujo sanguíneo.

El gasto cardiaco es uno de los factores determinantes del volumen sanguíneo arterial; el cual, a su vez es un determinante directo de la presión arterial debido a que ésta depende, entre otros factores, de la cantidad de sangre incorporada a las arterias por el corazón minuto a minuto (Arguelles, 2019); esto implica que si aumenta el gasto cardiaco puede aumentar la presión arterial y viceversa.

El otro factor que afecta de manera directa la presión arterial es la resistencia al flujo sanguíneo, la cual es la fuerza que se opone al flujo sanguíneo, y fisiológicamente está dada de manera relevante por el radio vascular. La relación entre la presión y la resistencia es directa, de manera que el aumento de la resistencia puede provocar aumento de la presión arterial y viceversa. La resistencia es inversamente proporcional a la cuarta potencia del radio del vaso, de manera que la disminución del radio provoca aumento de la resistencia al flujo y, por lo tanto, disminución del flujo (Hall, 2010). Integrando los factores se tiene que la disminución del radio arteriolar, al reducir el flujo sanguíneo hacia las secciones subsecuentes, promueve el aumento de la presión a nivel arterial.

Regulación de la presión arterial

El cuerpo es capaz de detectar cambios en la presión arterial por medio de receptores específicos ubicados en el cayado aórtico y seno carotideo; estos receptores se denominan barorreceptores.

Los barorreceptores son terminaciones nerviosas de neuronas aferentes que forman parte de los nervios vagos y glossofaríngeos y son los encargados de detectar información sobre la distensión de las paredes arteriales. Con base en el mecanismo de excitación de los barorreceptores, se mantienen una relación directamente proporcional entre la distensión de la pared vascular y la frecuencia de potenciales de acción en las neuronas aferentes barorreceptoras (Shen, 2015). Los axones de estas neuronas se extienden hasta el tallo cerebral donde establecen sinapsis con diversas neuronas del núcleo del tracto solitario (NTS); las cuales, a su vez, establecen sinapsis con neuronas de distintas partes del bulbo raquídeo donde se encuentran centros de control cardiovascular involucrados en el control simpático del corazón y los vasos sanguíneos. Asimismo, neuronas del NTS establecen sinapsis con neuronas del núcleo dorsal motor del nervio vago encargado de la regulación parasimpática del corazón (Benarroch, 2008). Estos centros de control; a través de la estimulación eferente de distintos órganos como el corazón, vasos sanguíneos y riñones se encargan de mantener una correcta presión arterial y, por consiguiente, la adecuada perfusión de órganos y sistemas.

La regulación de la presión arterial se logra gracias a su detección constante y la modificación de los factores que la determinan mediante ajustes de la estimulación autonómica. Así, por ejemplo, durante un estado de hipotensión se promueve el aumento de la actividad de la división simpática sobre el corazón, lo que genera aumento de la frecuencia cardíaca; lo cual, favorece el restablecimiento de la presión arterial media por aumento del gasto cardíaco. Asimismo, en tal condición, el incremento de la estimulación simpática provoca vasoconstricción lo que incrementa la resistencia periférica total y, por consiguiente, la presión arterial; adicionalmente también se presenta venoconstricción favoreciendo el retorno venoso al corazón.

Pulso.

Importancia clínica

La valoración del pulso arterial puede aportar información valiosa sobre el estado funcional del sistema cardiovascular de los animales; siempre acompañada de la auscultación cardíaca y, en lo posible, la medición de la presión arterial.

El pulso se puede obtener mediante palpación en las arterias de fácil acceso en las diferentes especies; algunas de las más comunes son la arteria safena, femoral y coccígea.

Origen.

La incorporación de sangre dentro de la aorta durante la sístole ventricular establece una onda de presión que se propaga por las paredes arteriales y es palpable como pulso (Klabunde, 2005).

La presión del pulso arterial o presión diferencial corresponde a la diferencia entre la presión arterial sistólica y la presión arterial diastólica. Esta presión determina la fuerza de distensión adicional de la pared arterial en cada ciclo cardíaco.

La velocidad a la que viaja la onda de pulso es independiente de la velocidad a la que viaja la sangre en los vasos sanguíneos, siendo mayor la velocidad de la onda de pulso que la velocidad de desplazamiento de la sangre.

Al pulso arterial lo caracterizan 3 variables; la fuerza subjetiva, la turgencia y la correspondencia con la frecuencia cardíaca.

La fuerza del pulso depende de la presión diferencial y es más notoria a la palpación cuando el volumen de sangre que ingresa a la arteria aorta es mayor; mientras que, en circunstancias con volemia disminuida (como puede ser en un estado de choque hipovolémico) el pulso se vuelve débil.

El pulso es correspondiente con la frecuencia cardíaca, toda vez que durante cada sístole ventricular se origina una onda de pulso.

La turgencia del pulso hace referencia a la distensión que se puede sentir mediante palpación en cada onda de pulso.

Regulación

Al ser el pulso consecuencia de la incorporación de sangre a la aorta durante cada sístole ventricular, su regulación será consistente con la de la frecuencia cardíaca, toda vez que una onda de pulso es generada en cada ciclo cardíaco.

Frecuencia respiratoria

Papel fisiológico

Las células animales requieren en todo momento del aporte de oxígeno para la obtención aeróbica de energía, además de la eliminación continua del dióxido de carbono residual de las reacciones celulares; estos fenómenos son parte de un complejo proceso llamado respiración.

Este proceso se desarrolla a través del aparato respiratorio; el cual de manera general, se puede dividir en 2 partes: vías respiratorias altas, compuestas por las fosas nasales, faringe, laringe y tráquea y en vías respiratorias bajas, compuestas por la compleja red de conductos aéreos y los alveolos que constituyen los pulmones. Esta red empieza en la bifurcación de la tráquea, desde donde se distribuye el aire hacia los bronquios, a través de los cuales llega posteriormente a los bronquiolos y finalmente a los alveolos pulmonares que están en estrecho contacto con los capilares sanguíneos, con los cuales se da el proceso de transferencia alveolocapilar de gases.

La respiración en los mamíferos consta de 2 fases: inspiración y espiración; durante las cuales ingresa aire al aparato respiratorio y parte de la mezcla gaseosa contenida en el mismo es liberada al ambiente, respectivamente. Para que estas fases de la respiración se puedan llevar a cabo es necesario que se desarrollen modificaciones transitorias en la longitud y el diámetro de la caja torácica.

El desarrollo de la fase de inspiración en reposo requiere de la contracción de los músculos inspiratorios, diafragma e intercostales externos; adicionalmente en momentos en los cuales se necesita un aumento en la profundidad de la respiración, se llegan a contraer los músculos inspiratorios accesorios (esternocleidomastoideo,

serrato y escaleno). La contracción de los músculos inspiratorios genera un aumento longitudinal de la caja torácica y de su diámetro dorso ventral, lo que genera disminución en la presión intrapleurales, dando lugar a la expansión de los pulmones y, por consiguiente, disminución en la presión alveolar, lo que permite que el aire pueda ingresar al aparato respiratorio (Boron, 2017).

De manera opuesta, para que la espiración se pueda llevar a cabo es necesario que la presión alveolar adquiera un valor superior a la presión atmosférica. En estado de reposo, esto se logra mediante la relajación de los músculos inspiratorios, lo que provoca disminución de la longitud y del diámetro torácico, y por consiguiente, aumento de la presión intrapleurales. Estos eventos promueven la retracción elástica de los pulmones, ampliamente favorecida por las características tisulares de estos. Durante el ejercicio y en otros momentos en los que se necesita una mayor ventilación pulmonar por minuto y en el caballo, aún durante el reposo, la espiración es un proceso activo, en el cual, además de los fenómenos antes señalados, se contraen los músculos espiratorios, que son los intercostales internos y los abdominales.

La frecuencia respiratoria se define como la cantidad de ciclos respiratorios por minuto y puede llegar a variar dependiendo de la raza, edad, sexo y talla. Como puede observarse en el cuadro 5; estos valores son variables dependiendo las características de cada estudio.

Cuadro 6.

Intervalos de frecuencia respiratoria en perros obtenidos en la literatura.

Frecuencia respiratoria (CR/min)	Referencia
20-40	(Brejov., 2016)
10-40	(MDE., 2013)
10-30	(Aspinall., 2014)
10-40	(Signe., 2000)
10-40	(Pérez., 2014)
20-25	(Ettinger., 2017)
10-30	(Torrente., 2012)
18-34	(M.M., 2011)

En lo general, los valores de frecuencia respiratoria mostrados presentan rangos amplios, lo cual puede atribuirse a que en estos estudios se incluyen animales de diversa raza, edad, sexo y talla.

Un elemento relevante de la fisiología respiratoria es la ventilación alveolar; definida como la cantidad de aire nuevo que llega a los alveolos con cada inspiración o durante un determinado tiempo; suele ser constante la mayor parte del tiempo y puede verse modificada durante el ejercicio y otras condiciones fisiológicas. Los términos de volumen de ventilación alveolar minuto, ventilación alveolar minuto, o solamente, ventilación alveolar hacen referencia al volumen de aire nuevo que llega a los alveolos durante un minuto. Algunas de las variables que pueden influir la ventilación alveolar minuto son la frecuencia respiratoria y el volumen corriente, definido como la cantidad de aire que se ingresa al aparato respiratorio durante la inspiración; debido a las características de su relación, si la frecuencia respiratoria aumenta, con o sin aumento del volumen corriente, la ventilación alveolar minuto aumenta.

Por otra parte, los bronquios y los bronquiolos tienen una capa de músculo liso en su pared que les confiere la capacidad de dilatación o constricción y, por lo tanto,

de controlar el flujo de aire que se conduce hacia y desde los alveolos. Los cambios del diámetro bronquial se dan como respuesta a las necesidades cambiantes del animal; por ejemplo, durante el ejercicio no solo se presenta un aumento en la frecuencia respiratoria (controlada por los centros respiratorios encefálicos y la participación del sistema nervioso somático), también se favorece el aumento de la ventilación alveolar mediante la estimulación simpática del músculo liso bronquial que genera dilatación de los mismos y por lo tanto, disminución de la resistencia al flujo del aire. Por el contrario, la resistencia al flujo del aire puede aumentar mediante la estimulación del músculo liso bronquial por parte de la rama parasimpática del SNA, la cual genera contracción bronquial.

Además de permitir la difusión gaseosa, los pulmones intervienen en otros procesos fisiológicos como son la activación de angiotensina I, inactivación de algunas prostaglandinas, síntesis y liberación de algunos compuestos biológicamente activos como son aminas, péptidos y lípidos, tales como el compuesto activador de plaquetas (De Wet, 1998).

Relación entre la altitud y la presión atmosférica de O₂.

La presión atmosférica se define como la fuerza que ejerce la columna de aire sobre la superficie terrestre; esta presión es ejercida hacia todas direcciones y disminuye conforme se gana altitud, de tal manera que; a mayor altitud, menor número de partículas de aire ejercen presión y, por tanto, la presión atmosférica es menor (Tippens, 2013). Si bien en altitudes elevadas la composición del aire es similar a la que se tiene a nivel del mar (21% de oxígeno, 78% de nitrógeno y 1% de otros gases), la cantidad de moléculas de oxígeno por unidad de volumen es menor por la reducción de la presión atmosférica. En consecuencia, aunque exista un mismo volumen de ventilación alveolar; al reducirse la presión parcial de oxígeno atmosférico, la presión alveolar de oxígeno disminuye y por consiguiente, la presión arterial de oxígeno, siendo esta última un factor determinante de la saturación de la hemoglobina con oxígeno.

A nivel del mar, donde existe una presión atmosférica de 760 mmHg se alcanzan valores de presión arterial de O₂ (PaO₂) en humanos de 100 mmHg, mientras que en el punto más elevado del monte Everest a 8849msnm se pueden alcanzar valores de PaO₂ de 34 mmHg (Torre, 2006); esto quiere decir que cualquier volumen de aire respirado a esa altura solo tendría el 34% de la cantidad de moléculas de oxígeno que tendría el mismo volumen de aire a nivel del mar, lo que influye negativamente la transferencia de gases a nivel alveolo-capilar y por tanto, genera una menor presión arterial de oxígeno. El valle de México se encuentra a una altura de 2240 msnm y cuenta con una presión atmosférica promedio de 585 mmHg (OECD, 2015); a esta altitud se presentan valores de PaO₂ en humanos de 78.8 mmHg (Torre L., 2006).

Relación entre la presión sanguínea de CO₂ y el pH.

El CO₂ presente en la sangre se ubica en el plasma y dentro de los eritrocitos. En plasma se encuentra disuelto, unido a proteínas o hidratado, mientras que en los eritrocitos se encuentra unido a hemoglobina (disuelto o hidratado). La hidratación del dióxido de carbono forma ácido carbónico (H₂CO₃), este proceso es catalizado por la enzima anhidrasa carbónica dentro de los eritrocitos y en menor medida en el plasma; este compuesto tiende a disociarse en hidrogeniones (H⁺) y bicarbonato (HCO₃⁻) pudiendo causar modificaciones del potencial de hidrogeniones (pH) cuando la presión de CO₂ aumenta (Barret, 2013).

Origen

La frecuencia respiratoria es determinada por el sistema nervioso central con la participación de las neuronas del sistema nervioso somático que inervan los músculos respiratorios, múltiples receptores sensoriales (como los quimiorreceptores y mecanorreceptores), además de neuronas aferentes.

El control de la respiración está dado por dos tipos de mecanismos; uno ejercido por neuronas provenientes de la corteza cerebral y que provee el control voluntario

y otro ejercido por neuronas del bulbo raquídeo y la protuberancia las cuales ejercen el control automático de la respiración (Barret, 2013).

A las neuronas encargadas del control automático de la respiración se les conoce como neuronas relacionadas con la respiración, ya que desarrollan potenciales de acción con mayor frecuencia durante momentos específicos del ciclo respiratorio; por ejemplo, algunas neuronas tienen su actividad máxima durante la inspiración y otras durante la espiración. Existe un subgrupo de estas neuronas que se conoce como el generador central de patrones (GCP) que es capaz de generar de forma independiente un ritmo respiratorio, el GCP para la respiración también es conocido como el posible marcapasos de la inspiración y la espiración. En conjunto, las neuronas relacionadas con la respiración envían señales a diversos grupos de neuronas motoras de nervios craneales y raquídeos que inervan directamente los músculos respiratorios, generando un patrón respiratorio basal; a su vez, dicho patrón puede ser modificado por otros dos grandes centros neuronales, uno llamado grupo respiratorio dorsal y el otro grupo respiratorio ventral que en conjunto se conocen como el centro respiratorio bulbar y contribuye a generar el ritmo respiratorio (Boron, 2017).

El grupo respiratorio dorsal se extiende a lo largo de aproximadamente un tercio de la longitud del bulbo raquídeo y está situado de forma bilateral en y alrededor del núcleo del tracto solitario; contiene principalmente neuronas inspiratorias cuyos axones llegan hasta la médula espinal donde establecen sinapsis con neuronas motoras que inervan los músculos inspiratorios (Barret, 2013).

Por otra parte, el grupo respiratorio ventral se ubica a mitad de trayecto entre las superficies dorsal y ventral del bulbo raquídeo; consta de neuronas inspiratorias y espiratorias cuyos axones llegan hasta la médula espinal y establecen sinapsis con neuronas motoras que inervan a los músculos inspiratorios accesorios y a los espiratorios (Boron, 2017).

La frecuencia y fuerza de contracción de los músculos inspiratorios y espiratorios está determinada por el grado de estimulación ejercido por las neuronas motoras

somáticas cuyos somas se encuentran en la médula espinal a nivel cervical, torácico y lumbar.

La generación de potenciales de acción en el centro respiratorio bulbar también puede ser modificada por la estimulación dada por interneuronas de los centros apnéustico y neumotáxico, así como del núcleo del tracto solitario y la corteza cerebral.

Regulación de la respiración.

Control químico de la respiración.

Adicional a la actividad de las neuronas del GCP, la actividad del centro respiratorio bulbar está modulada por las neuronas aferentes provenientes de los quimiorreceptores periféricos y centrales; esta modulación, dada a través de potenciales de acción, afecta la frecuencia y profundidad de la respiración, y por tanto, la ventilación alveolar.

Los quimiorreceptores periféricos son receptores sensoriales ubicados en los cuerpos aórticos y carotídeos y están constituidos por diversos tipos celulares como las células glómicas tipo 1; las cuales son sensibles a las concentraciones de oxígeno, hidrogeniones y de dióxido de carbono en la sangre arterial. Las células glómicas establecen sinapsis con neuronas aferentes cuyos axones forman parte de los nervios vago y glossofaríngeo y que se extienden hasta el tallo cerebral llegando al núcleo del tracto solitario, donde forman sinapsis con neuronas que se comunican con el centro respiratorio bulbar (Klein, 2014).

La frecuencia de potenciales de acción en las neuronas aferentes quimiorreceptoras se ve modificada cuando existe un cambio en la presión arterial de oxígeno, el pH sanguíneo y la presión arterial de dióxido de carbono. La frecuencia de potenciales de acción aumenta si se reduce la presión arterial de O_2 , aumenta la presión arterial de CO_2 o se reduce el pH sanguíneo.

Por otra parte, los quimiorreceptores centrales son un grupo de neuronas presentes en el bulbo raquídeo que son estimuladas por los hidrogeniones originados por la disociación del ácido carbónico (generado por la hidratación del CO_2) (Barret, 2013).

La disminución de la presión arterial de O_2 , el aumento en la presión arterial de CO_2 o la disminución del pH sanguíneo son estímulos a los que son sensibles los quimiorreceptores; mediante su participación, si se produce cualquiera de estas alteraciones, la frecuencia de potenciales de acción de las neuronas aferentes quimiorreceptoras aumenta; lo que desencadena un incremento de la ventilación alveolar como producto de la estimulación de neuronas del centro respiratorio bulbar que controlan la actividad de los músculos inspiratorios, lo que genera aumento de la frecuencia respiratoria, de la profundidad de la respiración o de ambas. Este aumento de la ventilación alveolar promueve una mayor transferencia de gases a nivel alveolo-capilar favoreciendo el aumento de la PaO_2 , la disminución de la PaCO_2 , y el restablecimiento del pH en caso de que éste se haya alterado (Boron, 2017).

Alteraciones opuestas en las presiones arteriales de O_2 , CO_2 y del pH, producen cambios contrarios en la ventilación alveolar y por tanto, de las demás variables mencionadas.

Saturación de la hemoglobina con oxígeno.

Eritrocitos y Hemoglobina.

La concentración de hemoglobina y de eritrocitos representan dos datos clínicos de importancia ya que son factores determinantes de la cantidad de oxígeno que puede transportar la sangre (Biagioli, 2009).

La concentración de eritrocitos se puede conocer por medio del hematocrito, que representa el porcentaje del volumen de sangre que corresponde a los eritrocitos. Los valores del hematocrito en perros están entre 37% y 55% y varía entre hembras y machos (Núñez, 2007).

De la composición total del citoplasma de un eritrocito, el 33% corresponde a la hemoglobina; con alrededor de 280 millones de moléculas por célula, los valores normales de hemoglobina están entre 12 y 18 g/dl de sangre (Núñez, 2007). En un animal adulto hay aproximadamente entre 5 y 7 millones de eritrocitos por *microlitro* de sangre, este último valor puede verse modificado por distintos factores como la altura sobre el nivel del mar (Saladin, 2012).

Teniendo en cuenta que la función principal de la hemoglobina es el transporte de oxígeno, los datos señalados dan una idea del trabajo necesario para poder oxigenar los tejidos y la importancia del mantenimiento de los valores del hematocrito y de la hemoglobina (Read, 2016).

Transporte de oxígeno.

La hemoglobina está presente en el cuerpo en diversas formas; las cuales poseen ligeras diferencias en su composición. La forma más abundante es llamada hemoglobina adulta o HbA (Newton, 2006), la cual consta de 4 cadenas de proteínas llamadas globinas, dos de ellas son cadenas Alfa con 141 aminoácidos y las 2 cadenas restantes son Beta y poseen 146 aminoácidos. Cada cadena está conjugada con una porción sin proteínas, denominada grupo hemo, que fija el oxígeno a un ion ferroso (Fe^{2+}) en el centro. A cada porción hemo puede unirse una

molécula de oxígeno, esto significa que cada molécula de hemoglobina puede transportar hasta 4 moléculas de O_2 (Saladin, 2012).

La saturación de la hemoglobina con oxígeno se define como el cociente de la cantidad de oxígeno unido a la hemoglobina respecto de la capacidad de transporte de oxígeno; siendo esta última la cantidad máxima de oxígeno (ml/dl) transportada en 100 ml de sangre (Rhoades, 2018).

Curva de saturación de la hemoglobina.

La saturación de la hemoglobina con oxígeno depende de la presión parcial de oxígeno en la sangre y ésta depende a su vez; de la presión alveolar de oxígeno, la cual depende de la presión atmosférica de oxígeno; de esta manera la modificación de alguno de estos factores podría llegar a generar una modificación en la saturación de la hemoglobina con oxígeno.

La curva de saturación de la hemoglobina es sigmoidea debido a la interacción entre los cuatro lugares de unión de la hemoglobina al oxígeno (Proulx, 1999).

Figura 2. Curva de saturación de la hemoglobina

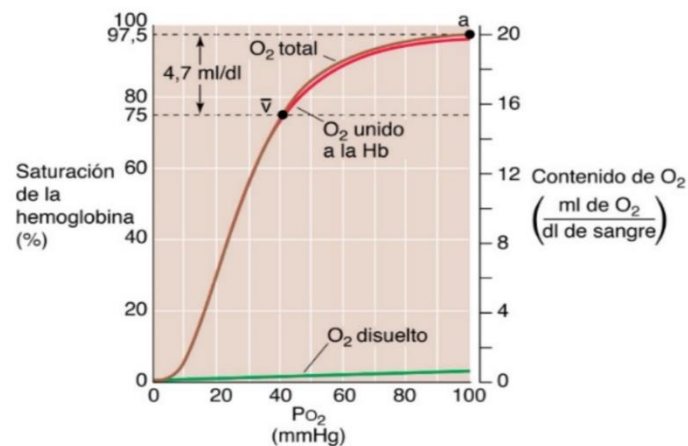


Figura 2. Curva de saturación de la hemoglobina, Extraído de Boron W., Boulpaep E. (2017) Fisiología Medica 3er edición., Ed. Elsevier.

Con valores de PaO_2 por debajo de 10 mmHg, el aumento de la PaO_2 produce un incremento relativamente pequeño de la unión del oxígeno a la hemoglobina, lo que refleja una afinidad relativamente baja de ésta por el oxígeno. A valores moderados de PaO_2 , la cantidad de oxígeno unido aumenta rápidamente con los aumentos posteriores de la PaO_2 ; lo que refleja la mayor afinidad de la hemoglobina por el oxígeno. Por último, la curva de saturación de la hemoglobina a valores superiores a 70 mmHg de PaO_2 se aplana; es decir, que aumentos posteriores de la PaO_2 generan aumentos pequeños en el porcentaje de saturación. La PaO_2 a la que la hemoglobina está saturada en un 50% se conoce como P_{50} (Boron, 2017).

A nivel del mar, donde la presión atmosférica alcanza valores de 760mmHg, se ha encontrado una presión parcial de oxígeno de 100 mmHg en la sangre arterial y una saturación de la hemoglobina con oxígeno de alrededor del 97.5% (Boron, 2017). A mayores altitudes, los animales se encuentran expuestos a una presión parcial de oxígeno atmosférico menor y, por tanto; bajo estas condiciones, podría verse disminuida la presión parcial de oxígeno alveolar y la saturación de la hemoglobina con oxígeno; sin embargo, aun estando los animales expuestos a un ambiente como el del valle de México, donde hay una presión atmosférica de 585 mmHg, la presión parcial de oxígeno arterial es de aproximadamente 80 mmHg y, debido a las características de la curva de saturación de la Hb, la saturación de la hemoglobina con oxígeno es aproximadamente del 95% (Tinoco, 2017), con lo cual, un animal puede desarrollarse sin que su metabolismo se vea comprometido.

Factores que pueden modificar el comportamiento de la curva de saturación de la hemoglobina (temperatura, PCO_2 , pH, y concentración de 2,3-difosfoglicerato).

En la sangre existen variables tales como la temperatura, la PCO_2 , el pH y la concentración de 2,3-difosfoglicerato que, aunque no son factores determinantes de la curva de saturación de la hemoglobina con oxígeno, pueden llegar a modificar su comportamiento.

La temperatura puede afectar la afinidad de la hemoglobina por el oxígeno y con ello, el grado de disociación del oxígeno de la hemoglobina a cualquier valor de PaO₂. A una menor temperatura la afinidad de la hemoglobina por el oxígeno se incrementa lo que disminuye su grado de disociación; por el contrario, cuando la temperatura aumenta, la afinidad de la hemoglobina disminuye y la disociación aumenta, esto último da como resultado una mayor liberación de oxígeno (Boron, 2017).

La PCO₂ es otro factor que puede modificar el comportamiento de la curva de disociación de la hemoglobina; de tal manera que un aumento de la PCO₂ genera que la afinidad de la hemoglobina por el oxígeno disminuya y por tanto, su disociación aumente; por el contrario, cuando la PaCO₂ disminuye, la afinidad de la hemoglobina por el oxígeno aumenta, y su disociación disminuye (Boron, 2017).

El pH sanguíneo también puede modificar la curva de saturación de la hemoglobina; cuando el pH aumenta, causa que la afinidad de la hemoglobina por el oxígeno aumente y la disociación disminuya. Por el contrario, cuando el pH disminuye, la afinidad de la hemoglobina por el oxígeno disminuye y la disociación aumenta de tal manera que la liberación de oxígeno aumenta (King L., 1992).

El metabolito glucolítico 2,3-difosfoglicerato modifica la afinidad de la hemoglobina por el oxígeno, ya que desestabiliza la interacción de la hemoglobina con el oxígeno reduciendo su afinidad y aumentando la disociación; mientras que la reducción de la concentración de 2,3-DPG favorecen la afinidad de la hemoglobina por el oxígeno y reduce su disociación (Boron, 2017).

Saturación de hemoglobina con oxígeno a distintas altitudes.

El organismo puede desarrollar respuestas compensatorias cuando la presión parcial de oxígeno arterial se ve alterada, por ejemplo, en la ciudad de México la presión parcial de oxígeno es menor que a altitudes inferiores (Vázquez, 2000), lo que da lugar a una menor presión alveolar de oxígeno que influye negativamente la difusión de este gas del espacio alveolar a los capilares pulmonares, generando una

menor presión arterial de oxígeno (PaO₂) y, por consiguiente, una menor saturación de la hemoglobina. No obstante; en animales que radican en regiones de mayor altitud se pueden desarrollar modificaciones adaptativas, como aumento en la producción de eritrocitos o cambios compensatorios, como aumento de la frecuencia y profundidad de la respiración que favorecen niveles de presión arterial de oxígeno mayores, que pueden permitir que se alcancen valores de saturación de la hemoglobina con oxígeno similares a las del animal ubicado a menor altitud. Un ejemplo de esto son las diferentes PaO₂ y sus respectivos valores de saturación de la hemoglobina con oxígeno, encontrados en diversos estudios, como los que se presentan en el cuadro 7.

Cuadro 7.

Valores de presión arterial de oxígeno y de saturación de la hemoglobina con oxígeno a diferentes altitudes.

Altitud sobre el nivel del mar (msnm)	Presión arterial de Oxígeno (PaO₂)	Valor de saturación de la hemoglobina con oxígeno	Referencias
0msnm	PaO ₂ 100 mmHg	Sat.O ₂ Hb 97.5%	(Boron, 2017)
1818 msnm	PaO ₂ 78.19 mmHg	Sat.O ₂ Hb 96.24%	(Tinoco, 2017)
2240 msnm	PaO ₂ 78.8 mmHg	Sat.O ₂ Hb 98%	(Torre, 2006)
3350 msnm	PaO ₂ 62 mmHg	Sat.O ₂ Hb 91%	(Pereira, 2014)
3360 msnm	PaO ₂ 60 mmHg	Sat.O ₂ Hb 90%	(Rodríguez, 1979)
4380 msnm	PaO ₂ 54.18 mmHg	Sat.O ₂ Hb 87.02%	(Tinoco, 2017)

Con base en la literatura; podemos observar que dentro de ciertos límites, aún en altitudes muy variadas sobre el nivel del mar, los valores de saturación de hemoglobina con oxígeno pueden ser relativamente similares a los valores alcanzados a nivel del mar.

Síndrome general de adaptación.

Bajo ciertas condiciones como la caza o huida; el animal se expone a factores adversos denominados agentes inductores de estrés que desencadenan acciones que, más allá de corregir alteraciones previas, generan cambios en el medio interno que en lo general ayudan al animal a subsistir en tales condiciones; dichos factores conducen al desarrollo del estrés o síndrome general de adaptación.

Las modificaciones fisiológicas características del estrés se producen de manera ordenada y pueden llegar a presentarse hasta 3 fases; alerta, resistencia y agotamiento.

Al inicio y mientras persista el agente inductor de estrés, el núcleo paraventricular del hipotálamo también conocido como integrador final de la respuesta al estrés (Duval et. Al., 2010), es estimulado por diferentes circuitos neuronales promoviendo la síntesis y liberación de factor liberador de corticotropina. Este compuesto es liberado en el sistema porta y transportado hacia la hipófisis anterior donde estimula la síntesis y liberación de ACTH u hormona adenocorticotrópica, la cual es transportada a través de la sangre hacia la corteza de la glándula adrenal donde estimula la síntesis y liberación de glucocorticoides (Herman, 2003). Esta actividad hormonal está regulada por mecanismos de retroalimentación negativa y en conjunto se conoce como eje hipotálamo-hipófisis-corticoadrenal.

Los glucocorticoides tienen diversos efectos en los animales; entre los cuales podemos destacar, el aumento de la glucemia y la gluconeogénesis en el hígado, favorecer la degradación de las proteínas en aminoácidos, disminuir la síntesis proteica y aumentar la sensibilidad hacia las catecolaminas en diversos tejidos. Además desencadenan un aumento en la actividad de la médula de la glándula adrenal favoreciendo un incremento en la síntesis y secreción de catecolaminas como adrenalina y noradrenalina, las cuales ayudan al animal a afrontar las demandas psicológicas y físicas que se presentan durante el estrés. Algunas modificaciones generadas por tales hormonas son aumento de la frecuencia cardiaca y por consiguiente, del gasto cardiaco y mantenimiento de la presión arterial (Axelrod, 1984).

En el caso de los animales domésticos; algunos estímulos inductores de estrés pueden ser el ruido, exceso de luz, polvo y lugares asociados a malas experiencias (Martins, et al., 2018). Si los estímulos inductores de estrés no persisten por tiempo prolongado, las respuestas desencadenadas en la fase de alerta pueden ser suficientes para sobreponerse a las condiciones que lo hayan generado.

La fase de resistencia se presenta si el o los agentes inductores de estrés se mantienen por un periodo amplio; esta etapa se caracteriza por persistencia de la secreción de glucocorticoides por medio de la zona fascicular de las glándulas adrenales. Durante esta fase, se tratan de mantener los niveles de glucosa estables en la sangre para que el animal pueda sobrellevar los estímulos inductores de estrés a los que sigue expuesto.

Por último, si los estímulos inductores de estrés persisten de manera crónica o por periodos muy prolongados; los niveles de glucocorticoides y catecolaminas se mantienen elevados en la sangre y que más allá de mantener los cambios apropiados para reaccionar a los estímulos estresores, empiezan a producir efectos adversos sobre el cuerpo animal (Jiménez, 1949) como son el agotamiento, inmunodepresión e incluso problemas de comportamiento como las estereotipias.

Planteamiento del problema

Después de una amplia revisión de bases de datos electrónicas, incluyendo TESIUNAM, Revista Veterinaria México, *Science direct*, *PubMed*, *Scielo*; se encontró que, en la zona del Valle de México, se han realizado pocos trabajos enfocados al establecimiento de valores de referencia de los parámetros fisiológicos en perros. Al respecto, con anterioridad se realizó un trabajo sobre la frecuencia cardíaca en el cual, este parámetro no fue obtenido mediante auscultación, sólo mediante determinación del pulso arterial (Paredes, 1970). Esta técnica de obtención de la frecuencia cardíaca tiene algunos inconvenientes; como que un pulso débil puede generar una subestimación de este parámetro, por lo que, en un estudio de determinación de la frecuencia cardíaca es preferible utilizar la auscultación; asimismo, al auscultarse al animal se incrementa la probabilidad de

detectar alteraciones del funcionamiento cardiaco que llevan a eliminar dichos animales del estudio incrementando la confiabilidad de los resultados; adicionalmente y de relevante importancia, es que en dicho trabajo no se incluye información específica sobre ciertas condiciones que afectan esta variable fisiológica y su obtención.

Así mismo, se realizó un estudio sobre la temperatura corporal (Ordoñana, 1970) para cuya obtención se utilizó la técnica generalmente recomendada; sin embargo, no se da información sobre el estado de salud de los animales estudiados, por lo que, la presencia de animales con alguna alteración no identificada podría haber sido fuente de variación de este parámetro.

La falta de información suficiente en este terreno se refleja en el hecho de que en diversos textos de diagnóstico veterinario en pequeñas especies escritos en nuestro país (Aguilar, 2016) (Núñez, 2007) los valores de referencia de distintos parámetros fisiológicos corresponden a valores obtenidos en lugares como Estados Unidos de América. Reconociendo la utilidad de disponer de tales valores de referencia, debido a las diferencias medioambientales, cambios adaptativos y procesos fisiológicos compensatorios (entre otras razones), tales valores no necesariamente corresponden a los de los animales radicados en nuestra región (Ordoñana, 1970), lo que hace necesario realizar estudios que permitan el establecimiento de tales parámetros en las diferentes regiones de nuestro país.

Justificación del trabajo

El establecimiento de parámetros de referencia para un región determinada es de relevante utilidad no solo en el terreno clínico, donde permite tener puntos de comparación del estado de salud de los animales; también es de relevante valor en el terreno de la investigación básica, como en el caso de la fisiología, de la investigación aplicada, como en patología, farmacología, clínica, toxicología (Soloviev, et al., 2006) y en el campo del bienestar animal (Kuhne, et al., 2014), toda vez que la identificación de alteraciones fisiológicas requiere de parámetros de referencia.

Así mismo las variables fisiológicas orientan sobre el funcionamiento de órganos y sistemas de manera general y su obtención puede ser rutinaria y sin una intervención invasiva, como en el caso de las variables obtenidas durante un examen físico general, las cuales no requieren mucho equipo y cuyo costo de obtención no es elevado. Así mismo pueden orientar la atención del médico hacia algún órgano o sistema en particular cuando dichas variables se ven modificadas o alteradas por alguna patología.

Tomando en cuenta estos antecedentes, se desarrolló el presente estudio de parámetros fisiológicos en perros domésticos que radican en el Valle de México, en el cual se establecieron criterios de inclusión de los animales estudiados y se controlaron (en medida de lo posible) los factores que podían llegar a afectarlos al momento de su obtención.

MATERIAL Y MÉTODOS.

Los animales que se incluyeron en el estudio se obtuvieron mediante una convocatoria en algunas zonas del Valle de México a través de carteles digitales y físicos, lo que favoreció que la selección fuera aleatoria y que se incluyeran animales provenientes de distintas partes del Valle de México.

Se obtuvo la frecuencia cardiaca, frecuencia respiratoria, pulso, temperatura rectal y saturación de la hemoglobina en 78 perros.

Criterios de inclusión.

En el estudio solo se incluyeron animales clínicamente sanos que cumplieran con los siguientes criterios:

- No presentar signos clínicos de enfermedad durante el examen físico general realizado.
- No presentar alteraciones electrocardiográficas en las seis derivaciones estándar de miembros en perros.
- Un esquema básico de vacunación (Rabia, Moquillo, Coronavirus, Parvovirus, Leptospirosis).

- Desparasitados apropiadamente en un periodo no mayor a 1 año para perros que no salían de casa y 6 meses para perros que si salían de casa.
- No presentar secuelas nerviosas o cardiopulmonares de alguna enfermedad previa.
- Talla mediana, entre 14 y 25 kg.
- Etapa adulta de entre 1 y 8 años.
- Hembras no gestantes ni en etapa de proestro o estro.
- Provenientes de la zona del Valle de México.

Consideraciones tomadas en cuenta previo a la obtención de los parámetros.

Antes de empezar el examen físico general, se dio un breve periodo de adaptación al lugar, el cual, dependiendo del animal, tomó entre 10 y 30 minutos con el propósito de que el animal se acostumbrara a las instalaciones (Martins, et al., 2018) y se detuvieran comportamientos no deseables para el estudio, como el jadeo.

Obtención de frecuencia cardiaca.

Se obtuvo mediante auscultación del corazón en el foco mitral con ayuda de un estetoscopio (Aguilar, 2016) y se tomó el número de ciclos cardiacos por minuto con ayuda de un cronometro para medir el tiempo en cada toma.

Obtención de frecuencia respiratoria.

Se obtuvo cuando los individuos detuvieron el jadeo (si es que estaba presente) y se tomó de manera visual contado las distensiones de la caja torácica durante 1 minuto.

En casos donde la distensión no era evidente, se auscultó la tráquea del animal (Aguilar, 2016) y se contó el número de inspiraciones durante 1 minuto utilizando un cronometro para tomar el tiempo exacto.

Obtención de frecuencia de pulso.

El pulso arterial se obtuvo mediante una técnica indirecta, posicionando los dedos anular y medio sobre la arteria femoral que corre a través de la cara interna del

fémur (Aguilar, 2016) y se obtuvo el número de pulsaciones durante 1 minuto con ayuda de un cronometro.

Obtención de saturación de hemoglobina con oxígeno.

Se obtuvo mediante el equipo VITASIGN 350V, el cual se colocó en la base de la oreja, en la zona más libre de pelo. Para lograr una medición precisa de este parámetro, el sensor se retiró hasta que mostró una lectura completa emitiendo una señal sonora.

Obtención del electrocardiograma.

Para la obtención del electrocardiograma se utilizó un equipo CARDIOMAQ 300v. Se realizó la limpieza de pliegues axilares e inguinales con el propósito de retirar el exceso de grasa que podría estar sobre la piel; acto seguido se dispusieron 4 electrodos con forma de pinza de pato con una cantidad suficiente de gel electroconductor y se colocaron según correspondió en los pliegues axilares e inguinales. Posteriormente se dio un tiempo de acoplamiento para que el animal estuviera lo más tranquilo posible y se procedió a obtener el electrocardiograma.

Se obtuvo el registro con las 6 derivaciones estándar (DI, DII, DIII, AVR, AVL y AVF) con una velocidad de papel de 50 mm/s y una sensibilidad de 10 mm/mV, durante un periodo de 5 segundos con cada derivación. Al finalizar se obtuvo un segmento más solo con la derivación DII, esta fue tomada a una velocidad de 50 mm/s y a una sensibilidad de 20 mm/mV, durante 10 segundos.

En el electrocardiograma se analizó el origen y la ritmicidad de la actividad eléctrica del corazón, así como, la integridad y polaridad de las ondas P, Q, R, S y T de cada uno de los perros.

Obtención de temperatura rectal.

Se obtuvo introduciendo un termómetro electrónico a través del ano, manteniendo contacto con la mucosa rectal por unos segundos hasta que el sensor del termómetro digital lo indicó (Ordoñana, 1970). Debido a que el animal podría estresarse ligeramente con este manejo, se tomó la temperatura rectal después de los demás parámetros incluyendo el estudio electrocardiográfico.

ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Para el análisis estadístico se utilizó el programa IBM SPSS Statistics 25.

Se analizaron variables fisiológicas y del medio; de las variables cuantitativas se obtuvieron frecuencia de datos, medidas de tendencia central y desviación estándar. También se correlacionaron las variables que se consideraron pertinentes por medio de la prueba estadística chi cuadrado.

La muestra constó de 78 perros de talla mediana residentes del valle de México, clínicamente sanos, de entre 1 y 8 años, con un peso entre 14 y 25 kg. Como parte del control de variables, en el caso de las hembras no se incluyeron aquellas que sugerían estar en etapa de estro o posiblemente gestantes debido a que en estos estados fisiológicos se pueden presentar diferencias significativas en los parámetros fisiológicos estudiados. Cualquier perro que no cumpliera con estas características fue descartado del estudio.

Significado de los términos utilizados en la interpretación estadística de los resultados obtenidos.

Media aritmética (μ): Valor resultante de la suma de todos los valores observados, divididos entre el número de datos considerados; obteniéndose un promedio (Anderson, 2008).

Moda: valor que tiene mayor frecuencia de aparición en el conjunto de datos (Di Rienzo, 2005).

Mediana: medida posicional, se ubica en el centro de un conjunto de datos ordenados (Di Rienzo, 2005).

Varianza: es una medida de dispersión basada en los cuadrados de las desviaciones de los valores, con relación a la media aritmética y representa la variabilidad de los datos respecto de la media aritmética (Montanero, 2018).

Desviación estándar (σ): constituye la raíz cuadrada positiva de la varianza (Montanero, 2018).

Variable continua: es aquella que puede adoptar cualquier valor dentro de un intervalo predeterminado (Anderson, 2018).

Distribución norma: se entiende como la distribución de probabilidad de una variable continua y se caracteriza por tener dos parámetros; media aritmética (μ) y la desviación estándar (σ) (Salazar, 2018).

Mínimo: valor más pequeño en un conjunto de datos (Anderson, 2008).

Máximo: valor más grande en un conjunto de datos (Anderson, 2008).

Prueba de chi-cuadrada: prueba utilizada para examinar si dos variables son estadísticamente independientes entre sí. No establece restricciones en cuanto al tipo de variables que admite, ni en lo que se refiere a su distribución de probabilidad o en cuanto a los valores y/o el conocimiento de sus parámetros (Montanero, 2018).

Estadísticos descriptivos para variables cuantitativas

Cuadro 8.

Estadísticos descriptivos para frecuencia cardiaca.

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje acumulado
FC	88	1	1.3	1.3
	92	1	1.3	2.6
	96	2	2.6	5.1
	98	1	1.3	6.4
	100	11	14.1	20.5
	102	2	2.6	23.1
	104	9	11.5	34.6
	105	1	1.3	35.9
	107	2	2.6	38.5
	108	23	29.5	67.9
	110	2	2.6	70.5
	112	11	14.1	84.6
	114	1	1.3	85.9
	116	4	5.1	91.0
	117	1	1.3	92.3
	118	2	2.6	94.9
	120	3	3.8	98.7
124	1	1.3	100.0	
	Total	78	100.0	

A partir de los datos obtenidos y las pruebas estadísticas realizadas se obtuvo para la frecuencia cardiaca una **media** de 107.4 lpm, una **mediana** de 108 lpm y una **moda** de 108 lpm, además de una **desviación estándar** de 6.640 mostrando así la variabilidad de los datos con respecto a la media. Adicionalmente se puede reportar que el valor **mínimo** de los datos fue 88 lpm y el **máximo** de 124 lpm. Los datos obtenidos presentaron una distribución normal.

Cuadro 9.

Estadísticos descriptivos para frecuencia de pulso.

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje acumulado
FP	88	1	1.3	1.3
	92	1	1.3	2.6
	96	2	2.6	5.1
	98	1	1.3	6.4
	100	11	14.1	20.5
	102	2	2.6	23.1
	104	13	16.7	39.7
	106	1	1.3	41.0
	107	2	2.6	43.6
	108	20	25.6	69.2
	110	1	1.3	70.5
	112	11	14.1	84.6
	114	1	1.3	85.9
	116	4	5.1	91.0
	117	1	1.3	92.3
	118	2	2.6	94.9
	120	3	3.8	98.7
	124	1	1.3	100.0
	Total		78	100.0

A partir de los datos obtenidos y las pruebas estadísticas realizadas se obtuvo para la frecuencia de pulso una **media** de 107.22 ppm, una **mediana** de 108 ppm y una **moda** de 108 ppm, además de una **desviación estándar** de 6.672 mostrando así la variabilidad de los datos con respecto a la media. Adicionalmente se puede reportar que el valor **mínimo** de los datos fue 88 ppm y el **máximo** de 124 ppm. Los datos obtenidos presentaron una distribución normal.

Cuadro 10.
Estadísticos descriptivos para frecuencia respiratoria.

Frecuencia respiratoria (rpm)

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje acumulado
FR	12	1	1.3	1.3
	14	2	2.6	3.8
	16	8	10.3	14.1
	17	3	3.8	17.9
	18	4	5.1	23.1
	20	7	9.0	32.1
	21	2	2.6	34.6
	22	9	11.5	46.2
	24	12	15.4	61.5
	26	9	11.5	73.1
	27	1	1.3	74.4
	28	12	15.4	89.7
	32	6	7.7	97.4
	36	1	1.3	98.7
	42	1	1.3	100.0
Total		78	100.0	

A partir de los datos obtenidos y las pruebas estadísticas realizadas se obtuvo para la frecuencia respiratoria una **media** de 23.41 rpm, una **mediana** de 22 rpm y una **moda** de 24 y 28 rpm (conjunto bimodal), además de una **desviación estándar** de 5.554 mostrando así la variabilidad de los datos con respecto a la media. Adicionalmente se puede reportar que el valor **mínimo** de los datos fue de 12 rpm y el **máximo** de 42 rpm. Los datos obtenidos presentaron una distribución normal.

Cuadro 11.

Estadísticos descriptivos para temperatura corporal.

Temperatura corporal

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje acumulado
T ^o	38.5	23	29.5	29.5
	38.6	9	11.5	41.0
	38.7	18	23.1	64.1
	38.8	13	16.7	80.8
	38.9	6	7.7	88.5
	39.0	1	1.3	89.7
	39.1	5	6.4	96.2
	39.2	2	2.6	98.7
	39.3	1	1.3	100.0
	Total	78	100.0	

A partir de los datos obtenidos y las pruebas estadísticas realizadas se obtuvo para la temperatura corporal una **media** de 38.71°, una **mediana** de 38.7° y una **moda** de 38.5°, además de una **desviación estándar** de 0.2013 mostrando así la variabilidad de los datos con respecto a la media. Adicionalmente se puede reportar que el valor **mínimo** de los datos fue 38.5° y el **máximo** de 39.3°.

Cuadro 12.

Estadísticos descriptivos para saturación de hemoglobina con oxígeno.

Saturación de hemoglobina con oxígeno

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje acumulado
Sat.H.O ₂	95	8	10.3	10.3
	96	5	6.4	16.7
	97	20	25.6	42.3
	98	7	9.0	51.3
	99	21	26.9	78.2
	100	17	21.8	100.0
	Total	78	100.0	

A partir de los datos obtenidos y las pruebas estadísticas realizadas se obtuvo para la saturación de hemoglobina con oxígeno una **media** de 98.01%, una **mediana** de 98% y una **moda** de 99%, además de una **desviación estándar** de 1.616 mostrando así la variabilidad de los datos con respecto a la media. Adicionalmente se puede reportar que el valor **mínimo** de los datos fue 95% y el **máximo** de 100%.

Cuadro 13.

Estadísticos descriptivos para variables edad.

		<i>Edad</i>		
		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje acumulado
Edad	1.0	4	5.1	5.1
	1.1	2	2.6	7.7
	1.6	1	1.3	9.0
	1.7	2	2.6	11.5
	1.8	3	3.8	15.4
	2.0	11	14.1	29.5
	2.6	3	3.8	33.3
	2.8	2	2.6	35.9
	2.9	1	1.3	37.2
	3.0	9	11.5	48.7
	3.4	1	1.3	50.0
	3.6	1	1.3	51.3
	3.9	1	1.3	52.6
	4.0	7	9.0	61.5
	4.3	1	1.3	62.8
	5.0	13	16.7	79.5
	5.2	1	1.3	80.8
	6.0	7	9.0	89.7
	6.6	1	1.3	91.0
	7.0	3	3.8	94.9
	8.0	4	5.1	100.0
	Total	78	100.0	

A partir de los datos obtenidos y las pruebas estadísticas realizadas de la edad de los animales se obtuvo una **media** de 3.8 años, una **mediana** de 3.4 y una **moda** de 5, además de una **desviación estándar** de 1.9 años mostrando así la variabilidad de los datos con respecto a la media. Adicionalmente se puede reportar que el valor **mínimo** de los datos fue de 1 año y el **máximo** de 8 años.

Estadísticos descriptivos para variables cualitativas

Cuadro 14.

Estadísticos descriptivos para variable sexo.

		Sexo		
		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje acumulado
Sexo	Hembra	45	57.7	57.7
	Macho	33	42.3	100.0
	Total	78	100.0	

A partir de los datos obtenidos se puede apreciar que el 57.7% de los perros talla mediana revisados fueron hembras mientras que el 42.3% de perros fueron machos.

Cuadro 15.

Estadísticos descriptivos para variable alojamiento.

		Alojamiento		
		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje acumulado
Al.	casa	60	76.9	76.9
	Patio	16	20.5	97.4
	techo	2	2.6	100.0
	Total	78	100.0	

A partir de los datos obtenidos se puede apreciar que el 76.9% de perros que se presentaron al estudio vivían dentro de una casa o departamento todo el tiempo; los perros que vivían en el patio de un hogar fueron el 20.5% y solo el 2.6% de los perros revisados vivían en el techo de un hogar.

Cuadro 16.

Estadísticos descriptivos para variable dieta.

		<i>Dieta</i>		
		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje acumulado
Dieta.	casera	6	7.7	7.7
	comercial	35	44.9	52.6
	mixta	37	47.4	100.0
	Total	78	100.0	

A partir de los datos obtenidos se puede apreciar que el 47% de perros revisados llevaban una dieta mixta (dieta comercial y productos destinados a la alimentación humana, frutas, verduras, etc.) y en un porcentaje muy similar; el 44.9% de los perros eran alimentados con una dieta exclusivamente comercial sin suministración de otros alimentos; por último, el grupo que contó con menos individuos fue el de los perros alimentados con una dieta exclusivamente casera, formulada para el individuo con base en las recomendaciones de un médico veterinario, contando con el 7.7% de la cantidad total de la muestra.

Cuadro 17
Estadísticos descriptivos para variable estado reproductivo.

		<i>Estado reproductivo</i>		
		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje acumulado
E.R.	Entero	41	52.6	52.6
	Castrado	37	47.4	100.0
	Total	78	100.0	

A partir de los datos obtenidos sobre el estado reproductivo en el que se encontraban los animales durante la toma de muestra de las variables fisiológicas se pudo observar que la mayor proporción de perros se encontraban enteros (no esterilizados), ya que el 52.6% de los perros se encontró en esta condición, mientras que el 47.4% de los perros analizados si estaban esterilizados.

Cuadro 18.

Estadísticos descriptivos para variable edad.

Grupos de edad

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje acumulado
Edad	1-4	48	61.5	61.5
	>4-8	30	38.5	100.0
Total		78	100.0	

Con base en la edad de los animales se establecieron 2 grupos, el primero comprendió animales de entre 1 y 4 años y fue el que tuvo la mayor cantidad de animales presentes en el estudio, con un valor del 61.5%; mientras que el segundo grupo, en el cual se ubicaron los animales de 4 a 8 años, tuvo el 38.5% de animales.

Variable sexo correlacionada con los datos obtenidos a partir de las variables fisiológicas.

**Cuadro 19.
Correlación entre sexo y variables fisiológicas.**

	<i>Frecuencia cardiaca</i>	<i>Frecuencia de pulso</i>	<i>Frecuencia respiratoria</i>	<i>Temperatura corporal</i>	<i>Sat. Hg 02</i>
<i>Chi cuadrada de Pearson</i>	0.346	0.431	0.423	0.400	0.533
<i>Razón de verosimilitud</i>	0.090	0.133	0.220	0.312	0.510
<i>Asociación lineal por lineal</i>	0.907	0.995	0.103	0.043	0.516

Los valores observados en el cuadro 17 representan la significancia asintótica bilateral para cada variable fisiológica en correlación con la variable sexo.

Se puede apreciar que no existió una diferencia estadísticamente significativa entre las variables fisiológicas obtenidas en machos en comparación con las obtenidas en hembras, toda vez, que la significancia es mayor que 0.05.

Estadísticos para la variable dieta correlacionados con datos obtenidos a partir de las variables fisiológicas.

Cuadro 20.
Correlación entre dieta y variables fisiológicas.

	<i>Frecuencia cardiaca</i>	<i>Frecuencia de pulso</i>	<i>Frecuencia respiratoria</i>	<i>Temperatura corporal</i>	<i>Sat. Hg 02</i>
<i>Chi cuadrada de Pearson</i>	0.856	0.890	0.695	0.046	0.240
<i>Razón de verosimilitud</i>	0.594	0.671	0.559	0.166	0.118
<i>Asociación lineal por lineal</i>	0.118	0.128	0.565	0.497	0.687

Los valores observados en el cuadro 18 representan la significancia asintótica bilateral para cada variable fisiológica en correlación con la variable dieta.

Al correlacionar los datos, se obtuvo una significancia mayor que 0.05 en todos los casos, esto muestra que no hubo una diferencia estadísticamente significativa entre las variables fisiológicas obtenidas y la dieta (comercial, mixta) suministrada por parte de los dueños a los animales participantes en el presente estudio.

Estadísticos para la variable estado reproductivo (entero, esterilizado) correlacionado con datos obtenidos a partir de las variables fisiológicas.

Cuadro 21.
Correlación entre estado reproductivo y variables fisiológicas.

	<i>Frecuencia cardiaca</i>	<i>Frecuencia de pulso</i>	<i>Frecuencia respiratoria</i>	<i>Temperatura corporal</i>	<i>Sat. Hg 02</i>
<i>Chi cuadrada de Pearson</i>	0.764	0.787	0.441	0.144	0.471
<i>Razón de verosimilitud</i>	0.516	0.516	0.222	0.096	0.451
<i>Asociación lineal por lineal</i>	0.629	0.810	0.844	0.798	0.294

Los valores observados en el cuadro 19 representan la significancia asintótica bilateral para cada variable fisiológica en correlación con la variable estado reproductivo.

Al correlacionar los datos, se obtuvo una significancia mayor que 0.05 en todos los casos, esto muestra que no hubo una diferencia estadísticamente significativa entre las variables fisiológicas obtenidas y el estado reproductivo (Esterilizado, entero) en el que se encontraban los animales.

Estadísticos para variable alojamiento correlacionado con datos obtenidos a partir de las variables fisiológicas.

**Cuadro 22.
Correlación entre alojamiento y variables fisiológicas.**

	<i>Frecuencia cardiaca</i>	<i>Frecuencia de pulso</i>	<i>Frecuencia respiratoria</i>	<i>Temperatura corporal</i>	<i>Sat. Hg 02</i>
<i>Chi cuadrada de Pearson</i>	0.924	0.995	0.764	0.155	0.933
<i>Razón de verosimilitud</i>	0.894	0.984	0.955	0.717	0.886
<i>Asociación lineal por lineal</i>	0.098	0.126	0.875	0.201	0.373

Los valores observados en el cuadro 20 representan la significancia asintótica bilateral para cada variable fisiológica en correlación con la variable alojamiento.

Al correlacionar los datos, se obtuvo una significancia mayor que 0.05 en todos los casos, esto muestra que no hubo una diferencia estadísticamente significativa entre las variables fisiológicas obtenidas y el alojamiento en el que residían los animales participantes en el presente estudio.

Correlación entre variables cuantitativas.

Se realizó la correlación entre todas las variables fisiológicas estudiadas, sin embargo, las siguientes fueron las que presentaron una relevancia estadística positiva.

Cuadro 23
Correlación entre frecuencia cardiaca y temperatura corporal.

Pruebas de chi-cuadrado			
	Valor	df	Significación asintótica (bilateral)
Chi-cuadrado de Pearson	172.098 ^a	136	.020
Razón de verosimilitud	102.763	136	.985
Asociación lineal por lineal	7.635	1	.006
N de casos válidos	78		

a. 160 casillas (98.8%) han esperado un recuento menor que 5. El recuento mínimo esperado es .01.

Al correlacionar los datos se obtuvo una significancia menor que 0.05, esto muestra que existe una relación estadísticamente significativa entre los valores de frecuencia cardiaca y temperatura corporal encontradas en este estudio.

Cuadro 24.
Correlación entre pulso y temperatura corporal.

Pruebas de chi-cuadrado

	Valor	df	Significación asintótica (bilateral)
Chi-cuadrado de Pearson	177.937 ^a	136	.009
Razón de verosimilitud	104.330	136	.980
Asociación lineal por lineal	9.181	1	.002
N de casos válidos	78		

a. 161 casillas (99.4%) han esperado un recuento menor que 5. El recuento mínimo esperado es .01.

Al correlacionar los datos se obtuvo una significancia menor que 0.05, esto muestra que existe una relación estadísticamente significativa entre los valores de frecuencia de pulso y temperatura corporal encontradas en este estudio.

Cuadro 25.

Correlación entre frecuencia respiratoria y la saturación de la hemoglobina con oxígeno.

Pruebas de chi-cuadrado

	Valor	df	Significación asintótica (bilateral)
Chi-cuadrado de Pearson	78.787 ^a	70	.032
Razón de verosimilitud	73.988	70	.349
Asociación lineal por lineal	.535	1	.009
N de casos válidos	78		

Al correlacionar los datos se obtuvo una significancia menor que 0.05, esto muestra que existe una relación estadísticamente significativa entre los valores de frecuencia respiratoria y saturación de la hemoglobina con oxígeno encontradas en este estudio.

DISCUSIÓN.

Es relevante mencionar la importancia de la realización de este tipo de estudios controlando la mayor cantidad de variables, tanto relacionadas directamente con los animales, como del ambiente; en particular la realización del electrocardiograma permitió disponer de datos sobre la salud de los animales que no habrían sido identificados de no haber contado con esta herramienta diagnóstica. Al respecto se encontraron 13 animales que presentaron alteraciones en la morfología, polaridad o amplitud en los distintos componentes del electrocardiograma y que por lo tanto no fueron incluidos en el estudio; por lo cual, puede plantearse que en este estudio se omitieron los animales que presentaron alteraciones electrocardiográficas detectables con el electrocardiograma estándar de seis derivaciones.

La toma de la frecuencia del pulso se realizó inmediatamente después de la obtención de la frecuencia cardíaca o de forma simultánea, lo que aunado a que el pulso es correspondiente con la frecuencia cardíaca, determinó que los valores obtenidos para estas dos variables fueran prácticamente los mismos; por tanto, a continuación, cuando se hable de la frecuencia cardíaca, también se estará haciendo referencia a la frecuencia del pulso.

Los resultados obtenidos de frecuencia cardíaca entran dentro de los intervalos fisiológicos descritos en la literatura (Aspinall, 2014); sin embargo, nuestros resultados muestran un rango más estrecho, encontrándose el 70.7% de los datos en un intervalo de **100 a 116 lpm** lo cual aporta valores normales más precisos de esta variable en perros de talla mediana, residentes en el Valle de México. Los intervalos de frecuencia cardíaca encontrados en nuestra investigación son más estrechos que los reportados en la literatura, posiblemente debido a que, a diferencia de otros estudios, en el nuestro sólo se incluyeron animales pertenecientes a una talla.

En el caso de la frecuencia respiratoria, los datos obtenidos entran dentro de los intervalos fisiológicos descritos en la literatura; los cuales se encuentran en un rango de **10 a 40 C.R. p/m** (MDE., 2013). Mientras que en este estudio encontramos que

el 85.9% de datos se encuentran en un rango entre **16** y **28** ciclos respiratorios por minuto. Con base en la literatura (Crocker, et al., 2020), se esperaba obtener valores de frecuencia respiratoria mayores que los obtenidos a nivel del mar, donde se han encontrado valores entre 10 y 30 ciclos respiratorios por minuto (Mirella, 2020) (Arulpagasam, 2018) (Pleyers T., 2020); la razón de esperar tales resultados es que la presión atmosférica a nivel del Valle de México es significativamente menor que a nivel del mar. Una menor presión atmosférica, como la que se presenta en el valle de México, determina una menor presión alveolar de oxígeno y por consiguiente, una menor presión arterial de oxígeno, lo cual puede desencadenar, como respuesta compensatoria u adaptativa, incremento de la frecuencia respiratoria (Antink C., 2019), y por consiguiente, un incremento de la ventilación alveolar que puede contrarrestar el efecto negativo de la menor presión atmosférica de O₂. Si bien en nuestro estudio se encontraron valores de frecuencia respiratoria similares a los encontrados a nivel del mar, podrían existir modificaciones adaptativas a nivel de la profundidad de la respiración y la resistencia de la vía aérea que favorezcan la ventilación alveolar y, por consiguiente, la transferencia de O₂ a la sangre, contrarrestando en alguna medida el impacto de la menor presión de este gas a esta altitud sobre el nivel del mar. Por otra parte, es importante mencionar que esta variable fisiológica es de las más complejas de obtener ya que al poder presentarse jadeo es fácil de sobreestimar; por tal razón, en este estudio, cuando el jadeo estuvo presente se ofreció a los animales agua fresca y se esperó el tiempo necesario para que se detuviera esta conducta antes de tomar este parámetro.

La saturación de la hemoglobina con oxígeno presentó una variabilidad ligera con respecto a la media (Desviación estándar = 1.6), encontrándose el 100% de datos entre el **95%** y el **100%** de saturación. Los resultados obtenidos en este estudio son similares a los reportados en la literatura, donde los intervalos obtenidos en perros a 270 msnm., fueron de 94.8 a 97.3% para perros mesocefálicos y de 94.7 a 95.8% para perros braquiocefálicos (Arulpagasam, 2018). Asimismo, en perros adultos sanos a 570 msnm los valores para saturación de la hemoglobina con oxígeno se encuentran entre 90 y 100%, mientras que en perros gerontes sanos los valores

están entre 95.5 y 97% (Araos, 2010). La saturación de la hemoglobina con oxígeno es determinada por la presión arterial de oxígeno (PaO₂), variable que a su vez depende de la presión alveolar de oxígeno, de tal manera que, a diferentes alturas, donde la presión de oxígeno en la atmósfera es menor que a nivel del mar, la presión arterial de oxígeno puede verse afectada negativamente. Al respecto, aunque no se dispone de reportes de esta variable en perros residentes a nivel del valle de México, se dispone de valores de PaO₂ en humanos a este nivel, con valores medios de 71.96 mmHg (Huerta, 1991), los cuales son significativamente menores a los encontrados a nivel del mar, 100 mmHg (Huerta, 1991). Sin embargo, a pesar de la diferencia de la PaO₂ entre individuos residentes en estas dos regiones, los valores de saturación de hemoglobina con oxígeno son similares entre los individuos de ambas regiones, encontrándose entre 93 y 98%. Tal situación se explica por las características de la curva de saturación de la hemoglobina, en particular, el aplanamiento de esta. Por esta razón, a pesar de que pueda haber diferencias relativamente importantes entre los valores de presión arterial de O₂, si los mismos son superiores a 70 mmHg, la saturación de hemoglobina con oxígeno tendrá valores similares, aspecto que podemos observar en los resultados del presente estudio, donde la variabilidad de los datos obtenidos es muy poca.

La saturación de hemoglobina con oxígeno fue tomada con ayuda de un oxímetro de pulso, aparatos que han demostrado tener muy buena confiabilidad y no muestran una diferencia estadísticamente significativa con los resultados obtenidos a través de gasometría (Moller, 1993).

La temperatura corporal obtenida en los perros participantes en el estudio se comportó de manera similar a la descrita en la literatura, donde, por lo general, encontramos parámetros que van de los **38.5°C** a los **39.5°C** (Jimenez, 2011), siendo una de las variables fisiológicas que presenta menores variaciones. Se puede resaltar que en nuestro estudio el 100% de los datos se encuentran en un rango de entre 38.5°C y 39.1°C siendo 38.5°C la moda de los datos. La poca varianza en este parámetro fisiológico (desviación estándar = 0.2013) pone de manifiesto el control riguroso de la temperatura corporal en animales homeotermos,

lo cual es relevante ya que, salvo en casos particulares, las células de los mamíferos funcionan bajo un rango de temperatura constante y estrecho, cuyas variaciones súbitas o prolongadas pueden generar diversos daños a nivel celular, una vez que los mecanismos termorreguladores no sean suficientes para poder mantener la temperatura en valores apropiados.

Asimismo, la importancia del mantenimiento de la temperatura en valores óptimos se observa en el hecho de que la temperatura de los animales de este estudio tuvo valores similares a los registrados a nivel del mar.

El análisis de la información obtenida contribuye a vislumbrar campos de oportunidad en la investigación en ciencia básica de la medicina veterinaria y su aplicación en la clínica. Asimismo, enfatiza la necesidad de disponer en el área de las variables fisiológicas, de valores de referencia específicos para determinadas regiones geográficas y diferentes tallas de perros domésticos; de manera que se reduzca el riesgo de considerar como normales, valores alterados que no puedan ser identificados como tal debido a la falta de especificidad de los valores de referencia. Disponer de tal información podría favorecer significativamente el diagnóstico de ciertas enfermedades en la clínica veterinaria.

Correlación sexo con variables fisiológicas (frecuencia cardíaca, de pulso, respiratoria, saturación de la hemoglobina con oxígeno y temperatura corporal).

En este estudio no se encontró una correlación estadísticamente significativa entre el sexo y los parámetros fisiológicos estudiados. Si bien las hembras presentan cambios hormonales importantes durante todas las etapas del ciclo estral (Stornelli, 2012); de manera particular, durante el estro se produce un incremento en la concentración plasmática de estrógenos, hormonas que entre otros efectos, pueden generar nerviosismo y aumentar la actividad del animal; durante dichos cambios los valores de frecuencia cardíaca y respiratoria pueden ser mayores en comparación con hembras que no se encuentran en esa etapa del ciclo estral (de Souza, 2017). Sin embargo, es importante puntualizar que las hembras incluidas en este estudio

se encontraban presuntamente en etapa de anestro, lo que se asume debido a que no presentaban signos externos de actividad ovárica (Feldman, 2000), y que los dueños mencionaron no haber visto sangrado vulvar, monta o alguna otra evidencia de proestro o estro. Tal condición pudo determinar que los resultados entre hembras y machos fueran similares, toda vez que, por otra parte, las condiciones ambientales, el peso y la edad durante la toma de variable fueron similares en ambos grupos. En la literatura, la correlación entre los intervalos de parámetros fisiológicos como frecuencia cardíaca o respiratoria y el sexo parecen ser discordantes, así se han encontrado intervalos superiores en hembras (de Souza, 2017), en otros casos intervalos entre hembras y machos han sido similares (Bálint, 2019) o incluso casi idénticos (Matsunaga, 1997), razón por la cual se decidió realizar este ejercicio.

Correlación dieta con variables fisiológicas (Frecuencia cardíaca, de pulso, respiratoria, saturación de la hemoglobina con oxígeno y temperatura corporal).

En estados patológicos tales como obesidad o raquitismo los animales pueden llegar a presentar alteraciones evidentes de la frecuencia cardíaca o respiratoria entre otros parámetros fisiológicos o productivos (Nguyen, 2020) (Atilano, 2006) y si bien, no hay mucha información sobre el impacto que distintos tipos de dieta pueden tener en perros sobre las variables fisiológicas abordadas en el presente estudio, dicha premisa alentó el interés de obtener información al respecto.

Los resultados obtenidos en este estudio muestran que no hubo correlación entre el tipo de dieta suministrada (comercial, casera o mixta) y las variables fisiológicas obtenidas (frecuencia cardíaca, de pulso, respiratoria, saturación de la hemoglobina con oxígeno y temperatura corporal); esto es atribuible a que, a pesar de la gran variabilidad nutricional que tienen las dietas tanto comerciales, como caseras o mixtas, en términos generales, los animales estaban teniendo una nutrición adecuada y que si bien podría existir relación entre los diferentes tipos de dieta y las variables fisiológicas, esta relación pudo no ser evidente en este estudio, en el

que no pudieron controlarse las características específicas y la cantidad de alimento ofrecida a los animales; sin embargo, se abre la posibilidad de realizar estudios especializados en este tema. Asimismo, es importante tener en cuenta que algunos efectos del tipo de dieta podrían evidenciarse hasta edades avanzadas, lo que implicaría periodos amplios de exposición, sin embargo, en este estudio, el 80% de animales se encontraban entre 1 y 5 años, por tanto, los efectos de una dieta podrían no haber sido aún evidentes.

Correlación del estado reproductivo (entero, esterilizado) con las variables fisiológicas (frecuencia cardiaca, de pulso, respiratoria, saturación de la hemoglobina con oxígeno y temperatura corporal).

Además de las fluctuaciones hormonales en el ciclo estral de la hembra, existen diferencias en la secreción de estrógenos y testosterona que dependen del estado reproductivo de los animales (entero, esterilizado), siendo significativamente mayores los niveles de dichas hormonas en perros enteros que en animales esterilizados, en los cuales la producción de hormonas esteroides sexuales queda a cargo, básicamente de la glándula adrenal (Leoci, 2014) (Leyva, 1993). Por tanto, se consideró conveniente analizar la correlación entre el estado reproductivo de los animales y las variables fisiológicas estudiadas. Al respecto, no se encontró una diferencia estadísticamente significativa entre los parámetros fisiológicos obtenidos en este estudio y el estado reproductivo (esterilizado, entero) en el que se encontraban los animales; esto podría atribuirse a factores como el tamaño de las muestras, ya que en el caso de las hembras los grupos fueron de 18 hembras enteras y 27 esterilizadas y en el caso de los machos fueron 23 y 10, respectivamente. Asimismo, podría haber influido la edad en la que los animales fueron esterilizados, e inclusive el tiempo transcurrido desde la esterilización hasta el momento del estudio, lo que hace evidente la importancia de la realización de estudios en este campo donde puedan controlarse factores como los mencionados.

Correlación de alojamiento con variables fisiológicas (Frecuencia cardiaca, de pulso, respiratoria, saturación de la hemoglobina con oxígeno y temperatura corporal).

Se estudió esta variable ya que si bien no se encontraron reportes sobre el impacto que puede tener el tipo de residencia habitacional de un animal sobre las variables fisiológicas, ciertos factores incentivaron la búsqueda de información en este ámbito; como se mencionó en la introducción, el estrés crónico puede llegar a generar cambios negativos importantes en el estado fisiológico de los animales, tales como inmunodepresión o pérdida de tejido muscular, entre otros. Tomando en cuenta que en la ciudad de México podemos observar muchos perros viviendo en patios o azoteas donde están expuestos a cambios de temperatura constantes, lluvia e incluso factores inductores de estrés causados por humanos y que estos ambientes podrían provocar un estrés crónico y por tanto, llegar a causar modificaciones en alguna variable fisiológica, la residencia de los animales se preguntó a los dueños mediante un cuestionario. Se encontró que los animales estudiados vivían en casa o apartamento, ubicándose en el interior, en patio o en la azotea. Al correlacionar las variables fisiológicas con el tipo de residencia primaria no se obtuvo ninguna diferencia estadísticamente significativa, lo cual podría deberse a que, en cualquiera de los casos, las condiciones de residencia no representaban condiciones inductoras de estrés, o que en caso de que algunas de ellas si lo fueran, el tiempo sometido a las mismas no hubiera sido suficiente para generar cambios persistentes en los parámetros fisiológicos abordados en este estudio. Un factor a tomar en cuenta es que la mayoría de los perros provenían de ambientes con una calidad de vida presuntamente adecuada, motivo por el cual, en un estudio con perros callejeros o en condiciones de abandono donde la persistencia de agentes inductores de estrés sea prolongada, los resultados podrían ser significativamente distintos a los encontrados en el presente estudio.

Correlación de frecuencia cardíaca y pulso con temperatura corporal.

Se encontró una relación estadísticamente significativa entre la frecuencia cardíaca y la temperatura corporal, siendo correspondientes los mayores valores de frecuencia cardíaca, con los mayores valores de temperatura corporal. Este fenómeno podría deberse a la relación estas variables fisiológicas y el metabolismo; toda vez que un mayor metabolismo, aún dentro del intervalo normal, podría implicar por un lado, mayor generación de calor y por lo tanto, mayor temperatura corporal y, por otro lado, una mayor demanda de nutrientes y oxígeno lo que podría originar valores de frecuencia cardíaca mayores, a través del reflejo quimiorreceptor por la alteración de la presión arterial de oxígeno, la presión arterial de CO₂ o el pH. Asimismo, dicha diferencia en la frecuencia cardíaca podría ser resultado de acciones reflejas a través del sistema barorreceptor, debido a la disminución de la resistencia periférica total generada por la vasodilatación local en los diversos tejidos, resultado de los cambios en los factores antes mencionados (autorregulación del flujo sanguíneo local). Además, estos resultados concuerdan con la relación directa entre la frecuencia cardíaca y la tasa metabólica, la cual a su vez depende, entre otros factores, de la talla y edad de los animales; observándose que los animales con mayor metabolismo y temperatura presentan frecuencias cardíacas significativamente más altas.

Correlación de frecuencia respiratoria y saturación de la hemoglobina con oxígeno.

Se encontró una relación estadísticamente significativa entre la frecuencia respiratoria y la saturación de la hemoglobina con oxígeno, correspondiendo a los mayores valores de frecuencia respiratoria, los mayores valores de saturación de la hemoglobina. Este resultado es correspondiente con la relación directa entre estas variables, toda vez que al ser la frecuencia respiratoria uno de los factores determinantes de la ventilación alveolar y, por lo tanto, de la presión alveolar de oxígeno; una mayor frecuencia respiratoria da lugar a una mayor presión arterial de oxígeno y por lo tanto, a una mayor saturación de la hemoglobina con oxígeno. No

obstante, una correlación negativa entre estos factores también ha sido reportada; en el estudio de García y col. (1996) utilizando perros anestesiados se encontró que los menores valores de saturación de oxígeno fueron correspondientes con los mayores valores de frecuencia respiratoria, lo cual se atribuyó a la activación del reflejo quimiorreceptor por disminución la presión arterial de oxígeno, lo que se acompaña de reducción de la saturación de la hemoglobina. A través de este proceso reflejo se puede generar aumento de la frecuencia respiratoria, de la profundidad de la respiración o de ambas, lo que puede provocar aumento de la ventilación alveolar y en última instancia, de la saturación de la hemoglobina con oxígeno.

CONCLUSIONES.

La fisiología veterinaria es una ciencia encargada de estudiar los fenómenos fisicoquímicos que suceden en el organismo de los animales domésticos, así como la relación que existe entre ellos y el ambiente. Para comprender estos aspectos es necesario el desarrollo de estudios enfocados a describir los procesos fisiológicos en situaciones normales, de ahí la importancia de los resultados obtenidos en este trabajo, el cual brinda información valiosa sobre algunas variables fisiológicas y su comportamiento en perros de talla mediana en el valle de México. Asimismo, este estudio alienta a continuar generando conocimiento encaminado a definir parámetros fisiológicos específicos para la región, los cuales ayudarán al desempeño de un mejor trabajo clínico, docente y de investigación.

La electrocardiografía y pulsioximetría son herramientas auxiliares en el diagnóstico veterinario que pueden ser utilizadas de manera rutinaria; ayudando así, a la identificación de patologías relacionadas con los sistemas cardiovascular y respiratorio.

Las correlaciones realizadas entre los parámetros fisiológicos y las variables del medio externo que no mostraron una significancia estadística nos ayudan a entender como los animales pueden, en medida de lo posible, sobreponerse a su

ambiente y permanecer en homeostasis viviendo en alojamientos, o siendo alimentados con una dieta, que podrían no ser óptimos.

Adicionalmente, a través de las correlaciones que resultaron estadísticamente significativas como la frecuencia respiratoria con la saturación de la hemoglobina con oxígeno y la frecuencia cardiaca con la temperatura corporal, podemos comprender de una manera tangible la relación que existe entre los sistemas del organismo y su relación con el medio ambiente, y como esta relación ayuda al mantenimiento de la homeostasis.

Este estudio muestra el comportamiento de distintas variables fisiológicas en perros de talla mediana residentes en el valle de México; en el caso de la frecuencia cardiaca, de pulso y respiratoria se encontraron rangos más estrechos que los encontrados en estudios realizados en otros países o en aquellos que no contienen información sobre diversos aspectos de su obtención; lo que resalta la importancia de la determinación de variables fisiológicas estableciendo de manera estricta los parámetros de inclusión y el control de las variables ambientales que pueden influirlos. En el caso de los parámetros fisiológicos, la falta de valores de referencia obtenidos bajo un control estricto de variables podría impactar de tal forma que se cometan errores en la valoración inicial de los pacientes que asisten a consulta veterinaria; además, puede dificultar la identificación de algunos signos de enfermedad como taquicardia o taquipnea.

Asimismo, considerando las diferencias significativas que puede haber en diversos parámetros fisiológicos entre animales de diferente talla, se vislumbra la relevancia de replicar este tipo de estudios en perros de distintas tallas, con el objetivo de contribuir al establecimiento de valores de referencia específicos para la región y para cada talla, lo cual representaría una útil contribución a la ciencia médica básica, al ámbito clínico y a la zootecnia, pilares del ejercicio profesional del médico veterinario zootecnista.

BIBLIOGRAFÍA.

1. Álvarez I. Cruz L., (2011) Fisiología cardiovascular aplicada en caninos con insuficiencia cardiaca., Rev. Med. Vet.: N.21 pp.115-132.
2. Anderson D., Sweeney D., Williams T., (2008)., Estadística para la Administración y economía. Octava edición, McGraw Hill Interamericana.
3. Antink C., Pirhonen M., Väättäjä H., Somppi S., Tornqvist H., Cardo A., Vehkaoja A. (2019). Sensor Fusion for Unobtrusive Respiratory Rate Estimation in Dogs. IEEE Sensors Journal, 19(16), 7072-7081.
4. Araos J., Román M., Meneses F., (2010) Determinación y comparación de la presión arterial de oxígeno (pao₂) en caninos clínicamente sanos divididos en tres grupos etarios. Hospitales veterinarios - vol. 2 n° 2 – 2010.
5. Arulpagasam S., Lux C., Odunayo A., Biskup J., Sun X., (2018) Evaluation of Pulse Oximetry in Healthy Brachycephalic Dogs. J Am Anim Hosp Assoc. 54(6):344-350.
6. Aspinall V. (2014) Manual completo de la enfermería veterinaria, Ed.Paidotribo, 1era edición, pp 538.
7. Atilano D., (2006), Efecto de la adición de metionina de zinc a la dieta de cabras gestantes, sobre algunos parámetros fisiológicos y el comportamiento de las crías., Tesis de licenciatura, Distrito Federal, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia.
8. Bálint A., Huba E., János K., Róbert B., Reicher V., Gácsi M., (2019) Potential Physiological Parameters to Indicate Inner States in Dogs: The Analysis of ECG, and Respiratory Signal During Diff., Frontiers in Behavioral Neuroscience., Vol. 13 pp. 207.
9. Barret K., Barman S., Boitano S., Brooks H., (2013) Ganong Fisiologia Medica, Edición 24, McGraw Hill interamericana.
10. Bastiaan J., Ditte L., Filogonio R., Laura B., Marina R., Augusto S., Currie S., Joyce W., Conner J., Opthof T., Crossley D., Wang T., Jensen B., (2019)

- The electrocardiogram of vertebrates: Evolutionary changes from ectothermy to endothermy, *Progress in Biophysics and Molecular Biology*, 144, pp. 16-29.
11. Bayés de Luna A. (2014) *Manual de electrocardiografía básica.*, Ed. Caduceo multimedia., versión castellana del libro “The ECG for beginners”.
 12. Benarroch E., (2008), *The arterial baroreflex: functional organization and involvement in neurologic disease*, Volume 71 pp.1733-1738.
 13. Biagioli M., Pinto M., Cesselli D., Zaninello M., Lazarevic D., Roncaglia P., (2009) Unexpected expression of alpha- and beta-globin in mesencephalic dopaminergic neurons and glial cells. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 106:15454-9.
 14. Biblioteca de razas. (2020). Recuperado 6 de octubre de 2020, de Royal canin website: <https://www.royalcanin.com/mx/dogs/breeds/breed-library>.
 15. Blasco R. (2015). Gasto energético en reposo. *Métodos de evaluación y aplicaciones.*, *Rev Esp Nutr Comunitaria* 21 pp. 243-251.
 16. Boron W., Boulpaep E. (2017) *Fisiología Medica 3er edición.*, Ed. Elsevier.
 17. Brejov G. (2016) *Manual de semiología veterinaria FCV. Tomo 1.*, Universidad de Buenos aires., pp.39-84.
 18. Cardona K., Saiz J., de Loma J., Puerto G., Suárez C. (2008) Electric Activity Model of Cardiac Cells., *Rev.fac.ing.univ. Antioquia* 46.
 19. Castellano C., Perez de Juan M., Attie F. (2004) *Electrocardiografía clínica, segunda edición.*, Editorial Elsevier.
 20. Costanzo J., Lee R. (2013), Avoidance and tolerance of freezing in ectothermic vertebrates, *Journal of Experimental Biology* vol. 216 pp.1961-1967.
 21. Crocker M., Hossen S., Goodman D., Simkovich S., Kirby M., Thompson L., Rosa G., Garg S., Thangavel G., McCollum E., Peel J., Clasen T., Checkley W. (2020) HAPIN Investigators. Effects of high altitude on respiratory rate and oxygen saturation reference values in healthy infants and children younger than 2 years in four countries: a cross-sectional study. *Lancet Glob Health*. 8(3).

22. Csoltova E., Martineau M., Boissy A., Gilbert C., (2017) Behavioral and physiological reactions in dogs to a veterinary examination: Owner-dog interactions improve canine well-being., *Physiology & Behavior*, Vol. 17., pp. 270-281.
23. Davies F., Francis E., (1946) The conducting system of the vertebrate heart, *Biological Reviews*, Volume 21, pp. 173-188.
24. De Jong, F., Opthof, T., Wilde A., Janse M., Charles R., Lamers W., Moorman A., (1992) Persisting zones of slow impulse conduction in developing chicken hearts, Volume 71, Issue 2, pp. 240-250.
25. De Wet C., Moss J., (1998) Metabolic functions of the lung, *anesthesiology clinics of north america*, volume 16, number 1, pp.181-199.
26. Di Renzo J., Casanoves F., (2005), *Estadística para las ciencias agropecuarias.*, Sexta Edición., ed. Brujas.
27. Durrer D., Van dam R., Freud G., Janse M., Meijler F., (1970) Total Excitation of the Isolated Human Heart, *Circulation*, 41:899–912.
28. Duval F., González F., Rabia H., (2010) Neurobiology of stress, *Rev chilena neuro-psiquiatría* 48 (4): 307-318.
29. Ettinger S. J., Feldman E. C., Coté E., (2017) *Textbook of veterinary internal medicine: diseases of the dog and the cat*, Elsevier, 8th edition, pp. 288-338.
30. Feher J., (2012), *Quantitative human physiology an introduction*, Elsevier Academic press, pp 446-454.
31. Feldman E. C., Nelson R. W., (2000) *Reproducción de la perra*. 2nd ed. Mexico, Mc Graw-Hill Interamericana. 572- 803.
32. García F., Marin L., Mayugo S., Scrra M., Frisas E., (1996) La pulsioximetría en el perro. Estudio clínico. *Clínica veterinaria de pequeños animales (Avepa)* Vol. 16 N. 4 pp. 219 – 223.
33. García P., Prieto M., Gutiérrez P., Mayer V., (1999) *Exploración clínica veterinaria.*, España: Ediciones universidad de León.
34. INEGI (2017) Promedio de conceptos básicos de bienestar subjetivo por sexo y disponibilidad de mascota en casa. INEGI, Mexico.

<https://www.inegi.org.mx/investigacion/bienestar/ampliado/default.html#Tabulados>.

35. Hall J., Guyton A., (2010) "The circulation" en S. (ed) Guyton and Hall Textbook of Medical Physiology., Elsevier.
36. Herman J., Figueiredo H., Mueller N., Ulrich-Lai Y., Ostrander M., Choi D., Cullinan W., (2003) Central mechanisms of stress integration: hierarchical circuitry controlling hypothalamo–pituitary–adrenocortical responsiveness, *Frontiers in Neuroendocrinology*, Volume 24, pp. 151-180.
37. Hill R., Wyse G., Anderson M., (2012). *Animal Physiology*, 3a ed. Sunderland, Massachussets, Sinauer.
38. Huey R., J.Kingsolver (1989), Evolution of thermal sensitivity of ectotherm performance, *Trends in ecology and evolution*, Volume 4, pp.131-135.
39. Huerta F., (1991). "Valores de referencia normales en gasometria arterial a 2240 metros sobre el nivel del mar". (Trabajo de grado de especialización). Universidad Nacional Autónoma de México, México.
40. Nguyen I., Brandt M., van de Wouw J., van Drie R., Wesseling M., Cramer M., et al. (2020) Both male and female obese ZSF1 rats develop cardiac dysfunction in obesity-induced heart failure with preserved ejection fraction. *PLoS ONE* 15(5).
41. Jimenez A., (2011) "Examen clínico general en perros y gatos" en S. (ed.) *Metodología Diagnostica Veterinaria*. Ciudad de México, UNAM.
42. Karemaker J., (2017), An introduction into autonomic nervous function, *Physiological Measurement*, 38, pp. 89 – 118.
43. Khang A., Gonzalez A., Schroeder M., Sansom J., Lejeune E., Anseth K., Michael S. Sacks Quantifying heart valve interstitial cell contractile state using highly tunable poly (ethylene glycol) hydrogels, *Acta Biomaterialia* 96 pp. 354–367.
44. King L., Anderson J., Rhodes W., Hendricks J. (1992) Arterial blood gas tensions in healthy aged dogs. *Am J Vet Res.*, 53(10):1744-8.

45. Klabunde, R. (2005). Cardiac Function en "Cardiovascular Physiology concepts". Ed Lippincott Williams & Wilkins.
46. Klein B., Cunningham J., (2014). *Fisiología veterinaria*, 5ta edición, España, Elsevier.
47. Klug W., Cummings R., (2006). *Conceptos básicos de genética*, España, Pearson education.
48. Kuhne F., Hößler J., Struwe R., (2014). "Behavioral and cardiac responses by dogs to physical humane dog contact", *Elsevier, Journal of veterinary behavior*, Marzo, 93-97.
49. Leoci R., Aiudi G., Silvestre F., Lissner E. A., Lacalandra G. M. (2014). Alcohol diluents provides the optimal formulation for calcium chloride non-surgical sterilization in dogs. *Acta Veterinaria Scandinavica*. 56: 62.
50. Leyva Ocariz H., Stabenfieldt G., Munro C., Arteaga M., Orbuz B., Diaz M., Hernandez I. (1993). Endocrinología de cabras criollas ovidectomizadas y mestizas en zonas semiáridas de Venezuela. *Revista Científica FCV-LUZ*. Vol III (2) 157-164.
51. Loehr V., (2018). Thermoregulatory challenges in the habitat of the world's smallest tortoise, *Chersobius signatus*, *Journal of Thermal Biology* Volume 71pp. 62-68
52. Mansukhani M., Kara T., Caples S., Somers V., (2014) Chemoreflexes, Sleep Apnea, and Sympathetic Dysregulation, *Curr Hypertens Rep*. 16(9): 476.
53. Matsunaga, T., Mitsui, T., Harada, T., Inokuma, M., Murano, H., & Shibutani, Y. (1997). QT corrected for heart rate and relation between QT and RR intervals in beagle dogs. *Journal of Pharmacological and Toxicological Methods*, 38(4), 201–209.
54. Martínez, M., (2011) "Homeostasis y mecanismos complementarios de regulación fisiológica." en S. (ed.) *Fisiología veterinaria e introducción a la fisiología de los procesos productivos*. Ciudad de México, UNAM.

55. Martins C., Franzini de Souza C., Morena L., Martins D., Alves de Medeiros M., (2018). "Effects of acupuncture on the heart rate variability, cortisol levels and behavioural response induced by thunder sound in beagles", en Elsevier, Marzo 2018, 37-44.
56. Merck Publishing and Merial Staff. (2007) The Merck/Merial manual for pet health. USA: Elsevier. 1300 pp.
57. Ministerio de defensa español (2013) Manual de procedimientos en medicina y cirugía experimental, Secretaria general técnica, pp. 140-146.
58. Moller J. (1993) Randomized evaluation of pulse oximetry in 20.802 patients I. Designs demography pulse oximetry failure rate, and overall complication rate. *Anesthesiology* 78:436-44.
59. Moller J. (1993) Randomized evaluation of pulse oximetry in 20.802 patients II. Perioperative events and posoperative complications. *Anesthesiology* 78:445-53.
60. Montanero J., Minuesa C., (2018) Estadística básica para ciencias de la salud, universidad de Extremadura.
61. Montoya J., Ynaraja E., (2007). Manual práctico de electrocardiografía en pequeños animales., Ed. Elsevier Masson.
62. Newton D., Rao K., Dluhy R., Baatz J., (2006) Hemoglobin is expressed by alveolar epithelial cells., *J Biol., Chem.* 281: 568-576.
63. Nguyen I., Brandt M., van de Wouw J., van Drie R., Wesseling M., Cramer M., et al. (2020) Both male and female obese ZSF1 rats develop cardiac dysfunction in obesity-induced heart failure with preserved ejection fraction. *PLoS ONE* 15(5).
64. Núñez L. y Bouda J. (2007). *Patología Clínica Veterinaria*. 2da ed. Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México.
65. OECD (2015), OECD Territorial Reviews: Valle de México, Mexico, OECD Publishing, Paris. <http://dx.doi.org/10.1787/9789264245174-en>.

66. Ordoñana, A. (1970) *Constantes de temperatura en perros del Distrito Federal*, Tesis de licenciatura, Distrito Federal, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia.
67. Paredes, A. (1970) *Contribución al estudio de las constantes fisiológicas de los canideos en las condiciones del Valle de México*, Distrito Federal, Tesis de licenciatura, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia.
68. Pérez N., (2014) *Manual Práctico Hospital Veterinario de Pequeñas Especies*, Universidad Veracruzana, pp. 10-11.
69. Pereira C., Huamanquispe J., Castelo L. (2014). Gasometría arterial en adultos clínicamente sanos a 3350 metros de altitud. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 31(3), 473-479.
70. Piedra M., (2017). Estudio de comparación de tres técnicas de laboratorio: medición de hormonas en sangre, citología vaginal y cristalización de saliva en perras y su relación en proestro, estro, diestro y anestro (Tesis de pregrado). Universidad de las Américas, Quito.
71. Pleyers T., Levionnois O., Siegenthaler J., Spadavecchia C., Raillard M. (2020), Investigation of selected respiratory effects of (dex)medetomidine in healthy Beagles. *Vet Anaesth Analg.*, 47(5):667-671.
72. Proulx J., Respiratory monitoring: Arterial blood gas analysis, pulse oximetry, and end-tidal carbon dioxide analysis, *Clinical Techniques in Small Animal Practice*, Volume 14, Issue 4, 1999, pp. 227-230.
73. Radostits O., Mayhew I., Houston D., (2002) *Examen y diagnóstico clínico en veterinaria*, Elsevier.
74. Read M., Rondeau J., Kwong G., (2016) Validation of noninvasive hemoglobin measurements using co-oximetry in anesthetized dogs. *Can Vet J.* 57(11):1161-1165.
75. Rhoades A., Bell D. (2018), *Fisiología médica.*, 5ta edición., ed. LWW.
76. Rico M., Urias A., Barquera C., et al. Valores espirométricos y gasométricos en una población geriátrica sana, a diferentes alturas sobre el nivel del mar,

- en la República Mexicana Estudio multicéntrico. *Rev Inst Nal Enf Resp Mex.* 14(2):90-98.
77. Rubenstein D., Wei Y., Frame M., (2012) *Biofluid mechanics*, Elsevier Academic press, pp.133-178.
78. Rubio J., (2016) Actuación de enfermería ante una alteración electrocardiográfica (6.^a parte) Onda Q, segmento ST y onda T. Síndrome coronario agudo., *Enferm Cardiol*; 23 (68): 30-36
79. Saladin K. (2012) *Anatomía y fisiología la unidad entre forma y función*, 6ta edición, Mc Graw Hill.
80. Sánchez D., Yen H. (2003) Anatomía de los nodos cardíacos y del sistema de conducción específico auriculoventricular, *Revista Española de Cardiología*, 56, pp. 1085-92.
81. Schaible T., Penpargkul S., Scheuer J., (1981) Cardiac responses to exercise training in male and female rats. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol.*, 112-7.
82. Seebacher F., Guderley H., Elsey R., Trosclair P., (2003) Seasonal acclimatisation of muscle metabolic enzymes in a reptile (*Alligator mississippiensis*). Vol. 206 pp.1193-1200
83. Shen M., Zipes D., (2015), *Interventional and Device-Based Autonomic Modulation in Heart Failure*, *Heart Failure Clin.* 11 pp. 337–348.
84. Signe J. Plunkett, (2000) *Emergency Procedures for the Small Animal Veterinarian*, Elsevier, pp.1-25.
85. Silverthorn D. U. (2013) *Human Physiology: An Integrated Approach*, 6th Edition, Pearson, pp. 489 – 535.
86. Soloviev M., Hamlin R., Shellhammer L., Barrett R., Wally R., Birchmeier P., (2006). "Variations in Hemodynamic Parameters and ECG in Healthy, Conscious, Freely Moving Telemetrized Beagle Dogs", *Humana Press*, 51-62.

87. Souza., Peres R., Sousa M., Camacho, Aparecido A., (2017). Cardiac parameters during the estrous cycle of canine bitches. *Pesquisa Veterinária Brasileira*, 37(3), 295-299.
88. Stornelli M. (2012). utilización combinada de ECG y HCG para inducir ciclos fértiles en perras en anestro, Tesis de licenciatura, universidad nacional de la plata facultad de ciencias veterinarias.
89. Tapia C., Rosales M., Saucedo V., Ballesteros J., Sanchez L., Santos I., (2007) Saturación periférica de oxígeno por oximetría de pulso en recién nacidos clínicamente sanos a la altitud de la Ciudad de México (2240m), *Gac. Med. Mex.* Volumen 144 No. 3
90. Tippens P., (2013) Física, conceptos y aplicaciones., 7ª edición., Mc Graw Hill.
91. Tinoco A., Román A., Charri V., (2017). Gasometría arterial en diferentes niveles de altitud en residentes adultos sanos en el Perú. *Horizonte Médico (Lima)*, 17(3), 6-10.
92. Torre L., Chávez E., Vázquez J., Pérez R., (2006) Precisión y exactitud de un oxímetro de pulso “de bolsillo” en la ciudad de México. *Rev. Invest. Clin.* Vol.58 pp. 28-33.
93. Torrente C., Bosch L., (2012) Medicina de urgencia en pequeños animales. Tomo I., Servet., 1er anexo.
94. Vázquez, J., (2000). “Valores gasométricos estimados para las principales poblaciones y sitios a mayor altitud en México” en *Rev. Inst. Nal. Enf. Resp. Enero-Marzo 2000*, pp.06-13.
95. Vilà C., Savolainen P., Maldonado J., Amorim I., Rice J., Honeycutt R., Crandall K., (1997). Multiple and Ancient Origins of the Domestic Dog, *Science*, Vol. 276, pp. 1687-1689.
96. Valadez R., (2000). The origin of the dog, part one (between the wolf and the dog). *Rev. AMMVEPE*, Vol. 11 No. 3, pp 75-84.