

UNIVERSIDAD AGRARIA DE LA HABANA
“Fructuoso Rodríguez Pérez”

FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA

DEPARTAMENTO DE MORFOFISIOLOGÍA



**Modelación Física-Matemática de la actividad
eléctrica ventricular cardíaca en equinos**

**TESIS PRESENTADA EN OPCIÓN AL GRADO CIENTÍFICO DE MÁSTER EN
BIOMATEMÁTICA**

Autor: Lic. Maikel Camejo Zamora

Mayabeque, 2015

UNIVERSIDAD AGRARIA DE LA HABANA

“Fructuoso Rodríguez Pérez”



FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA

Departamento de Morfofisiología

**MODELACIÓN FÍSICA-MATEMÁTICA DE LA ACTIVIDAD
ELÉCTRICA VENTRICULAR CARDÍACA EN EQUINOS**

**TESIS PRESENTADA EN OPCIÓN AL GRADO CIENTÍFICO DE MÁSTER EN
BIOMATEMÁTICA**

Autor: Lic. Maikel Camejo Zamora

Tutores: Dr.C. Alberto Pompa Núñez

Dr.C. Yasser Vázquez Alfonso

Mayabeque, 2015

Agradecimientos

- *A la Revolución Cubana, que con sus sueños de justicia abriga a todo aquel que desea superarse cada día más.*
- *A la Universidad Agraria de La Habana (UNAH) por todas las posibilidades que me ha brindado para mi superación profesional y personal.*
- *A mis humildes padres y hermano por su apoyo incondicional en cada momento.*
- *A mi dulce amada que siempre estuvo ahí a mi lado con paciencia y dedicación.*
- *A la energía creadora del universo que siempre está ahí cuando la necesitamos y nos inspira respeto en cada una de sus obras.*
- *A mi amigo Yoel Morales Castillo por su apoyo oportuno en la etapa experimental de esta investigación.*

A todos... Muchas Gracias

Dedicatoria

- *A mi padre, madre y hermano por su constante amor y sacrificio.*
- *A todos los que de una forma u otra contribuyen al avance y desarrollo de la ciencia.*

Resumen

Esta investigación fue realizada en la “Finca Rancho Domingo García Frías” ubicada en la porción centro sur de las provincias actuales de La Habana y Mayabeque. Tuvo como objetivo modelar física y matemáticamente la posición del vector eléctrico integral generado por la actividad ventricular cardíaca en equinos. Se recopiló la información de las historias clínicas de 9 sementales. El modelo que se propone es una extrapolación del obtenido en bovino, teniendo en cuenta que el equino es un cuadrúpedo que posee la misma distribución en la red de conducción eléctrica cardíaca. El cálculo de la posición espacial del vector eléctrico integral de la actividad ventricular cardíaca, mostró que los valores de los ángulos alcanzados en el equino por la onda R, oscilan en $\alpha_x = 85 \pm 11$, $\alpha_y = 52 \pm 8$ y $\alpha_z = 39 \pm 8$, teniendo su ubicación en el primer octante superior derecho en dirección cefálica. Se concluye que el modelo presentado es confiable en cuanto a los pasos a seguir para la determinación de la posición del vector eléctrico integral medio del complejo QRS en la forma establecida, por lo que puede ser útil en el aprendizaje de la electrocardiografía al contarse con un procedimiento que guíe a los especialistas en los cálculos, auxiliados por una computadora. De la misma manera, podría ser incorporado a los equipos de electrocardiografía, siempre y cuando se hagan las adaptaciones electrónicas correspondientes para que los cálculos se efectúen automáticamente.

ÍNDICE

	Pág
Introducción	1
CAPÍTULO I. Revisión bibliográfica	6
1.1. Breve historia de la electrocardiografía	6
1.2. Posición anatómica y proceso de excitación del miocardio	7
1.3. Fundamentación e importancia del electrocardiograma	10
1.4. Las derivaciones electrocardiográficas	11
1.5. Componentes del electrocardiograma	13
1.5.1. La onda P	13
1.5.2. El complejo QRS	14
1.5.3. La onda T	15
1.5.4. Segmentos e intervalos	15
1.6. Frecuencia cardíaca del equino	17
1.7. Análisis vectorial	17
1.8. Modelación matemática en procesos biológicos	19
1.8.1. La modelación matemática del VEI en animales del grupo B	21
1.8.2. La modelación matemática computacional del VEI.....	22
CAPITULO II. Materiales y métodos	24
2.1. Métodos empleados en la investigación	24
2.2. Características de la entidad donde se realiza la investigación.....	25
2.3. Metodología del trabajo investigativo	25
2.2.1. Estado de salud de los animales	27
2.2.2. Recolección y procesamiento computacional de la información	28
2.2.3. Procesamiento de los datos	29
CAPITULO III. Resultados y discusión	33
3.1. Caracterización de los equinos en el centro de recría.....	33
3.2. Valores de polaridad, amplitud y duración de las ondas, de los segmentos e intervalos	34
3.3. Aplicación del modelo Físico-Matemático-Computacional	39
Conclusiones.....	46
Recomendaciones	47
Referencias bibliográficas	
Anexos	

Introducción

En el mundo, actualmente existe una seria preocupación por dilucidar la causa de los malos rendimientos en los equinos de deporte y en la clínica veterinaria moderna ha cobrado mucha importancia el examen cardiovascular, el cual debe incluir la obtención de un registro electrocardiográfico (Sandersen et al., 2006).

La técnica electrocardiográfica supone un importante método diagnóstico en el campo de la cardiología veterinaria moderna. Una evaluación clínica completa del sistema cardiovascular, debe incluir un estudio electrocardiográfico, ya que éste es el método más exacto del que se dispone para evaluar y caracterizar trastornos del ritmo y conducción eléctrica cardíaca (Dörner, 2009a).

El diagnóstico de las enfermedades cardiovasculares en el caballo es sencillo cuando las fallas son evidentes y están presentes en reposo, situación que se complica cuando los problemas son subclínicos y/o sólo se expresan durante el ejercicio (Vélez, 2014). Es importante que el médico veterinario tenga el conocimiento de todos los cambios que puede sufrir un equino a nivel cardíaco en relación a la edad, género, condición de entrenamiento o en relación a alguna alteración fisiológica concomitante para poder realizar una correcta interpretación de la anormalidad observada.

El propósito de una parte de las investigaciones que se realizan en las ciencias biomédicas es comprender el funcionamiento del organismo animal. En el presente trabajo se diseñó un modelo con un significado fisiológico que permite estudiar el sistema cardiovascular. De esta forma se ampliarán los conocimientos sobre este

complejo sistema, aportando una herramienta importante en el campo de la medicina actual.

Para su estudio los investigadores han elaborado modelos capaces de simular algunas de sus características funcionales, ya sea de forma separada o estableciendo la unión de algunas de ellas. Entre estos se han usado en equinos los de Cook (1972) y Clancy et al. (1991).

A pesar de que los modelos establecidos poseen cierta relevancia, ellos proporcionan una visión limitada del sistema cardiovascular y en muchos casos los parámetros matemáticos no tienen significado fisiológico, se han estudiado muy poco los planteamientos de problemas de estabilización, estabilidad y control, así como los problemas inversos de identificación de fuentes ectópicas y de zonas disfuncionales o dañadas, que son los que tienen mayor importancia práctica, aunque representan un nivel superior de complejidad matemática y computacional. La importancia del modelo desarrollado en el presente trabajo está dada por la fidelidad con que representa la posición del vector eléctrico integral (VEI) de la actividad ventricular, a partir de la cual se puede establecer un diagnóstico clínico.

Aunque la vectocardiografía ha sido estudiada en el equino por largos años, según lo planteado por Stewart (2006) no existen resultados concretos que nos indique alguna utilidad clínica. El estudio completo del sistema cardiovascular en el equino debiera incluir además de la evaluación electrocardiográfica, un completo estudio ecocardiográfico y un test de esfuerzo, junto a la medición de los parámetros sanguíneos hematológicos y bioquímicos.

Con el triunfo de la revolución cubana la ganadería, como muchas otras ramas de la economía, ha experimentado una profunda transformación y en ella se han introducido innumerables avances científico técnicos, entre los que se incluyen la obtención de hembras y sementales raciales de extraordinaria calidad y de renombre mundial, la incorporación de más de un millón de vacas al plan de inseminación artificial y otros. En esa dirección ha continuado profundizando las transformaciones que tienen lugar en la producción agropecuaria, la que se distingue por la introducción creciente de la ciencia y la técnica y el desarrollo de nuevas variedades de cultivo y de la genética animal (Pompa, 1990).

En la etapa pre revolucionaria en Cuba, la utilización del método diagnóstico electrocardiográfico en la medicina veterinaria era nulo, no reportándose trabajos relacionados con este tema. Posterior a 1959 se han reportado trabajos realizados en caballos (Valladares et al., 1975a), así como en bovinos (Valladares et al., 1975b) especie en la que comienza a investigarse más sistemáticamente a partir del quinquenio 1980- 85 en el Centro Nacional de Sanidad Agropecuaria (CENSA).

En Cuba, la depresión económica iniciada en la década del 1990 provocó cambios en los sistemas de manejo, desagregación de los centros de cría e interrupción de los programas de desarrollo con repercusión en la natalidad que fluctúa entre 30 - 32% anual y una reducción poblacional equina de 159 827 ejemplares en el quinquenio 1995-2000 (Ministerio de la Agricultura de Cuba, 2000).

En las Provincias Mayabeque, Ciudad de La Habana y Artemisa la situación de la cría caballar ha estado afectada por tal situación, acentuándose la reducción sostenida, en

lo que respecta a ejemplares raciales, por lo que se impone adoptar medidas para detener el decrecimiento y aumentar la natalidad con buena calidad genética, aunque la cría y producción caballar abarca también el área urbana, siendo los animales empleados en las necesidades de transporte individual y colectivo, para la carga ligera, como medio de tracción, imprescindible en esta región eminentemente ganadera.

Como antecedente de este trabajo en el estudio del vector eléctrico integral de la actividad ventricular cardíaca, en Cuba se han publicado trabajos en cuadrúpedos (Pompa, 1990a, 2000a, 2003, 2010), referidos a su comportamiento en el bovino. Por la gran importancia que tiene esta técnica complementaria en el estudio del sistema cardiovascular, es por ello que la presente investigación está orientada a determinar la posición de dicho vector en equinos, considerándose oportuna para la selección del patrón cardiovascular en esta especie animal. Para ello se plantea el siguiente:

Problema Científico:

¿Cómo establecer un modelo físico-matemático para la estimación de la posición del VEI generado por la actividad ventricular cardíaca en equinos?

Hipótesis:

Con la aplicación de un modelo físico-matemático que contemple un sistema triaxial de coordenadas cartesianas (x , y , z) y los valores de amplitud de tres derivaciones, situadas de manera tal que contemplen dos planos mutuamente perpendiculares, será posible estimar la posición del VEI originado durante la excitación cardíaca y predecir la amplitud de las ondas en otros puntos de la superficie corporal en el equino.

Objeto de investigación:

Posición del VEI generado por la actividad ventricular cardíaca en equinos.

Campo de acción:

Modelación Física-Matemática del VEI generado por la actividad ventricular cardíaca en equinos.

Línea de investigación:

1. Modelación y simulación de procesos biológicos.
2. Salud animal.

Objetivo general:

Modelar física y matemáticamente la posición del VEI generado por la actividad ventricular cardíaca en equinos.

Objetivos específicos:

1. Determinar los valores de polaridad, amplitud y duración de las ondas, de los segmentos e intervalos del electrocardiograma (ECG) en el equino.
2. Diseñar un modelo Físico-Matemático que estime la posición, dirección y sentido del VEI de la actividad ventricular cardíaca en el equino.

CAPÍTULO I. Revisión bibliográfica

1.1. Breve historia de la electrocardiografía

Las señales bioeléctricas se remiten a estudios que comenzaron con el descubrimiento de la electricidad en seres vivos por Luigi Galvani y Alessandro Volta en el siglo XVII (Reynolds et al., 2011). En 1887 Waller, mediante un electrómetro capilar de Lipmann reliza el primer registro gráfico de la corriente de acción de los latidos espontáneos del corazón (Bayes de Luna y Sierra, 1984). En 1903, se produce el gran avance en el estudio de la actividad eléctrica del corazón, debido a los trabajos de W. Einthoven, quien sentó los principios que constituye la base de la electrocardiografía actual en humanos. No se debe olvidar los aportes de Lewis, Wiggers, Wilson, Sodi y otros con los cuales se produjo un adelanto extraordinario en el diagnóstico electrocardiográfico (Rushmer, 1961; Laikan, 1973).

El desarrollo de la electrocardiografía se ha incrementado por los avances de la electrónica, permitiendo desarrollar aparatos de registro cada vez de mayor precisión, sencillez en el manejo y menor costo; como los modelos portátiles, de gran utilidad en la práctica clínica diaria. Registrar electrocardiogramas en una cinta magnética y analizarlos a través de una computadora ha sido la respuesta ante el incremento del índice de presentación de cardiopatías en el hombre y en los animales (Corredor, 2005; Cornefield et al., 2009). La utilización de sistemas computarizados ha desarrollado métodos para el estudio y enseñanza de la génesis del electrocardiograma, que incluyen la simulación de alteraciones funcionales frecuentes en el corazón (Smith, 2010; Pogliani et al., 2013).

El futuro de la electrocardiografía está basado en el mejoramiento de los métodos para traducir el lenguaje de los eventos eléctricos que se obtienen en la superficie de un cuerpo y que representan información sobre las características morfo funcionales del corazón. Sin embargo, en los últimos, años la difusión de la electrocardiografía en el campo veterinario, sobre todo en el área de grandes especies, ha sido sorprendente, como una prueba más de lo importante que puede ser este tipo de información para el diagnóstico clínico veterinario (Reynolds et al., 2011; Kienle, 2011; Liedtke et al., 2013).

1.2. Posición anatómica y proceso de excitación del miocardio en el equino

En la mayoría de los mamíferos excepto en los primates el corazón está ubicado de forma tal que el ventrículo derecho yace en dirección cefálica y diestra al tabique interventricular (Reed, 1998). El corazón de forma cónica irregular y algo aplanado ocupa, en el equino, la mayor parte del espacio mediastínico medio. Está fijo en su base por los grandes vasos, pero el resto del órgano está enteramente libre en el pericardio. Su posición es asimétrica y, refiriéndonos a cantidades que asientan sobre la derecha e izquierda del plano medio, la relación es de aproximadamente de 4/5. El eje longitudinal está dirigido ventral y caudalmente. La base lo está dorsalmente y su parte más alta asienta cerca de la unión de los tercios dorsal y medio del diámetro dorso ventral del tórax. Es opuesto a la pared lateral del tórax, desde el segundo espacio intercostal (Sisson et al., 2001).

El sistema de conducción del equino, en general posee una actividad eléctrica ordenada y tiene, en condiciones normales, una cadencia rítmica, que permite la

contracción asincrónica de los atrios y los ventrículos (Verheyen et al., 2010). Este sistema de conducción está compuesto por: Nódulo senoatrial (SA) o de Keith y Flack, nódulo atrio ventricular (AV) o de Aschoff-Tawara, haz de His, sus ramas derecha e izquierda y por la red de Purkinje. El nódulo SA es el marcapasos normal del corazón y se ubica en la aurícula derecha, justo en la unión de esta con la vena cava craneal (Luo y Rudy, 1994; Colahan et al., 1998; Lightowler et al., 2001).

En el equino, el nódulo SA tiene la particularidad de ser una estructura relativamente grande como de herradura, localizándose en forma superficial, inmediatamente por debajo del epicardio. Esta característica anatómica, hace que la actividad eléctrica se expanda radialmente a través del atrio derecho, generando el primer componente de la onda P bimodal en el ECG. La despolarización de la aurícula izquierda parece ocurrir espontáneamente, sin contribuir con el origen de la onda P del ECG en la superficie corporal, siendo la despolarización del tabique interatrial el segundo componente de la onda P bimodal (Physick-Sheard, 1998; Doherty y Valverde, 2006; Liedtke, 2013).

La conducción desde el nódulo SA hacia el AV, aún no ha sido confirmada y al parecer ocurre tanto por transmisión a través de células miocárdicas como por el tejido especializado de conducción. El retardo en la conducción producido a través del nódulo AV, es la causa del intervalo PQ o PR (Bonaguara y Reef, 2004; Lightowler, 2006; Godoy, 2008). El haz de His es la única vía de conducción a través del tabique inter ventricular. Se divide en rama derecha e izquierda, que se dirigen hacia los ventrículos respectivos. Esta conducción en las ramas es más veloz que en el nódulo

AV y la activación pasa rápidamente hacia el miocardio ventricular a través de la red de Purkinje. El equino tiene la particularidad de tener una extensa arborización en la red terminal a través de todo el miocardio, desde el endocardio hasta el epicardio a diferencia de las especies categorizadas en el grupo A (Hamlin y Smith, 1960b; Colahan et al., 1998).

El grado de penetración de las ramificaciones de Purkinje difiere de unas especies a otras como se ha demostrado al estudiar su distribución en el miocardio de los mamíferos y de las aves; de lo que resulta que los animales pueden ser divididos o categorizados en dos grandes grupos: un grupo A donde las fibras de Purkinje penetran hasta la mitad de la distancia del endocardio, al epicardio (primates, caninos, felinos y roedores) y un grupo B en el que las fibras de Purkinje penetran completamente, extendiéndose desde el endocardio, hasta el epicardio en las paredes libres y en la base de los ventrículos, en equinos, rumiantes, porcino y en aves (Hamlin y Smith, 1960b; Murakami et al., 1985; Illera et al., 1987).

Para los animales categorizados en el grupo A según refiere Lightowler (2006), como el caso del hombre, el perro, el conejo y otras especies, cuando el impulso eléctrico llega a los ventrículos, lo primero en despolarizarse es la superficie endocárdica izquierda del tabique en su parte media, la que rápidamente compromete las dos superficies endocárdicas del tabique, generando un primer vector. Luego la despolarización se propaga por la superficie endocárdica de la pared libre de los dos ventrículos, generando un segundo vector, para finalmente extenderse hacia la parte externa y basal del corazón, generando un tercer vector. En esta etapa de

despolarización, el potencial eléctrico instantáneo se dirige hacia el ápice del corazón (Castaño, 2007; Buzzano et al., 2010; Franco, 2012).

En los animales del grupo B, la despolarización ocurre de una manera distinta y lo primero en despolarizarse es la parte apical del septum interventricular de izquierda a derecha, generando un vector semejante al que se produce en los mamíferos del grupo A, y correspondería a la onda Q del ECG. Como consecuencia de la gran arborización y diseminada red de Purkinje, la despolarización continua en forma explosiva a partir de múltiples focos a través de la pared libre de ambos ventrículos, de tal manera que la mayor actividad eléctrica se cancela entre sí, por lo que no se genera deflexión en el electrocardiograma de superficie (Patterson, 1996; Physick-Sheard, 1998; Godoy, 2008; Diniz, 2008; Cornefield et al., 2009).

La diferente distribución de las fibras de Purkinje en el músculo cardíaco del equino y en las diferentes especies de grupo B, trae como consecuencia que existan solo dos frentes de activación bien definidos en el complejo QRS (Pompa, 2000b) y no tres como en los animales del grupo A (Murakami, 1985).

1.3. Fundamentación e importancia del electrocardiograma

Las corrientes eléctricas producidas durante la actividad cardíaca se propagan por medio de los líquidos corporales a la totalidad del organismo originando las diferencias de potenciales eléctricos entre las más diversas regiones del cuerpo (Pompa, 2009, 2004). Cada latido cardíaco va precedido de modificaciones eléctricas que pueden ser registradas en la misma superficie del corazón o en distintos puntos

de la superficie corporal. Al registro así obtenido se le denomina Electrocardiograma y se reconoce por las siglas ECG (Naylor, 2004; Brown, 2013).

La electrocardiografía se consiste en el registro de la actividad eléctrica del músculo cardíaco que precede cada ciclo mecánico completo de sístole y diástole (Giuseppe, 2014; Rego, 2005). La correcta interpretación del registro, aporta información sobre la frecuencia y tipo de ritmo cardíaco y es esencial en el diagnóstico de las arritmias. El ECG se registra con un electrocardiógrafo, que mide la diferencia de potencial que existe entre los electrodos, y normalmente se realiza a una velocidad de papel de 25 mm/s y a una sensibilidad de 1 cm = 1 mV (Naylor, 2004; Dörner, 2009; Friedman, 2012).

En medicina equina, la electrocardiografía se utiliza básicamente en el estudio del ritmo, para ello se emplea una sola derivación, que permite una gráfica claramente descriptiva y fácil de evaluar. El caballo es un animal que presenta, en numerosas ocasiones, arritmias sin significado patológico, detectadas muchas veces a nivel clínico. La disposición correcta de los electrodos permite una fácil lectura de la gráfica en el ECG y habitualmente es bien aceptado por el animal. Sin embargo, cuando se sospecha de arritmias patológicas, es necesario recurrir al registro de varias derivaciones para diagnosticar el origen de la lesión (Kvart y Häggström, 2002; Lightowler, 2006; Guyton, 2014; Holmes, 2015).

1.4. Las derivaciones electrocardiográficas

Se denomina derivación a las distintas posiciones en que se colocan los electrodos para recoger el trazo electrocardiográfico (Zerquera, 2012). La derivación es bipolar cuando se utiliza un electrodo positivo y uno negativo de manera que el instrumento

registre la diferencia de potencial entre las superficies situadas por debajo de cada uno de ellos. Es monopolar cuando el electrodo negativo se conecta de forma tal que su potencial sea aproximadamente cero y el electrodo positivo (explorador) registre el potencial de los puntos ubicados por debajo de él (Matsui y Busano, 1987; Luo y Rudy, 1994; Franco, 2012; Pogliani et al., 2013; Marr, 2011).

Corrientemente en el hombre se utilizan 12 derivaciones; tres bipolares que son las derivaciones estándares de miembro (D_I , D_{II} y D_{III}) y nueve monopolares (V_1 , V_2 , V_3 , V_4 , V_5 , V_6 , aVR, aVL, aVF) de las cuales las seis primeras corresponden a las precordiales o torácicas y las tres últimas a las aumentadas de miembros (Rego, 2005; Mayer et al., 2011; Zerquera, 2012; Giuseppe, 2014).

En medicina veterinaria se han usado varios métodos mediante los cuales se realiza el registro electrocardiográfico, el primero y más extendido lo constituye el método estándar, el cual consta de 12 derivaciones, estas se obtienen como resultado de la exploración indirecta del corazón desde varios puntos situados en distintos planos, aportando una información amplia del estado de salud del miocardio (Corredor et al., 2005; Doherty y Valverde, 2006; Dörner y Godoy, 2009).

Desde un punto de vista eléctrico, se considera al cuerpo del animal como un cilindro observable desde tres puntos de vista: frontal, horizontal y sagital. En la práctica, la exploración electrocardiográfica se realiza en el plano frontal con las derivaciones estándares y las unipolares de los miembros. El plano horizontal se explora con las derivaciones precordiales (Avanzolini, 1998; Bonaguara y Reef, 2004; Reef et al., 2014).

Requena y Agüera (2006) plantean como puntos de derivación más prácticos en los animales los siguientes: Derivación I: Metacarpo derecho - Metacarpo izquierdo. Derivación II: Metacarpo derecho - Metatarso izquierdo. Derivación III: Metacarpo izquierdo - Metatarso izquierdo. En los caballos, habitualmente se utiliza una disposición de los electrodos base-ápex. Esta disposición de los electrodos permite una fácil lectura de la gráfica en el ECG, y es bien aceptada por el animal, facilitando su colocación (Requena y Agüera, 2006; Rimbaud, 2011; Brown, 2013).

1.5. Componentes del electrocardiograma

Al analizar un ECG se deben tener en cuenta dos magnitudes, la amplitud de las ondas y la duración tanto de las ondas como de los segmentos que las separan. Debido a que el electrocardiógrafo se calibra con una señal eléctrica de valor conocido y esta señal es registrada sobre una cinta de papel milimetrado, la amplitud traduce la tensión eléctrica que corresponde a cada onda expresada en mV. Cuando en el ECG se considera una fracción de registro que incluye la duración de ondas y segmentos juntos se habla de intervalos. Por eso a continuación se tratan las ondas y posteriormente los segmentos e intervalos (Rushmer, 1961; Simelius, 2004; Rovira et al., 2008).

1.5.1. La onda P

Cuando comienza el análisis de las distintas partes de que consta el electrocardiograma la primera onda que debe identificarse es la P, ya que con ella se inicia el ciclo eléctrico cardíaco, esto es, la fase de despolarización a nivel de las aurículas (Valladares et al., 1973; Stewart, 2006; Montejo et al., 2002).

En las derivaciones estándares, en el humano la onda P siempre va a ser positiva, excepto en aVR y ocasionalmente en D_3 . En la hipertrofia de la aurícula derecha la

onda P se presenta predominante aguda en D_2 , D_3 y aVF. Si la hipertrofia es en ambas aurículas, la onda P se muestra muy alta y puntiaguda en V_1 y V_2 ensanchada en V_5 y V_6 . El análisis morfológico de esta onda, por tanto, es importante en los trastornos hemodinámicos de las aurículas, tales como estenosis e insuficiencias valvulares (Laikan, 1973; Amory, 1993; Saschse, 2011; Clayton, 2013).

En las derivaciones, en el plano frontal y sagital, por el método de Vishniakoc (2013) la onda aparece siempre positiva en las distintas especies, en el caballo se ha observado un 40% dentada o bicúspides, parte superior terminada en dos cimas, la primera porción corresponde al paso del impulso a la aurícula derecha y la segunda a la aurícula izquierda.

1.5.2. El complejo QRS

En el registro electrocardiográfico el complejo QRS representa la despolarización ventricular. Está formado por tres ondas sucesivas, en ellas se valoran el voltaje de las ondas, anchura y forma del complejo, en los animales denominados del grupo A y por dos en el grupo B (Hamlin y Smith, 1960). En el complejo QRS el voltaje puede estar disminuido o aumentado. Aparece disminuido en un grupo de causas tales como: en animales muy gordos, en los cuales el corazón está recubierto excesivamente de grasa, derrames del pericardio o edema subcutáneo asociados a enfermedades renales, hepáticas o cardíacas o por desnutrición crónica, infarto del miocardio, fibrosis cardíacas, entre otras patologías (Mayer et al., 2011).

Otro elemento importante lo constituye la duración de QRS: en los grandes animales domésticos, el caballo y la vaca, la duración de este complejo oscila entre 0,06 a 0,12 segundos. De 0,12 segundos en adelante se considera patológico, se valoran como

bloqueos de rama o hipertrofia ventriculares. Cuando la duración del complejo es excesiva y se aprecian deformaciones de las ondas R y S, se evidencia una pérdida de la forma habitual del complejo, y la anchura de la Q, tal y como sucede en el infarto del miocardio (Kvart y Häggström, 2002; Lentsy, 2012; Koshanov, 2013; Honda et al., 2013).

1.5.3. La onda T

La onda T constituye la desviación final del registro electrocardiográfico, y es originada por la repolarización de los ventrículos, coincidiendo su rama descendente con el fin de la sístole ventricular (Upadhyay y Sud, 2008). A diferencia de la onda P y el complejo QRS, se origina por las corrientes eléctricas producidas cuando los ventrículos se recuperan de la despolarización ventricular. Por ello es muy variable, en función de la frecuencia cardíaca, ya que esta provoca cambios de dirección y amplitud de la onda, pudiendo variar de positiva a negativa. Su interpretación clínica es difícil, y suele estar alterada en trastornos de tipo metabólico (Kvart y Häggström, 2002; Verheyen et al., 2010; Zerquera, 2012).

En el caballo la polaridad de la onda T es variable y no necesariamente ligada al complejo QRS, como en el hombre. Es generalmente negativa en las derivaciones I, II, aVF y V₁₀ y positiva en las derivaciones III, aVR, aVL, CV₆LL, CV₆LU y CV₅RL (Shiono et al., 2003; Sandersen et al., 2006; Smith, 2010; Serrano et al., 2011).

1.5.4. Segmentos e intervalos

El segmento PQ representa un período isoeléctrico que se inicia al terminar la onda P y termina en el punto en que la línea isoeléctrica se modifica para iniciar el registro

del complejo QRS, que indica el inicio de la actividad ventricular. Durante este período se termina la despolarización auricular y se inicia la activación del nodo auriculoventricular (Corredor et al., 2001). La duración encontrada en yeguas gestantes de este segmento varió en proporción inversa a la frecuencia cardíaca, y en promedio es de 0,16 a 0,27 s, aunque se han reportado valores más bajos, dependiendo de la edad, desde 0,12 a 0,20 s. (Reed, 1998; Requena y Agüera, 2006; Rovira, 2008).

El intervalo ST incluye además la duración de la onda T y ofrece información de todo el proceso de repolarización ventricular. Normalmente se utiliza un intervalo aun mayor, el QT que se extiende desde el principio del complejo QRS hasta el final de la onda T y se conoce como sístole eléctrica de los ventrículos, ya que comprende el tiempo en que estos se despolarizan y repolarizan. Es una línea isoeletrica, ligeramente cóncava o convexa, de una duración promedio de 0,29 a 0,47 s. La modificación patológica más común del segmento S-T es un mayor asentamiento de la concavidad o convexidad de la misma (Bonaguara y Reef, 2004; Diniz, 2008; Bonomo et al., 2011).

El tiempo que transcurre desde la repolarización ventricular hasta el nuevo proceso de despolarización está dado por el intervalo TQ, denominado diástole eléctrica de los ventrículos, su duración media en equinos jóvenes es de 0,41 s (Rovira et al., 2008). El segmento TP se extiende desde el final de la onda T hasta el inicio de la onda P del ciclo cardíaco siguiente. A este segmento del ECG se hace poca referencia en la literatura, aunque se ha destacado su importancia en el estudio de los trastornos del ritmo (Patterson, 1996; Marr, 2011; Clayton, 2013).

1.6. Frecuencia cardíaca del equino

La frecuencia cardíaca es el número de latidos que realiza el corazón en la unidad de tiempo. Para su determinación son necesarias derivaciones que reflejen adecuadamente los componentes electrocardiográficos. La derivación D_{II} ha sido frecuentemente utilizada para este propósito, pero actualmente se utiliza fundamentalmente la BA (Shiono et al., 2003; Montejo, 2006).

El cálculo de la frecuencia cardíaca se puede realizar dividiendo 1500 entre el número de cuadritos de 1mm que hay entre dos ondas R consecutivas o multiplicando por 20 el número de complejos QRS comprendido en 15 cuadros de los grandes (0.5 cm), cuando la velocidad es de 25 mm/s (Buzzano, 2010; Marr, 2011; Liedtke, 2013).

En los equinos la determinación de la frecuencia cardíaca se hace generalmente tomando el promedio del número de cuadritos de 1mm ocupados por cuatro o seis intervalos RR o PP en distintas derivaciones. Dividiendo 1500 entre dicho promedio se obtiene el valor de la frecuencia (Godoy, 2008; Holmes, 2009; Kienle, 2011). La frecuencia normal del equino en reposo tiene un valor promedio de $45,11 \pm 10,75$ latidos/min según refiere (Corredor et al., 2005).

1.7. Análisis vectorial

Guyton (2014) considera que el corazón tiene un eje anatómico y otro eléctrico, los cuales no son idénticos. El eje eléctrico, se representa por una flecha o vector con dirección, amplitud y sentido, sobre el plano horizontal. Dicho vector es el resultante de las innumerables fuerzas eléctricas que se originan en el músculo cardíaco durante la activación ventricular y auricular, y la repolarización ventricular, las cuales se estudian a través del cálculo de los ejes promedios de activación auricular, ventricular

y de repolarización ventricular (Illera et al., 1987; Barbini y Cevenini, 1989; Colahan et al., 1998; Godoy, 2008; Verheyen et al., 2010; Vélez, 2014).

Por lo tanto, el estudio electrocardiográfico del corazón, se completa al conocer las características vectoriales del fenómeno eléctrico cardíaco. El análisis vectorial del electrocardiograma ha sido ampliamente estudiado tanto para el humano como para el equino. En el humano, el vector principal de la despolarización ventricular se dirige hacia el ápice del corazón, o sea, hacia la masa ventricular predominante. (Lightowler, 2006). El equino a diferencia del hombre, tiene un eje eléctrico medio ventricular con dirección hacia la base cardíaca y no hacia el ápice (Deroth, 1980; Patterson, 2010; Giuseppe, 2014).

Para la determinación de los ejes de activación auricular y ventricular, como el eje de repolarización ventricular, la información recogida de dos derivaciones bipolares y dos derivaciones unipolares, son llevadas al sistema hexaxial de Bayley. El sistema hexaxial de Bailey se basa en que los tres lados del triángulo de Einthoven son desplazados hacia el centro, lugar donde teóricamente se encuentra el corazón. Se obtiene un sistema de seis ejes con las derivaciones unipolares y bipolares, en el plano frontal para el humano u horizontales para el equino. Las tres derivaciones bipolares en este sistema constan de una parte positiva y otra negativa (Colahan et al., 1998; Godoy, 2008; Dörner, 2009; Hiraga y Sugano, 2015).

Las partes del miocardio abarcadas por el proceso de excitación son electronegativas en relación a las porciones que se encuentran en reposo, de manera que se originan varios sistemas de cargas eléctricas de signo opuesto que pueden ser analizados en

calidad de dipolos elementales. Los dipolos así surgidos pueden ser expresados como cantidades vectoriales, con un valor proporcional a la masa del músculo activada y dirección de acuerdo con la vía recorrida a través del corazón (Hamlin y Smith, 1960a; Roshchevskii, 2013).

El vector del momento dipolo resultante, debido a la excitación cardíaca, es igual a la suma vectorial de todos los momentos de los dipolos elementales y se denomina vector eléctrico integral del corazón. La amplitud de este vector se puede valorar mediante su proyección en los ejes de coordenadas formados por las derivaciones que conforman el triángulo equilátero propuesto por Einthoven (Pompa y Torres, 1990; Holmes et al., 2009; Guyton, 2014).

Los estudios de análisis vectoriales realizados en bovinos y en otros cuadrúpedos, utilizando las mismas derivaciones que en el hombre, han revelado una variabilidad en los resultados obtenidos (Pompa, 2000a), por lo que no es posible tenerlos en cuenta desde el punto de vista diagnóstico. Por tales razones en este trabajo se extrapolan los métodos empírico y físico-matemático de análisis vectorial desarrollado en el bovino (Pompa, 1990, 2000b; 2003) al equino, por pertenecer también a los animales del grupo B.

1.8. Modelación matemática en procesos biológicos

Una de las herramientas más interesantes que actualmente disponemos para analizar y predecir el comportamiento de un sistema biológico es la construcción y posterior simulación de un modelo matemático. Son muchas las razones que justifican la edad de oro que hoy en día vive la modelación matemática, pero debe destacar, en primer

lugar, el incremento del conocimiento de los procesos biológicos, y en segundo lugar, el avance de los ordenadores y los software matemáticos.

Un modelo matemático es la representación de todas las características importantes de un sistema con el propósito de derivar las ecuaciones matemáticas que determinen su comportamiento. Este debe incluir los mínimos detalles del sistema, de manera que el comportamiento pueda ser representado por una ecuación o varias ecuaciones. (Luo y Rudy, 1994; Meza, 1997; Létourneau et al., 2007).

La modelación y la experimentación no son disciplinas antagónicas, la primera está comprendida en la segunda, que es la base fundamental de la biología científica, potencialmente la más matemática de las ciencias (Wexler, 1968; Spain, 1982; France y Kebreab, 2008).

Entre los diferentes tipos de modelos se encuentran en un extremo los modelos físicos, en el otro los modelos matemáticos y en una posición intermedia los analógicos. Las estructuras que componen los modelos físicos se asemejan, en diferentes escalas, a la realidad que se quiere imitar. En los modelos analógicos una o varias propiedades del sistema real se representan mediante propiedades de objetos con comportamiento similar al real, como diagramas de flujo y gráficas (Moughan, 2002; Gómez, 2009; Illanes y Sérandour, 2013).

También puede dividirse a los modelos de acuerdo a su objetivo. Así serán descriptivos cuando la meta es explicar o entender, (Avanzolini et al., 1988) o predictivos, cuando vaticinan o replican el comportamiento de un sistema real. Los

modelos predictivos abarcan a los descriptivos, no así a la inversa (Luo y Rudy, 1994; Gómez et al., 2003; Glass y Murray, 2004; González, 2014).

Los investigadores Illanes y Sérandour (2013) señalan: que un modelo físico puede referirse a una construcción teórica, modelo matemático de un sistema físico. También a un montaje con objetos reales que reproducen el comportamiento de algunos aspectos de un sistema físico o mecánico más complejo a diferente escala, modelo material en miniatura. El término aparece con diferentes acepciones en el ámbito de la física o en el de la física aplicada, como la ingeniería.

En el presente trabajo se emplea el modelo matemático de un sistema físico, como lo es el sistema excito conductor de la actividad eléctrica del corazón equino. Con una representación geométrica del vector eléctrico integral generado por todas las pequeñas corrientes en el miocardio es posible estimar afecciones de la conducción eléctrica en este órgano vital.

1.8.1. La modelación matemática del VEI en animales del grupo B

En la práctica clínica, se calcula el VEI de la actividad ventricular cardíaca en el humano a través de un electrocardiograma, para establecer el ángulo que tiene el vector medio del QRS en relación a ciertas derivaciones, sin hacer referencia a la amplitud del vector. En forma usual se determina el valor neto del voltaje del QRS en las derivaciones estándar D_I y aVF. De acuerdo a esos valores se localiza el cuadrante donde se ubica. Los resultados obtenidos con el método anterior sólo dan información del ángulo del QRS medio, pero no permite deducir información sobre las

características del QRS (voltaje) en otras derivaciones estándares. (Wexler, 1968; Lanza, 1998; Cañizares et al., 2003; Gómez, 2004).

En los sementales bovinos se registra en el sistema de derivaciones bipolares un incremento de R y del complejo QRS durante la época de lluvia, debido a las ligeras modificaciones en la orientación espacial del vector de la onda R. En este sentido el sistema de derivaciones utilizado ofrece información acerca de los valores relativos de cualquier vector con respecto a determinados puntos, pero no acerca de su valor absoluto. Por esta razón en muchas investigaciones además del estudio electrocardiográfico se toma en cuenta la proyección del vector total en los planos frontal, sagital y transversal, utilizando combinaciones de derivaciones bipolares o sobre la base de derivaciones monopoles combinadas con bipolares, sin embargo, no se había considerado un sistema tan práctico y sencillo con derivaciones monopoles solamente (Pompa, 1990; 2000a; 2003).

Se han reportado casos de cálculo del VEI en el bovino (Pompa, 1990; 2000a; 2003), animal perteneciente a los denominados por Hamlin y Smith (1960b) del grupo B, al igual que los equinos, rumiantes, porcino y aves. Teniendo en cuenta que el equino pertenece a este grupo será posible predecir comportamientos similares de la ubicación del VEI de esta especie, en las condiciones de Cuba.

1.8.2. La modelación matemática computacional del VEI

Con la incorporación de herramientas de procesamiento e identificación de señales al campo médico se ha facilitado el diagnóstico en un sinnúmero de especialidades, por lo que es necesario el desarrollo de metodologías y técnicas que hagan menos engorroso el estudio de las señales cardíacas. En los últimos años se han adelantado

investigaciones por parte de diversos grupos científicos que se ocupan de la identificación de anomalías cardíacas, proponiendo la utilización de técnicas de procesamiento de señales, selección efectiva de características y clasificación de patrones (Castaño et al., 2007; Wu et al., 2009; Illanes y Sérandour, 2013).

En las investigaciones de Simelius (2004) y Kerckhoffs et al. (2006), se puede encontrar una excelente revisión de los modelos cardíacos computacionales más destacados a lo largo de la historia, así como una buena descripción de los sistemas de conducción eléctrica del corazón. Los modelos y simulaciones matemáticas (Virag y Blanc, 2001; Vidal et al., 2010; Saschse, 2011), junto con los estudios experimentales y clínicos adecuados, son herramientas necesarias y complementarias para la realización de un buen diagnóstico.

Se ha modelado la actividad eléctrica cardíaca con tratamiento computacional teniendo en cuenta que, para el cálculo de la posición del VEI en cuadrúpedos es necesario la utilización de un sistema triaxial de coordenadas cartesianas (x, y, z) y los valores de amplitud de tres derivaciones, situadas de manera tal que contemplen dos planos mutuamente perpendiculares (Pompa, 1990; 2000b; 2003).

Es posible lograr sencillez y efectividad en la implementación del modelo, utilizando un software de cálculo simbólico, en este caso una calculadora del eje eléctrico cardíaco en lenguaje de programación en java, utilizando la herramienta de NetBeans IDE 8,0., ya que evidentemente sería inapropiado utilizar un lenguaje de programación de alto nivel de propósito general (GNU General Public, 2014).

CAPITULO II. Materiales y métodos

2.1. Métodos empleados en la investigación

En la investigación se utilizaron los métodos teóricos siguientes:

- **Histórico lógico** se realizó una reseña acerca del empleo y utilización de las derivaciones electrocardiográficas en las diferentes especies de animales.
- **Análisis y síntesis:** consistió en un estudio pormenorizado de las propiedades eléctricas del miocardio, arribando a los elementos esenciales para su empleo en el diagnóstico clínico.
- **Inducción-deducción:** teniendo en cuenta la amplitud, morfología y polaridad de las ondas, se infiere el comportamiento de estas en otras regiones de la superficie corporal.
- **Enfoque de sistema:** a partir de los datos obtenidos en tres derivaciones se interpreta la actividad eléctrica del corazón como un todo.

Como métodos empíricos se utilizaron:

- **Sondeo o levantamiento:** se utilizó la técnica análisis documental para la recopilación de datos e información con la historia clínica de cada animal en la Finca Rancho Domingo García Frías.
- **Observación:** se observó la morfología y las características del grafo elementos del electrocardiograma y la conducta de los animales para valorar su estado de salud.
- **Medición:** se midió amplitud de las ondas y duración de éstas, de los segmentos y de los intervalos en el electrocardiograma.

- **Modelo físico-matemático:** se modeló a través de ecuaciones la manera de realizar el cálculo de la posición, dirección y sentido en que se encuentra el VEI del equino.

2.2. Características de la entidad donde se realiza la investigación

La investigación fue realizada en la “Finca Rancho Domingo García Frías” ubicada en la porción centro sur de las provincias actuales de La Habana y Mayabeque. Limita al norte con Managua (Provincia La Habana), al sur con la Carretera Bejucal – San José de las Lajas (Provincia Mayabeque), al este con la Autopista Habana – Melena y al oeste con la Carretera Managua–Batabanó. Su dirección actual es: Carretera a Batabanó km. 23 ½, El Volcán, San José de las Lajas, Mayabeque. El balance del Área Protegida según fuentes del Departamento de Economía en diciembre del año 2006 (Rodríguez, 2007), es de una superficie total de 1146,34 ha.

A través de la Resolución No. 348 del 2004 del Ministerio de la Agricultura, se aprueba el objeto social de la Empresa Nacional para la Protección de la Flora y la Fauna, que en el caso del Área Protegida de Recursos Manejados Rancho Domingo García Frías es la reproducción genética equina y la conservación de especies de la flora y la fauna.

2.3. Metodología del trabajo investigativo

La metodología de trabajo aplicada tiene como base una investigación de tipo Exploratorio-Descriptivo-Experimental y de corte transversal, con el objetivo de especificar las características y propiedades más importantes del VEI, en los sementales equinos. La investigación se realizó en tres fases como se muestra en la figura 2.1, que se pueden resumir como sigue:

Fase 1: Análisis de las historias clínicas de los animales en la recría, que permitió hacer una caracterización de los problemas cardiovasculares que presenta cada semental.

Fase 2: Recolección de las variables para realizar el análisis del VEI en cada individuo, donde se midieron la amplitud y duración de cada onda en las derivaciones V_{1c} , V_{5c} y V_6 en el registro electrocardiográfico.

Fase 3: Procesamiento, análisis e interpretación de los resultados, con el desarrollo de la herramienta informática para el cálculo del VEI.

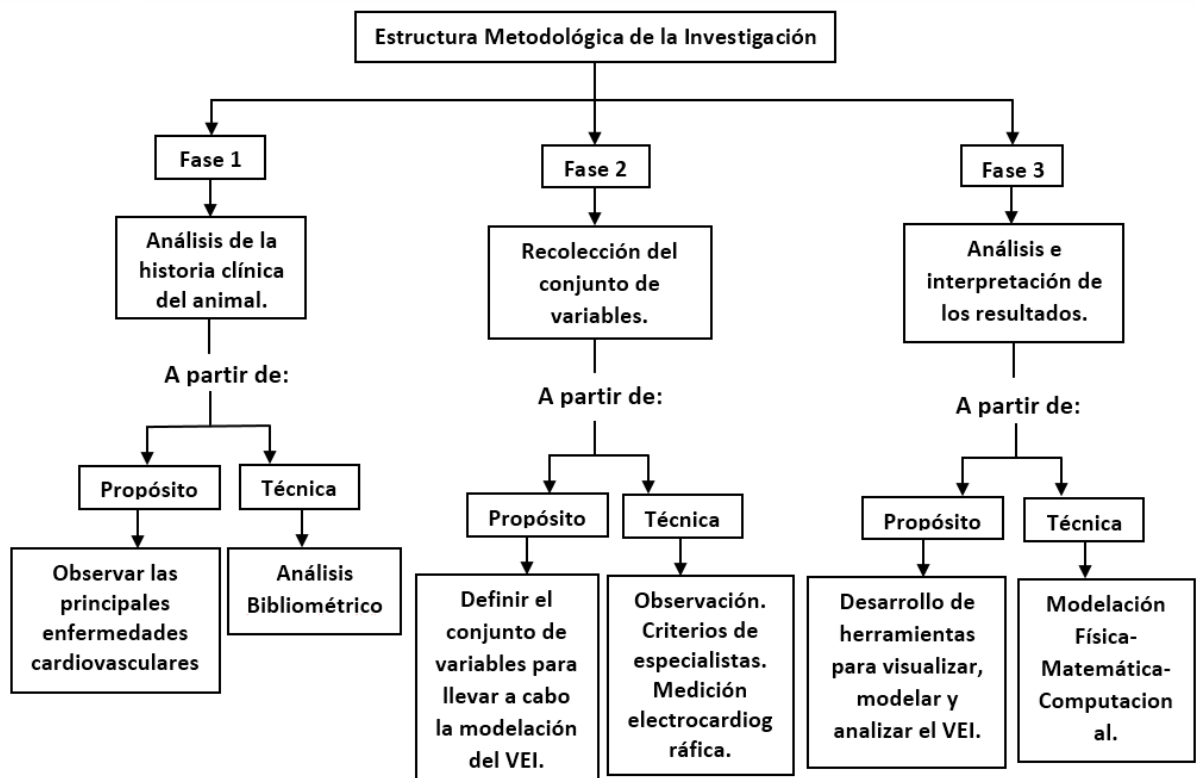


Figura 2.1: Estructura metodológica de la investigación.

Fuente: Elaboración propia.

2.2.1. Estado de salud de los animales

Para la investigación se trabajó con una población de 9 animales de las razas, pura sangre inglés (1), pura sangre español (3) y árabe (5); constituyendo el total de sementales en este centro.

Para valorar el estado de salud de los animales se tuvo en cuenta las recomendaciones de Caballo y Salazar (2005) que plantean que la historia clínica de los equinos debe contener los siguientes aspectos de vital importancia en el examen exploratorio del animal: anamnesis; inspección del medio que rodea al animal; exploración en la distancia; constantes vitales; temperatura; frecuencia respiratoria (respiración/min); frecuencia cardíaca (latidos/min); grado de hidratación; tiempo de llenado capilar; color de las mucosas; determinación de la edad por la dentición y la ficha de inspección veterinaria.

Los aspectos antes tratados fueron observados en las historias clínicas de la población de équidos del centro de cría (Anexo 2), considerando siempre como prioridad la exploración del sistema cardiovascular. Se tuvo en consideración lo establecido por Fernández et al. (2011) acerca del correcto análisis del sistema cardiovascular: inspección, palpación y percusión cardíaca, auscultación, pruebas de resistencia y electrocardiografía (Interpretación del ECG y análisis de las ondas).

La entidad en conjunto con la facultad de Medicina Veterinaria de la Universidad Agraria de la Habana firma un compromiso para brindar los datos y los animales necesarios en la realización de esta investigación (Anexo 5).

2.2.2. Recolección y procesamiento computacional de la información

Para efectuar los registros electrocardiográficos los animales se mantuvieron, en un estado de correcto aplomo sobre sus extremidades. Se utilizó un electrocardiógrafo de marca Fukuda, modelo japonés Denshi FX-2111 de un solo canal (Anexo 3, figura 2.2), el cual se calibró con una señal de 1 mV para una deflexión de la aguja de 10 mm sobre el papel de calibración en la escala vertical. La velocidad del registro fue de 25 mm/s.

Las zonas o puntos donde se colocaron los electrodos se depilaron previamente y se frotaron suavemente con alcohol, para eliminar las sustancias que pudieran disminuir la conductividad eléctrica (grasas, partículas de polvo y otras); se aplicó pasta hidrosoluble como elemento conductor. Se utilizaron electrodos de pinza (tipo caimán) para el registro de las derivaciones monopolares V_{1c} , V_{5c} , V_6 y placas metálicas para las derivaciones estándares de extremidades, con las que se obtuvo el cero de referencia para las derivaciones monopolares.

Los parámetros que fueron medidos en cada una de las derivaciones comprenden: Amplitud y duración de las ondas, y la duración de los segmentos e intervalos. La frecuencia cardíaca fue calculada dividiendo 1500 entre el número de cuadritos de 0.04 s comprendidos entre dos ondas R consecutivas, asumiéndose como divisor el promedio de cinco intervalos RR de forma similar a como ha sido planteado por otros autores (Matsui y Busano , 1987).

Para realizar el correcto análisis de las señales cardíacas se utilizó un procesamiento digital de los valores de amplitud de las ondas registradas en el electrocardiograma,

permitiendo obtener una representación confiable de la señal eléctrica del corazón con el mínimo de ruido posible, para ello se utilizó la herramienta informática NetBeans IDE 8.0. Esto permitió a posteriori, el estudio, procesamiento y almacenamiento de la información (GNU General Public, 2014).

2.2.3. Procesamiento de los datos

- Se realiza el cálculo de los estadígrafos relacionados con la amplitud y la duración de los componentes electrocardiográficos en las derivaciones V_{1c} , V_{5c} y V_6 .
- Se efectúa un Análisis de Varianza de Clasificación Simple para comparar los valores de amplitud de las ondas en las diferentes derivaciones.

Análisis vectorial: Se realizó partiendo de las derivaciones monopolares V_{1c} , V_{5c} y V_6 (Tabla 2.1) para determinar la ubicación espacial del vector eléctrico total de cada una de las ondas del ECG. En él se toman como referencia los ejes X, Y, Z, según (Pompa, 1990, 2000a, 2003).

Tabla 2.1: Posición de los electrodos para obtener diferentes derivaciones monopolares en el equino.

Derivaciones	Electrodos	
	Referencia	Explorador
V_{1c}	Para todas las derivaciones: Amarillo en el metacarpo izquierdo. Rojo en el metacarpo derecho. Verde en el metatarso izquierdo	Borde anterior de la extremidad izquierda a nivel del Olecranon.
V_{5c}		Borde anterior de la extremidad derecha a nivel del Olecranon.
V_6		Sobre la séptima vértebra torácica.

Fuente: Elaboración propia.

Se llevaron a cabo los siguientes pasos establecidos para el cálculo de la posición del VEI en bovino Pompa (1990, 2003):

1. Cálculo de la proyección del vector total (V'_T) sobre el plano XY (Figura 2.3).

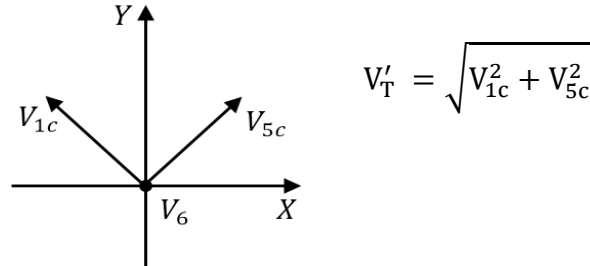


Figura 2.3: Posición relativa de V_{1c} , V_{5c} y V_6 en una vista dorsal.

Fuente: Elaboración propia.

2. Cálculo de la desviación del vector V_T respecto a V_{5c}

$$\theta_1 = \cos^{-1} \frac{V_{5c}}{V'_T}$$

3. Cálculo de la desviación del vector V'_T respecto al eje X (φ_x) y al eje Y (φ_y)

- a). Si $V_{1c} \geq 0$ y $V_{5c} \geq 0$ o $V_{1c} \leq 0$ y $V_{5c} \geq 0$ entonces:

$$\varphi_{x(XY)} = 45^\circ + \theta_1$$

$$\varphi_{y(XY)} = 90^\circ - \varphi_{x(XY)}$$

- b). Si $V_{1c} \geq 0$ y $V_{5c} \leq 0$ o $V_{1c} \leq 0$ y $V_{5c} \leq 0$ entonces:

$$\varphi_{x(XY)} = 45^\circ - \theta_1$$

$$\varphi_{y(XY)} = 90^\circ + \varphi_{x(XY)}$$

Estas ecuaciones se cumplen en el primer cuadrante, en el segundo y en la primera mitad del tercero.

4. Cálculo del vector total V_T .

$$V_T = \sqrt{V_6^2 + V'^2_T}$$

5. Cálculo del ángulo de inclinación del vector total con respecto al plano (XY).

$$\theta_{i(x;y)} = \cos^{-1} \frac{V'_T}{V_T}$$

6. Para determinar la ubicación espacial del vector V_T se calcula la desviación con respecto a los ejes x, y, z.

a). Para calcular α_x ,

$$\alpha_x = \cos^{-1} \left[\cos \varphi_{x(XY)} \times \cos \theta_{i(x;y)} \right]$$

b). Para calcular α_y ,

$$\alpha_y = \cos^{-1} \left[\cos \varphi_{y(XY)} \times \cos \theta_{i(x;y)} \right]$$

Donde $\varphi_{x(XY)}$ y $\varphi_{y(XY)}$ son los ángulos que separan la proyección del vector total V'_T del eje X y el eje Y respectivamente.

c). Para calcular α_z puede utilizarse el mismo método procediendo de la siguiente manera,

I. Cálculo de la proyección del vector total V'_T sobre el eje X.

$$X' = V'_T \times \cos \varphi_{x(XZ)}$$

II. Cálculo de la proyección del vector total sobre el plano XZ.

$$V'_z = \sqrt{V_6^2 + X'^2}$$

III. Cálculo de $\varphi_{z(XZ)}$,

$$\varphi_{z(XZ)} = \cos^{-1} \frac{V_6}{V'_z}$$

IV. Cálculo del ángulo de inclinación del vector total respecto al plano XZ;

$$\theta_{i(x;z)} = \cos^{-1} \frac{V'_z}{V_T}$$

V. Para calcular α_z ,

$$\alpha_z = \cos^{-1} \left[\cos \varphi_{z(XZ)} \times \cos \theta_{i(x;z)} \right]$$

Para la ubicación del vector V_T de acuerdo al valor de los ángulos α_x , α_y y α_z se adoptaron como planos de referencias los siguientes:

- a). El plano XY o plano horizontal, sobre el que están ubicadas las derivaciones V_{1c} y V_{5c} , separa el cuerpo del animal en parte ventral y parte dorsal. El eje Z que es perpendicular a este plano es positivo hacia la parte dorsal y negativo hacia la ventral. El plano XY corresponde al plano frontal en el hombre.
- b). El plano YZ o plano sagital separa al animal en parte izquierda y parte derecha. El eje X que es perpendicular a este plano es positivo hacia la derecha del animal y negativo hacia la izquierda.
- c). El plano XZ o plano transversal divide al animal en parte anterior y parte posterior. En este caso el eje Y es perpendicular al plano siendo positivo hacia la parte anterior del animal y negativo hacia la posterior.

De acuerdo a las consideraciones anteriores extrapolando al equino el método establecido por Pompa (1990, 2000a y 2003) en el bovino, los ocho sectores en que queda dividido el espacio, denominados octantes, se ordenaron de manera tal que visto el animal dorsalmente, con la cabeza hacia adelante, se tiene entonces cuatro octantes ubicados hacia el dorso ($\alpha_z < 90^\circ$) que son:

Primero: A la derecha y hacia adelante ($\alpha_x < 90^\circ$; $\alpha_y < 90^\circ$).

Segundo: A la izquierda y hacia adelante ($\alpha_x > 90^\circ$; $\alpha_y < 90^\circ$).

Tercero: A la izquierda y posterior ($\alpha_x > 90^\circ$; $\alpha_y > 90^\circ$).

Cuarto: A la derecha y posterior ($\alpha_x < 90^0$; $\alpha_y > 90^0$).

Los restantes octantes se ubican ventralmente ($\alpha_z > 90^0$) los que se relacionan a continuación:

Quinto: Por debajo del primero ($\alpha_x < 90^0$; $\alpha_y < 90^0$)

Sexto: Por debajo del segundo ($\alpha_x > 90^0$; $\alpha_y < 90^0$)

Séptimo: Por debajo del tercero ($\alpha_x > 90^0$; $\alpha_y > 90^0$)

Octavo: Por debajo del cuarto ($\alpha_x < 90^0$; $\alpha_y > 90^0$)

Estos pares de octantes solo se diferencian por el valor de α_z , que hay que tener presente para la ubicación espacial del vector (Anexo 1, figura 2.4).

CAPITULO III. Resultados y discusión

3.1. Caracterización de los equinos en el centro de recría

El análisis de las historias clínicas mostró que la exploración del sistema cardiovascular era ineficiente, pues solo incluía: la inspección y palpación, percusión cardíaca, auscultación (frecuencia cardíaca, ritmo, soplos cardíacos, sitio de máxima intensidad y radiación del latido y frémito); no considerándose la electrocardiografía (interpretación del ECG y análisis de las ondas).

Se coincide con Fernández et al. (2011) el cual plantea que un buen examen clínico y una completa exploración son imprescindibles para llegar a un diagnóstico preciso. En el ajetreo de la clínica diaria pueden pasarse por alto ciertos detalles que pueden ser “cruciales” para un caso clínico. El resto de las exploraciones mostraron una buena eficacia en el diagnóstico clínico, considerándose a los 9 sementales clínicamente sanos (Anexo 3). Esta ineficiencia en la exploración exigió a los

investigadores a crear su propia base de datos, con los registros electrocardiográficos obtenidos de los 9 animales.

3.2. Valores de polaridad, amplitud y duración de las ondas, de los segmentos e intervalos

En las tablas 3.1-3.3 se muestran los valores de amplitud de cada una de las ondas electrocardiográficas individuales en sementales equinos, registradas en las derivaciones V_{1c} , V_{5c} y V_6 respectivamente.

Al observar la onda P, esta resultó predominantemente negativa en las tres derivaciones. Es negativa en el 100 % de los casos en V_{1c} y V_{5c} , y 78 % en V_6 . Al analizar la amplitud de los valores individuales en las derivaciones V_{1c} , V_{5c} y V_6 , no sobrepasan los 0,15 mV. Valores similares han sido reportados por Reed (1998), Corredor et al. (2005), Requena y Agüera (2006). Lo que explica la diferencia es la conjugación de la polaridad positiva con la negativa en V_6 es la diferente disposición del electrodo en comparación con V_{1c} y V_{5c} que se encuentran en un mismo plano. Al valorar la significación clínica de la amplitud se debe tener en cuenta la frecuencia de polaridad.

La amplitud promedio de la onda P en el grupo de la derivación V_{5c} fue de $-0,11 \pm 0,02$ mV, siendo el registro de mayor valor como se puede apreciar en la tabla 3.4. La comparación entre las amplitudes en las derivaciones en V_{1c} y V_{5c} no arrojó diferencias significativas, sin embargo difieren con respecto V_6 . Las posibles causas de estas diferencias están dadas por la disposición de los electrodos V_{1c} y V_{5c} en el plano horizontal con respecto al V_6 en el plano sagital correspondiente en el animal.

La onda Q aparece con poca frecuencia en las derivaciones V_{1c} y V_{5c} , no así en la V_6 . Lo cual se debe a que estas dos derivaciones se encuentran en el plano horizontal y la última se toma desde una posición vertical a dicho plano. Esta onda es negativa y la R positiva en el 100 % de las derivaciones siendo ondas discordantes.

La polaridad de la onda Q (Anexo 1, figura 3.1) fue esencialmente monofásica negativa y su amplitud fluctuó entre 0 – 0,13 mV, donde el mayor valor se registra en la derivación V_6 . Se observa en la derivación V_{5c} una amplitud muy baja (Tabla 3.2). Esto se debe a que el electrodo se ubica en una dirección diferente a la que se propaga el vector que determina la amplitud de la onda en el plano XY. A pesar de esta observación, el tratamiento estadístico no arrojó diferencias entre las derivaciones analizadas. Los valores de amplitud para esta onda reportados por Dörner y Godoy (2009), son similares a los que se han encontrado en esta investigación.

En cuanto a la onda R se encuentran valores de amplitud similares en V_{1c} y V_{5c} siendo significativamente mayor ($p < 0,05$) en la derivación V_6 . Las amplitudes de esta onda fluctuaron entre 0,2 – 1,2 mV dentro de las derivaciones estudiadas (tablas 3.1-3.3). En la derivación V_5 se registraron los valores más bajos. Las V_{1c} y V_{5c} se sitúan en el plano horizontal (XY) y V_6 en el plano sagital (YZ) estando este último más alejado de la base del miocardio, pero coincidente con la dirección en que se propaga el vector eléctrico, lo cual se ha señalado por varios autores (Pompa, 2003; Diniz, 2008; Marr, 2011; Clayton, 2013).

Al observar la onda T, esta resultó ser predominantemente negativa en las tres derivaciones. Es 89 % positiva en V_{1c} , 78 % en V_{5c} y 67% en V_6 . La onda T mostró

amplitudes que fluctuaron entre 0,1 – 0,4 mV, con los mayores valores en la derivación V_{5c} y los menores en V_{1c} (Tablas 3.2 y 3.3). Montejo et al. (2002), reportó valores de amplitud para la onda T promedio de 0,2 mV. Sandersen et al. (2006), encontraron amplitudes de onda T entre – 0,73 y 0,41 mV.

En cuanto a la duración de los segmentos PQ, ST y TP, oscilaron entre 0,12–0,28; 0,16–0,28 y 0,8–1,36 s respectivamente, valores similares han sido reportados por Corredor et al. (2001), Reef et al. (2014), Requena y Agüera (2006).

Se muestran valores en los intervalos PQ, ST, TP, QT y TQ que oscilaron entre 0,2–0,32; 0,16–0,28; 0,48–1,44; 0,24–0,37 y 0,2–1,44 s respectivamente (Tabla 3.6). Una de las posibles razones para estas variaciones obedecen al hecho de que al momento del examen los sementales no fueron tratados con ningún sedante por lo que presentaron estados de ansiedad y estrés propios de la manipulación y que puede afectar el valor de los intervalos, la frecuencia cardíaca y otros parámetros, no obstante se encuentran en el rango reportados por Reed (1998), Stewart (2006), Requena y Agüera (2006), Hiraga y Sugano (2015).

Tabla 3.1: Amplitud de las ondas electrocardiográficas de cada uno de los sementales equinos, en la derivación V_{1c} .

Semental	Derivación V_{1c}			
	Amplitud (mV)			
	P	Q	R	T
1	-0,1	0	0,5	-0,15
2	-0,1	-0,1	0,7	-0,2
3	-0,1	0	0,45	-0,1
4	-0,1	0	0,6	-0,15
5	-0,1	-0,01	0,4	-0,1
6	-0,075	0	0,65	-0,1
7	-0,05	0	0,425	-0,075
8	-0,1	-0,05	0,7	-0,1
9	-0,1	-0,05	0,7	0,3

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.2: Amplitud de las ondas electrocardiográficas de cada uno de los sementales equinos, en la derivación V_{5c} .

Semental	Derivación V_{5c}			
	Amplitud (mV)			
	P	Q	R	T
1	-0,1	-0,1	0,2	-0,1
2	-0,15	-0,1	0,5	-0,2
3	-0,1	-0,17	0,2	0,2
4	-0,15	0	1	-0,2
5	-0,1	-0,07	0,4	-0,17
6	-0,1	0	1,1	-0,2
7	-0,1	0	0,4	0,12
8	-0,1	0	0,5	-0,15
9	-0,1	-0,15	0,3	0,4

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.3: Amplitud de las ondas electrocardiográficas de cada uno de los sementales equinos, en la derivación V_6 .

Derivación V_6				
Semental	Amplitud (mV)			
	P	Q	R	T
1	0,12	-0,1	1	0,3
2	-0,15	-0,1	1,2	-0,3
3	-0,1	-0,1	0,6	0,15
4	-0,1	-0,2	1	-0,25
5	-0,05	-0,25	1,2	0,2
6	-0,07	-0,1	1,1	-0,15
7	0,05	-0,1	0,6	-0,1
8	-0,1	-0,1	0,8	-0,15
9	-0,1	-0,15	1	0,25

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.4: Amplitud media de las ondas electrocardiográficas de los sementales equinos, en las derivaciones V_{1c} , V_{5c} y V_6 .

Derivación	P	Q	R	T
V_{1c}	$-0,09 \pm 0,02$	$-0,02 \pm 0,01$	$0,57 \pm 0,13$	$-0,14 \pm 0,07$
V_{5c}	$-0,11 \pm 0,02$	$-0,07 \pm 0,06$	$0,51 \pm 0,33$	$-0,19 \pm 0,09$
V_6	$-0,09 \pm 0,03$	$-0,13 \pm 0,06$	$0,94 \pm 0,23$	$-0,21 \pm 0,07$

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.5: Duración de ondas, segmentos e intervalos electrocardiográficos individual y del total de sementales, en derivación V₆.

No.	Duración Ondas (ms)			Duración Segm. (ms)			Intervalos (ms)					FC.
	P	QRS	T	PQ	ST	TP	PQ	ST	TP	QT	TQ	
1	0,06	0,09	0,08	0,16	0,16	0,8	0,22	0,16	0,88	0,25	0,88	47,6
2	0,08	0,09	0,08	0,16	0,28	0,8	0,24	0,28	0,88	0,37	0,16	42,0
3	0,08	0,09	0,08	0,16	0,28	0,8	0,24	0,28	0,88	0,37	0,16	42,0
4	0,04	0,09	0,06	0,16	0,28	1	0,2	0,28	1,06	0,37	1,08	39,9
5	0,04	0,1	0,08	0,28	0,24	0,76	0,32	0,24	0,84	0,34	0,84	42,8
6	0,04	0,09	0,08	0,12	0,28	1,36	0,16	0,28	1,44	0,37	1,44	32,0
7	0,04	0,08	0,04	0,16	0,16	0,44	0,2	0,16	0,48	0,24	0,48	81,0
8	0,04	0,09	0,04	0,12	0,24	0,16	0,16	0,28	0,64	0,33	0,2	55,6
9	0,06	0,09	0,08	0,12	0,16	0,8	0,18	0,16	0,88	0,25	0,88	53,6
Media	0,05	0,09	0,07	0,16	0,23	0,77	0,21	0,24	0,89	0,32	0,68	48,5
SD	±0,02	±0,01	±0,02	±0,05	±0,06	±0,33	±0,05	±0,06	±0,27	±0,06	±0,45	±14,1

Fuente: Elaboración propia.

3.3. Aplicación del modelo Físico-Matemático-Computacional

El sistema objeto de modelación fue la actividad eléctrica ventricular cardíaca del equino. El proceso de excitación del miocardio, se afecta por factores ambientales, nutricionales y de forma particular genéticos Sandersen et al. (2006). Valladares et al. (1975b) plantearon, que la generación del impulso y su conducción genera corrientes eléctricas débiles que se diseminan por todo el cuerpo.

El modelo que se ha propuesto, toma en consideración, todos estos factores y los principios que se consideraron anteriormente, y es una aplicación del obtenido por

Pompa (1990; 2000b; 2003) donde a partir de tres derivaciones monopolares se determina la posición espacial del vector eléctrico Integral de la actividad ventricular cardíaca en bovino.

Para realizar la evaluación y validación del algoritmo se requirió de una base de datos con el contenido de los valores de amplitud de las derivaciones V_{1c} , V_{5c} y V_6 . Para desarrollar esta tarea se elaboró un diagrama de flujo (Figura 3.2) que muestra los pasos para el cálculo del eje eléctrico y el pseudocódigo (Tabla 3.6) que traduce los gráficos del diagrama de flujo a través de un lenguaje natural o gramatical según refiere Lanza (2014) en el humano. Para transformar el pseudocódigo a lenguaje que la computadora pueda manipular, se utilizó el lenguaje Java a través del NetBeans IDE 8.0. (GNU General Public, 2014).

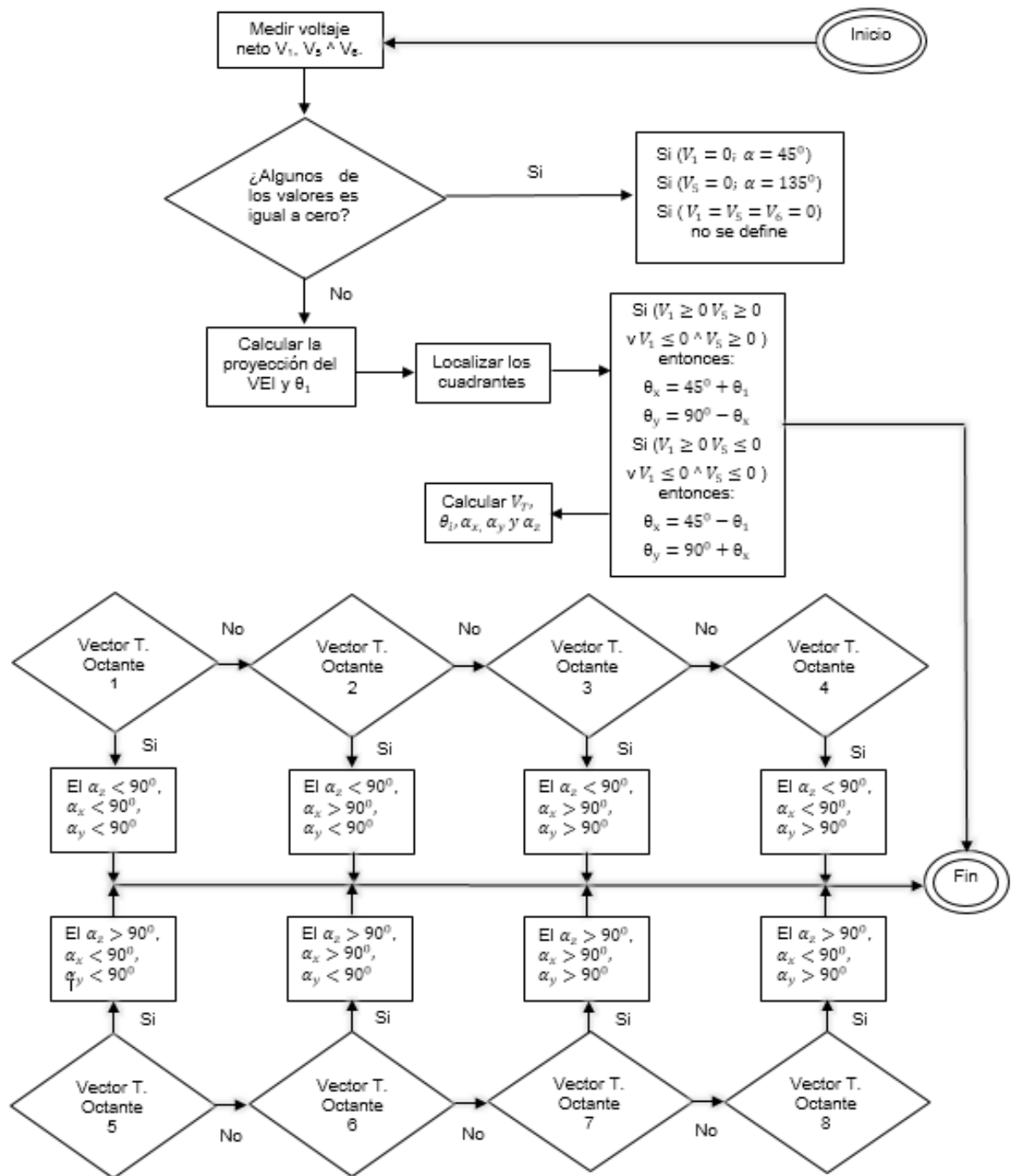


Figura 3.2: Diagrama de flujo para el cálculo de la amplitud y posición del VEC.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.6: Pseudocódigo para el cálculo de la amplitud y posición del VEI.

Inicio-Programa

Leer voltaje: $V_1, V_5 \wedge V_6$ Si (voltaje $V_1 = 0$ entonces $\alpha = 45^\circ$)Si (voltaje $V_5 = 0$ entonces $\alpha = 135^\circ$)

Sino si:

$$V_T^I = \sqrt{V_1^2 + V_5^2}$$

Calcular:

$$\theta_1 = \cos^{-1} \frac{V_1}{V_T^I}$$

Si ($V_1 \geq 0 \wedge V_5 \geq 0 \vee V_1 \leq 0 \wedge V_5 \geq 0$) Entonces:

$$\theta_x = 45^\circ + \theta_1$$

$$\theta_y = 90^\circ - \theta_x$$

Si ($V_1 \geq 0 \wedge V_5 \leq 0 \vee V_1 \leq 0 \wedge V_5 \leq 0$) Entonces:

$$\theta_x = 45^\circ - \theta_1$$

$$\theta_y = 90^\circ + \theta_x$$

Calcular:

$$V_T = \sqrt{V_6^2 + V_T^{I2}}$$

Calcular:

$$\theta_i = \cos^{-1} \frac{V_T^I}{V_T}$$

Calcular:

$$\alpha_x = \cos^{-1} [\cos \theta_x \times \cos \theta_i]$$

$$\alpha_y = \cos^{-1} [\cos \theta_y \times \cos \theta_i]$$

$$\alpha_z = 90^\circ - \theta_i$$

Si $\alpha_x < 90^\circ \wedge \alpha_x < 90^\circ \wedge \alpha_y < 90^\circ$ Entonces 1^{er} octanteSi $\alpha_x < 90^\circ \wedge \alpha_x > 90^\circ \wedge \alpha_y < 90^\circ$ Entonces 2^{do} octanteSi $\alpha_x < 90^\circ \wedge \alpha_x > 90^\circ \wedge \alpha_y > 90^\circ$ Entonces 3^{er} octanteSi $\alpha_x < 90^\circ \wedge \alpha_x < 90^\circ \wedge \alpha_y > 90^\circ$ Entonces 4^{to} octanteSi $\alpha_x > 90^\circ \wedge \alpha_x < 90^\circ \wedge \alpha_y < 90^\circ$ Entonces 5^{to} octanteSi $\alpha_x > 90^\circ \wedge \alpha_x > 90^\circ \wedge \alpha_y < 90^\circ$ Entonces 6^{to} octanteSi $\alpha_x > 90^\circ \wedge \alpha_x > 90^\circ \wedge \alpha_y > 90^\circ$ Entonces 7^{mo} octanteSi $\alpha_x > 90^\circ \wedge \alpha_x < 90^\circ \wedge \alpha_y > 90^\circ$ Entonces 8^{vo} octante

Fin-Programa

Fuente: Elaboración propia.

Actualmente, el tratamiento de señales es utilizado en la gran mayoría de los sistemas electrónicos de análisis e interpretación de ECG, ya que ha significado un gran avance en la interpretación de las propiedades dinámicas-eléctricas del corazón, según refiere Castillo (2007). Uno de los principales objetivos de los sistemas electrónicos es incrementar la precisión en la medición, es decir, que se puedan detectar micro alteraciones del trazado de interés médico, que a simple vista no son observables.

En cuanto a la posición espacial del VEI de la actividad ventricular cardíaca, se determinó que los valores de los ángulos (en grados sexagesimal) alcanzados en el equino por la onda R (Tabla 3.7), oscilan en $\alpha_x = 85 \pm 11$, $\alpha_y = 52 \pm 8$ y $\alpha_z = 39 \pm 8$, teniendo su ubicación en el primer octante superior derecho en dirección cefálica (Anexo 3, figura 3.3), resultado que difiere al obtenido en bovino donde se localiza en el segundo octante, pero con una diferencia solo de 10° (Deroth, 1980; Pompa, 2003; Honda et al., 2013; González, 2014). En una y otra especie se puede apreciar que la dirección y sentido del VEI es ápico- basal, pudiendo estar dadas las diferencias por los desplazamientos que experimentan el ápice del corazón bovino a consecuencia de la plétora del rumen y otros estados fisiológicos como la gestación (Deroth, 1980; Pompa, 2000b; Vélez, 2014). La semejanza con el bovino obedece a que el equino es también un animal perteneciente al grupo B, en la clasificación realizada teniendo en cuenta la definición de la red de Purkinje en el miocardio (Hamlin y Smith, 1960b).

Tabla 3.7: Parámetros que ofrecen la orientación espacial de los vectores correspondientes a las ondas electrocardiográficas en sementales equinos.

Ondas	n		Φ_x	VT ^I	VT	α_x	α_y	α_z
P	9	MED	-88,22	0,14	0,17	88,66	38,66	54,88
		SD	8,10	0,02	0,02	7,14	6,16	6,41
Q	9	MED	-62,44	0,071	0,15	79,66	67,0	31,22
		SD	31,24	0,074	0,045	18,77	19,53	26,39
R	9	MED	84,55	0,78	1,23	85,44	52,66	39,22
		SD	16,39	0,26	0,29	11,76	8,30	8,54
T	9	MED	-40,11	0,23	0,29	93,22	41,0	58,22
		SD	99,68	0,10	0,11	21,90	22,77	20,77

Fuente: Elaboración propia.

Del resultado obtenido se puede inferir que los trastornos en la conducción eléctrica cardíaca en estos sementales deben estar dados fuera del primer octante, entre el segundo y tercer octante respectivamente. Estos son: bloqueo auriculoventricular de 1er, 2do y 3er grado; síndrome de Woff-Parkinson-White y arritmias que pueden ser: extrasístoles atriales, extrasístoles ventriculares, taquicardia paroxística, taquicardia ventricular.

La diferente disposición de los electrodos al realizar los registros electrocardiográficos en equinos y otros animales, así como la extrapolación de las observaciones realizadas en el hombre a los cuadrúpedos explica la variabilidad en cuanto a los valores de amplitud y comportamiento de la polaridad de las ondas electrocardiográficas reportadas en la literatura por distintos autores (Amory et al., 1993; Shiono et al., 2003; Honda et al., 2013). Aunque se han realizado muchas investigaciones utilizando la electrocardiografía, su alcance había sido limitado, por no haberse efectuado un análisis vectorial que contemplara el cálculo de la posición del VEI que genera a cada onda.

Debe destacarse que llegar a este proceder de cálculo sólo ha sido posible vinculado a otras investigaciones importantes como son la determinación de las derivaciones electrocardiográficas estables en bovinos Holstein (Pompa, 1990, 2000a, 2003), el establecimiento de una nomenclatura para el complejo QRS en animales del grupo B (Pompa, 2000b), el estudio del comportamiento del electrocardiograma en equinos a diferentes edades (Corredor et al., 2005; Cornefield et al., 2009).

Conclusiones

- Se comprobó que los valores de amplitud y polaridad de las ondas electrocardiográficas dependen de la posición en que se ubique el electrodo explorador, modificándose una y otra en dependencia del plano en que se efectúa el registro con respecto al centro del corazón, que constituye el origen de coordenadas cartesianas (x,y,z) tomado como referencia, de este modo utilizando los valores obtenidos en las derivaciones monopolares V_{1c} , V_{5c} y V_6 se puede calcular la orientación espacial del VEI de cada una de las ondas electrocardiográficas en el equino, determinándose que el correspondiente a la onda R se ubica en el primer octante superior derecho en dirección cefálica.
- Se demostró que el diseño de un modelo, basado en ecuaciones físicas-matemáticas permite calcular la posición, dirección y sentido del VEI de la actividad ventricular cardíaca en el equino, obteniéndose bajo las condiciones de crianza de esta especie en Cuba.

Recomendaciones

- Proponer la aplicación, en los centros de cría caballar para de esta forma obtener retroalimentación a partir de las sugerencias que realicen los especialistas de la producción e ir incorporando al modelo las solicitudes realizadas por estos.
- Incorporar los resultados y experiencias de esta investigación a la enseñanza de pregrado y postgrado, así como a la actividad que se desarrolla en el marco de la línea de investigación sobre la Modelación, de forma tal que los actuales y futuros profesionales se apropien de los fundamentos de este enfoque en su quehacer profesional y pueda servir para otras investigaciones que se realicen en este campo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amory, H., Rollin, F. A., Genicot, B. C. y Beduin, J. M. (1993). Comparative study of the body surface electrocardiogram in double-muscled and conventional calves. *Journal ListCan J Vet Res* [en línea]. 53 (3). Disponible en: PMC1263614 [Consulta: 05 mayo 2015].
- Avanzolini, G., Barbini, P., Barbini, A., Cevenini, G. y Gnudi, G. (1988). *Parameter estimation of systemic vascular bed by arterial-venous pressure transfer function: modelling and control in biomedical sciences*. Italy: IFAC. pp. 613-618.
- Barbini, P. y Cevenini, G. (1989). *Parameter estimation of systemic vascular bed by arterial-venous pressure transfer function* [en línea]. IRIS Universita degli Studi di Siena, UNISI. Disponible en: <http://hdl.handle.net/11365/12437> [Consulta: 06 enero 2015].
- Bayes, A., Sierra, J. y Oca, F. (1984). *Electrocardiografía de Holter: enfoque práctico*. Barcelona, España: Editorial Científico Médico.
- Bonaguara, J. y Reef, V. (2004). *Alteraciones del aparato cardiovascular*. St Louis: Saunders: Bayly & Sellon. pp. 365-461.
- Bonomo, C., Fernandes, W., Miyashiro, P. y Michima, L. (2011). *Quantitative Echocardiography of Athletic Quarter Horses*. 27. 4 ed. American: ARS veterinaria. pp. 220-225.
- Brown, C. M. (2013). *Current Therapy in Equine Medicine 2*. American: N. Edward Robinson. pp. 139-180.
- Buzzano, O., Pidal, G. y Lightowler, C. H. (2010). Electrocardiografía dinámica (Holter) en el caballo. *CABA*, 280 (1427), 2-5.
- Caballo, V. E. y Salazar, F. (2005). *Inventario de exploración clínica*. Argentina: Ediciones Pirámide.

- Cañizares, M., Gómez, N., González, R. y Rivero, M. (2003). *Nuevo método para el análisis del electrocardiograma*. La Habana. Cuba: Instituto Central de Investigación Digital. pp. 1-3. *artículo T_0036*. ISBN 959-212-095-1.
- Castaño, A. M., Delgado, E., Godino, J. I. y Castellanos, G. (2007). Análisis Acústico sobre Señales de Auscultación Digital para la Detección de Soplos Cardíacos. *Revista Avances en Sistemas e Informática*, 4 (3), 171-182.
- Castillo, A. (2007). *Maple 11 y el proceso de diseño en ingeniería: Matemáticas, Modelado y Simulación* [en línea]. Barcelona, España, Addlink Software Científico S.L. Disponible en: http://www.forumtecnologico.net/articulos_html/ft_10_html/10-11/index.asp [Consulta: 12 junio 2014].
- Clancy, E., Smith, A., Cohen, M. y Richard, J. (1991). *Transactions on Biomedical Engineering*. American. p. 6.
- Clayton, H. (2013). Chapter 1, the cardiovascular system. En: Clayton, H. *Conditioning sport Horses*. American, Sport Horse Publications, pp. 3-18.
- Colahan, P., Mayhew, I., Merritt, A. y Moore, J. (1998). *Medicina y Cirugía Equina*. Vol. I, 4ta ed. Buenos Aires. Argentina: Editorial Intermédica. p. 1736.
- Cook, A. (1972). IEEE BME-19 No. 2:72 *Transactions on Biomedical Engineering*. American.
- Cornefield, J. R. A., Dunn, C. D. y Papberger, H. V. (2009). *Multigroup diagnosis of electrocardiograms*. Informe de investigación 120. Bogotá, Colombia: edit. Interamericana.
- Corredor, J., Beltran, D. y Baez, J. (2005). Parámetros electrocardiográficos del equino criollo de la región del piedemonte llanero. *Rev.Orinoquia* [en línea]. 9 (1), 46-55. Disponible en: http://www.imbiomed.com.mx/1/1/articulos.php?method=showDetail&id_articulo=57082&id_seccion=3257&id_ejemplar=5773&id_revista=195 [Consulta: 03 febrero 2015]. ISSN 0121-3709.

- Corredor, M. J., Rondon, A., Popayan, J. y Puente, C. (2001). Efecto de la altura sobre el nivel del mar y de la condición entero y castrado en la estimación de parámetros de presión arterial en equinos. *Revista MVZ*, 3 (1), 24-30.
- Cuba. Ministerio de la Agricultura. (2000). *Informe Nacional para directores de Empresas Ganaderas*. La Habana: Pueblo y Educación. pp. 12-1
- Cuesta, N. (1968). *Geometría vectorial: introducción intuitiva al álgebra lineal*. España: Editorial Alhambra.
- Deroth, L. (1980). Electrocardiographic Parameters in the Normal Lactating Holstein Cow. *The Canadian Veterinary Journal*, 21 (10), 271-277.
- Diniz, M. (2008). *Estudio electrocardiográfico de equinos da rasa Mangalarga Marchador*. Vol. 60, No.3 ed. Brasil: Medicina Veterinaria y Zootecnia. pp. 536-542.
- Doherty, T. y Valverde, A. (2006). *Manual of Equine Anesthesia and Analgesia*. UK: Editorial Blackwell Publishing. p. 362.
- Dörner, C. (2009). *Evaluación Electrocardiográfica de Equinos Fina Sangre de Carrera Clínicamente Sanos en Período de Amansa*. Trabajo de Diploma. Fac. Cs. Veterinarias y Pecuarias, Santiago, Chile. h. 106.
- Dörner, C. y Godoy, A. (2009a). Electrocardiografía en equinos fina sangre de carrera. *Av. Cs. Vet*, 24 (2), 18-25.
- Dpto. de Orientación Rev. del CC del PCC. (1975). *La Revolución Científico Técnica en el Agro*. La Habana, Cuba: Pueblo y Educación. pp. 632-641.
- Fernández, A., Conde, T. y Fondevila, J. (2011). La exploración clínica del caballo. Zaragoza - España: SERVET. pp. 12-15. ISBN 978-84-92569-68-7.
- France, J. y Kebreab, E. (2008). *Mathematical model in animal nutrition* [en línea]. Ed CAB Internacional. Disponible en: [www. cab. org](http://www.cab.org) [Consulta: 12 mayo 2014].

- Franco, G. (2012). *Electrocardiografía. El ABC en gráficas*. ecimed: Editorial Ciencias Médicas. ISBN 978-959-212-793-7.
- Friedman, B. S., Lajam, F., Calderon, J., Zaman, Q., Marino, N. D. y Gonies, J. A. (2012). *Electrocardiography features experimental cardiac tamponad in dosed chestin dogs*. 6. Europ: J. Cardiol. pp. 311-322.
- Giuseppe, L. (2014). Influencia de los cambios posturales en el electrocardiograma. *Revista Colombiana de Cardiología* [en línea]. 21 (2). Disponible en: <http://www.elsevier.es> [Consulta: 06 marzo 2015].
- Glass, L. y Murray, J. (2004). *Mathematical Biology*. First Edition ed. Bainbridge Island, Washington: Geophysics and Planetary Sciences. pp. 142-153. ISBN Geophysics and Planetary Sciences.
- GNU General Public. (2014). *netbeans IDE 8.0* [en línea]. Boston, American. Disponible en: <http://www.netbeans.org/cddl-gplv2.html> [Consulta: 03 febrero 2015].
- Godoy, A. (2008). *Cardiología Equina [grabación audio]* [cinta magnética]. Santiago, Chile, U. Chile, Fac. Cs. Veterinarias y Pecuarias [Consulta: 09 octubre 2014].
- Gómez, K., Martínez, A. D., Sánchez, G. y Rodríguez, M. (2003). *Propuesta de un modelo del sistema cardiovascular humano*. 3 ed. Venezuela: Universidad Central de Venezuela, Universidad Simón Bolívar. pp. 33-35.
- Gómez, R. R., Navas, G. S., Cuadros, P. y Ganyitano, G. B. (2009). Análisis Computacional de Modelos Biológicos para su Aplicación a Modelos Económicos. *Formación Universitaria*, 2 (5), 13-22.
- González, J. E. (2014). Cálculo del umbral para detección de la onda R del complejo cardíaco. *Tecno Lógicas*, 17 (32), 47-55.
- Guyton, A. (2014). Heart. En: Guyton, A. C. *Textbook of Physiology*. 12a ed. Mexican, edit. Interamericana.

- Hamlin, R. L. y Smith, C. R. (1960a). *Categorization of common domestic animals base upon their ventricular activation process*. 127. American: Ann. y Acad. Sci. pp. 195- 203.
- Hamlin, R. L., Smith, C. R. y Bhagat, P. K. (1960b). *A method for teaching genesis of the electrocardiogram and simulating effects of morphologic and conduction defects*. 31. American: Am. J.: Vet. Res. pp. 2289-2300.
- Hiraga, A. y Sugano, S. (2015). History of research in Japan on electrocardiography in the racehorse. *Journal of Equine Science* [en línea]. 26 (1), 1-13. Disponible en: 10.1294/jes.26.1 [Consulta: 10 junio 2015].
- Holmes, D. R., Reddy, V. Y., Turi, Z. G., Doshi, S. K., Sievert, H. y Buchbinder, M. (2009). Percutaneous closure of the left atrial appendage versus warfarin therapy for prevention of stroke in patients with atrial fibrillation: a randomized non-inferiority trial. *Lancet*, 3 (374), 534-42.
- Honda, N., Dörner, C. y Godoy, A. (2013). Efectos del entrenamiento sobre variables electrocardiográficas en equinos Fina Sangre de Carrera. *Avances en Ciencias Veterinarias*, 28 (1), 2-7.
- Illanes, A. y Sérandour, G. (2013). Modelo paramétrico de la actividad eléctrica celular cardíaca estimado a partir de registros electrocardiográficos estándares. *Revista Ingeniería Biomédica*, 7 (13), 31-42.
- Illera, J. C., Illera, M. y Hamlin, R. L. (1987). *Unipolar thoracic electrocardiograms that induces QRS complexis of relative uniformity from male horses*. 48. 12 ed. American: Am. J. Vet. Res. pp. 1700-1702.
- Kerckhoffs, R., Healy, S., Usyk, T. y Mcculloch, A. (2006). Computational methods for cardiac electromechanics. *Proceedings of the IEEE*, Vol. 98 (4), 769-783.
- Kienle, A. N. (2011). *Computer elektrokardiographie des elektrichen herzportrarits*. Germany: Ed. Hehlinik Karslruche.

- Koshanov, K. H. (2013). *Tratamiento a terneros con el síndrome de insuficiencia cardiorrespiratoria*. Bogotá, Colombia: Veterinaria. p. 48 - 49.
- Kvarf, C. y Häggström, J. (2002). *Cardiac Auscultation and Phonocardiography in Dogs, Horses and Cats*. Uppsala, Sweden: Clarence Kvarf.
- Laikan, S. (1973). *A rapid method for frontal plane axis determination in scalar electrocardiograms*. 85. American: Am Heart J. pp. 620-623.
- Lanza, G. (1998). cardiograma: Modelo matemático del eje eléctrico y su uso en la determinación del voltaje del QRS en derivaciones estándar. *Gac Méd Caracas*, 106 (4), 509-514.
- Lanza, G. (2014). Algoritmo y pseudocódigo: nueva perspectiva para calcular el eje eléctrico de un electrocardiograma. *Avances Cardiol* [en línea]. 34 (4). Disponible en: [http://svcardiologia.org/es/images/documents/Avance_Cardiologico/2014/articulos_N_34_vol4/03.%20Lanza%20G%20\(280-285\).pdf](http://svcardiologia.org/es/images/documents/Avance_Cardiologico/2014/articulos_N_34_vol4/03.%20Lanza%20G%20(280-285).pdf) [Consulta: 03 abril 2015].
- Lentsy, F. (2012). *Balance electrolítico y contracciones del miocardio. Adelantos en Cardiología*. Moscú: Editorial Medicina. p. 153 - 184.
- Létourneau, M. P., Jondrivel, C., Lescoat, P., Meschy, F., Pomar, C., Bernier, J. F. y Sauvart, D. (2007). First step of a model of calcium and phosphorus metabolism in growing pigs: fate of ingested phosphorus in the stomach. *Livestock science*, 3 (109), 62-65.
- Liedtke, A. J., Gault, R. J. y Demuth, E. W. (2013). *Electrocardiographic and hemodynamic changes following non-penetrating chest trauma in the experimental animal*. 126. England: Am. J. Physiol. pp. 377-382.
- Lightowler, C. (2006). *Manual de Cardiología del Caballo*. Argentina: Editorial Chinfeld S.A. p. 1736.
- Lightowler, C., Pidal, G. y Cattáneo, L. (2001). Estudio cuantitativo de la ecocardiografía equina. *Avances en ciencias veterinarias*, Vol. 6 (1-2), 21-31.

- Luo, C. y Rudy, Y. (1994). *A dynamic model of the cardiac ventricular action potencial. II. Afterdepolarizations, triggered activity, and potentiation*. 74. American: Circ Res. pp. 1097-1113.
- Marr, C. (2011). *Cardiology of the Horse*. 5a ed. W.B. Saunders. London: Ed Marr.
- Matsui, K. y Busano, S. (1987). Species differences in the changes in heart and T-wave amplitude after autonomic blockade in thoroughbred horses, ponies, cows, pigs, goats and chickens. *Japan Vet. Sci*, 49 (4), 637-644.
- Mayer, S., Dobson, D., Ingebrechtsen, V., Brikker, E., Fredman, V. y Ross, D. (2011). *Control iónico de las respuestas bioquímicas del corazón en los estímulos adrenérgicos. Metabolismo del miocardio: Materiales del III Simposio Soviético Norteamericano*. Russia: Moscú.
- Meza, A. (1997). *Modelos Matemáticas para la Ecología, Economía y Derecho Ambiental, Resolución Numérica de Ecuaciones de Lotka-Volterra* [en línea]. Perú. Disponible en: <http://www.upch.edu.pe/facien/virtual/lotka.htm> [Consulta: 10 abril 2015].
- Montejo, C. E. (2006). Alteraciones electrolíticas y electrocardiográficas en las enfermedades cardiovasculares en el caballo de carrera: serie patología. *Del Instituto de Veterinaria de Leningrado*, 2 (13), 101-106.
- Montejo, E., Reyes, I., Pérez, F., Duverger, J. y Cuesta, A. (2002). Diagnóstico clínico electrocardiográfico de las enfermedades del corazón en el caballo. *Revista Electrónica Granma Ciencia* [en línea]. 6 (3), 1-2. Disponible en: <http://www.google.com.cu/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=4&ved=0CEIQFjAD&url> [Consulta: 06 abril 2015]. ISSN 1027-975X.
- Moughan, P. (2002). *Growth modelling an important tool in modern poultry production. Proceedings of the 2002 Massey University Poultry Science Symposium*. Palmerston North. New Zealand: R. Ravindran.

- Murakami, T., Saito, I. y Mochizuki, K. (1985). The atrioventricular conducting system of the avian heart. *Jpji. J. Vet. Sci*, 47 (1), 73-79.
- Naylor, J. (2004). *The Art of Equine Auscultation: An Interactive Guide*. Saskatoon. pp. 10-12.
- Partido Comunista de Cuba (1987). Programa del IV Congreso. *La obra de la revolución*. Ciudad. de La Habana: Editorial Política. pp. 13 - 21.
- Patterson, M. (1996). *Equine Cardiology* [en línea]. London, Editorial Blackwell. Disponible en: [http:// www.provet.co.uk/equinecardiology](http://www.provet.co.uk/equinecardiology) [Consulta: 12 enero 2014].
- Physick- Sheard Pw. (1998). *Enfermedades del Aparato Cardiovascular: medicina y cirugía equina. Vol. I*. 4ta ed. Buenos Aires. Argentina: Editorial Intermédica. pp. 151-162.
- Pogliani, F. C., Birgel, E. H., Monteiro, B. M., Grisi, J. H. H. y Raimondo, R. F. S. (2013). The normal electrocardiogram in the clinically healthy Saanen goats. *Pesquisa Veterinária Brasileira* [en línea]. 33 (12), 1478-1482. Disponible en: http://apps.elsevier.es/watermark/ctl_servlet?_f=10&pident_articulo=90330997&pident_usuario=0&pcontactid=&pident_revista=203&ty [Consulta: 09 abril 2015].
- Pompa, A. (1990). *Derivaciones electrocardiográficas en el bovino Holstein en condiciones tropicales*. Tesis de Doctorado. La Habana, Centro Nacional de Sanidad Agropecuaria (CENSA).
- Pompa, A. (2003). Determinación de la orientación espacial del vector eléctrico integral de cada onda electrocardiográfica en cuadrúpedos, tomando como referencia al bovino. *Rev. Salud Anim*, 25 (3), 186-191.
- _____ (2000a): *Determinación de las derivaciones electrocardiográficas estables en bovinos Holstein*. *Rev. Salud Anim*. 22(1): 27-34.
- _____ (2000b): *Nomenclatura del complejo QRS en animales del grupo B*. *Rev. Salud Anim*. 22(1): 35-40.

- _____ (2004). Biofísica: actividad eléctrica de algunos tejidos y órganos de los animales. potenciales de superficie. Tomo 1. 3ra ed. Vedado, Ciudad de la Habana, Cuba: Félix Varela. pp. 243-249. ISBN 959-258-613-6.
- _____ (2010). Excitabilidad celular: biopotenciales eléctricos celulares. En: Caballero et al. Fisiología Veterinaria e Introducción a la Fisiología de los Procesos Productivos. 1ra ed. México, Universidad Autónoma de México, p. 718.
- Pompa, A. y Torres, E. (2009). Sistema Cardiovascular. En: Álvarez, C. A., Pérez, H., Quincosa, J., Matín, T. M. C., Pompa, A. y Torres, E. *Fisiología Animal Básica*. Vedado, La Habana, Félix Varela, pp. 67-73.
- Reed, S. M. (1998). *Equine Internal Medicine: cardiovascular diseases*. Island Saunders: ed. Saunders. p. 290.
- Reef, V. B., Bonagura, J., Buhl, R., McGurrin, M. K. J., Schwarzwald, C. C., Van, G. y Young, L. E. (2014). Recommendations for Management of Equine Athletes with Cardiovascular Abnormalities. *J Vet Intern Med*, 28 (1), 749-761.
- Rego, M. (2005). *Electrocardiographic studies of the three-toed sloth, Bradypus variegatus*. 38 ed. PE Brasil: Brazilian Journal of Medical and Biological Research. pp. 1885-1888. ISBN 0100-879X.
- Requena, F. y Agüera, E. I. (2006). Aproximación diagnóstica a la disminución de rendimiento en el caballo de deporte. *Revista Electrónica de Veterinaria REDVET* [en línea]. 2 (9), 5-6. Disponible en: <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet> [Consulta: 03 febrero 2015]. ISSN 1695-7504.
- Reynolds, J., Barragán, L. y Cuéllar, F. (2011). Historia de la cardiología: bioamplificadores. *Revista Colombiana de Cardiología*, 18 (3), 131-143.
- Rimbaud, E. (2011). Electrocardiograma fetal. *Recvet* [en línea]. 12 (3). Disponible en: http://www.cladead.com/cursos/MVETE/MVETE-000005/ecg_fetal2.htm [Consulta: 11 marzo 2015].

- Rovira, S., Juzgado, A. y Hernández, B. (2008). Valores ecocardiográficos en modo M en potros Pura Raza Española con edades comprendidas entre 1 y 12 meses. *Recvet* [en línea]. 3 (1). Disponible en: <http://www.veterinaria.org/recvet/n010108/010802.pdf> [Consulta: 03 marzo 2015].
- Rushmer, R. (1961). *Cardiovascular dynamics*. 2da ed. Philadelphian: Saunders Co.
- Sandersen, C., Detilleux, J. y Moffarts, B. (2006). *Effect of atropine dobutamine stress test on left ventricular echocardiographic parameters in untrained warmblood horses*. England: J Vet Intern Med. pp. 575-580.
- Saschse, F. (2011). *Computational Cardiology: Modeling of anatomy, electrophysiology, and mechanics*. American: Springer-Verlag. p. 214.
- Serrano, D., Peña, L. y Vega, F. (2011). Incidencia de alteraciones cardiovasculares en caballos criollos colombianos mediante diagnóstico ecocardiográfico. *Revista Colombiana de Ciencia Animal*, 4 (1), 61-68.
- Shiono, J., Horigome, H., Yasui, S., Miyamoto, T., Takahashi-igari, M., Iwasaki, N. y Matsui, A. (2003). Electrocardiographic changes in patients with cardiac rhabdomyomas associated with tuberous sclerosis. *Cardiol Young* [en línea]. 13 (3). Disponible en: <http://www.Cardiol Young.com> [Consulta: 02 abril 2015].
- Simelius, K. (2004). *Theory, Modelling and Applications of Electrocardiographic Mapping*. Espoo, Finland: Helsinki Univ. of Technology.
- Sisson, S., Grossman, J. D. y Getty, R. (2001). *Medicina Interna de Grandes Animales*. 5ta ed. Filadelfia: edit W. B. Saunders Company. pp. 620-621.
- Smith, B. (2010). *Medicina Interna de Grandes Animales*. 4ta ed. Clay. American: ed. Elsevier Mosby. p. 83.
- Spain, J. (1982). *Basic Microcomputer Models in Biology*. Massachusetts. American: Addison-Wesley Publishing Company, Reading. p. 25.

- Stewart, J., Rose, R., Davis, P. y Hoffman, K. (2006). *A Comparison of Electrocardiographic Findings in Racehorses Presented either for Routine Examination or for Poor Racing Performance: equine exercise physiology*. Cambridge Granta Editions: Snow, D.H., S.G.B. Persson a R.J. Rose (Eds). p. 112.
- Upadhyay, R. y Sud, S. (2008). *Ventricular repolarization (T) have in ruminants*. 31 ed. Indian: J. Dairy Sci. p. 237.
- Valladares, A., Céspedes, M., Morais, M. y Espinosa, J. (1975a). *Comportamiento del registro electrocardiográfico de caballos de salto después del ejercicio*. 107. V Seminario Científico del SENIC: Editorial ORBE.
- Valladares, A., Céspedes, M., Morais, M. y Espinosa, J. (1975b). *Datos electrocardiográficos en bovino*. 108. V Seminario Científico del SENIC: Editorial ORBE.
- Valladares, A., Cuesta, D., Inclan, A. y Cárdenas, C. (1973). *Datos electrocardiográficos en bovino*. III Jor. Nac. de Ciencias Vet: Memorias Tom II.
- Vélez, M. (2014). *Valoración cardíaca mediante electrocardiografía y ecocardiografía de Caballos Criollo Colombiano pacientes de la Clínica Veterinaria Lasallista*. Trabajo de Diploma. Caldas, Antioquia, Facultad de Ciencias Administrativas y Agropecuarias. h. 34.
- Verheyen, T., Decloedt, A., De, D., Deprez, P., Sys, S. y Van, G. (2010). *Electrocardiography in horses: part 1: how to make a good recording*. *Vlaams Diergeneeskundig Tijdschrift*, 1 (79), 331-336.
- Vidal, C., Alegría, D., Gatica, V. y Arce, P. (2010). *Mejoramiento de algoritmo clásico de detección de complejos QRS en señal electrocardiográfica*. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 18 (2), 176-182.
- Virag, N. y Blanc, L. (2001). *Computer Simulation and Experimental Assessment of Cardiac Electrophysiology*. New York: Eds. Armonk, Futura Publishing.

- Vishniakoc, S. (2013). *Metabolismo electrolítico intracelular y su estudio en los animales domésticos*. Leningrado: Editorial Nauta. pp. 101-150.
- Wexler, C. (1968). *Geometría analítica: un enfoque vectorial*. Barcelona, España: Editores Montainer & Simón.
- Wu, Y., Rangayyan, R., Zhou, Y. y Ng, S. (2009). Filtering electro-cardiographic signals using an unbiased and normalized adaptive noise reduction system. Indian: Med Eng Phys. pp. 17-26.
- Zerquera, F. (2012). *Nociones de electrocardiografía*. acimed: Editorial Ciencias Médicas. ISBN 978-959-212-749-4.

Anexo 1.

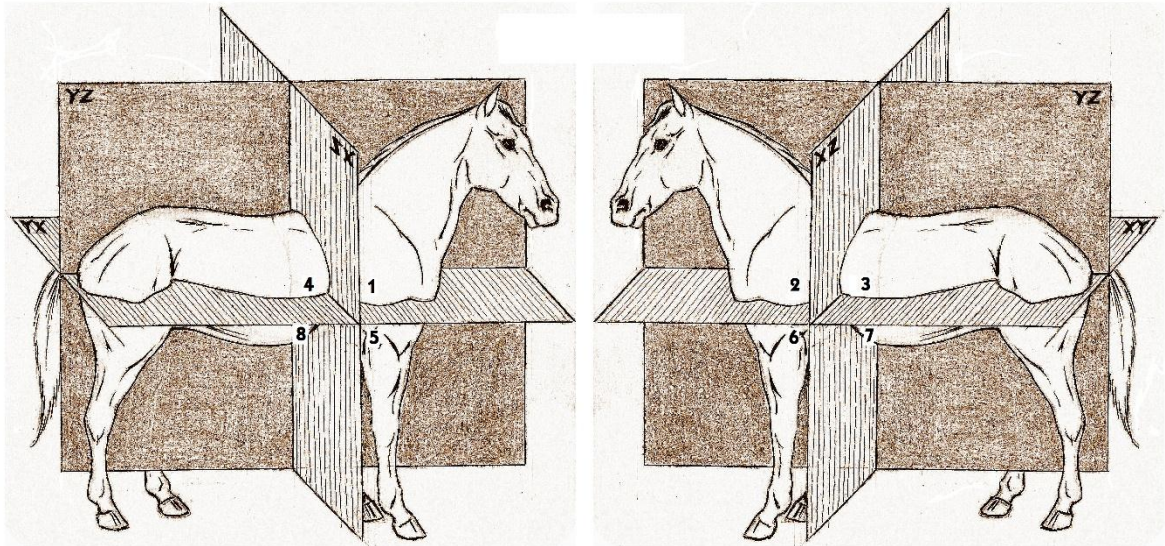


Figura 2.4: Sectores espaciales en los que se divide el cuerpo de los equinos para el análisis vectorial.

Fuente: Elaboración Propia.

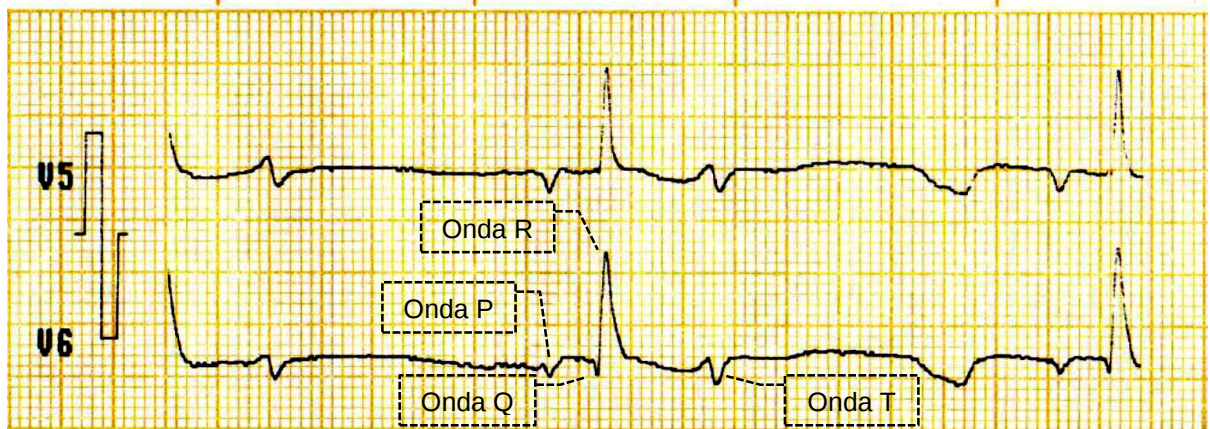


Figura 3.1: Registro electrocardiográfico con las derivaciones V_{5c} y V_6 practicado al semental "Neron Amelio" en la finca Rancho Domingo García Frías".

Fuente: Elaboración Propia.

Anexo 2. Historia Clínica del Equino.

Historial

Existen antecedentes o evidencia de... (en caso afirmativo indicar tipo y trascendencia actual y futura)

¿Vicios o hábitos perjudiciales? No ☐ Sí ☐ Describir

¿Cirugía abdominal? No ☐ Sí ☐

¿Otras intervenciones quirúrgicas? No ☐ Sí ☐ ¿Cuál?

¿Enfermedad infecto-contagiosa? No ☐ Sí ☐ ¿Cuál?

¿Episodios de cólico? No ☐ Sí ☐ Fechas y trascendencia

¿Antecedentes de laminitis? No ☐ Sí ☐

¿Antecedentes de cojeras? No ☐ Sí ☐ Describir

¿Está tomando algún medicamento actualmente? No ☐ Sí ☐ ¿Cuál?

¿Ha recibido algún tratamiento médico en los últimos 60 días? No ☐ Sí ☐ ¿Cuál?

Últimas vacunaciones y desparasitaciones. (Indicar fechas, tipo de vacuna y producto antiparasitario)

Influenza ☐ Fecha: Tétanos ☐ Fecha: Rimoneumonitis ☐ Fecha:

Desparasitación ☐ Fecha y producto:

Alimentación

Reconocimiento general

Condición corporal: Sobrepeso ☐ Óptima ☐ Media ☐ Delgado ☐

Temperatura:

Ojos: Normales ☐ Anormales ☐

Aparato digestivo:

Boca y dientes: Normales ☐ Anormales ☐

Presencia de hemias: No ☐ Sí ☐ Evidencia de cirugía abdominal: No ☐ Sí ☐

Sistema cardiovascular:

Pulso: en reposo: lat/min. En ejercicio: lat/min

A la auscultación cardíaca, ¿presenta alguna alteración?

No ☐ Sí ☐ ¿cuál?

Sistema respiratorio:

Tos: No ☐ Sí ☐ Disnea: No ☐ Sí ☐

Respiración: en reposo: resp/min. En ejercicio: resp/min

A la auscultación pulmonar, ¿presenta alguna alteración?

No ☐ Sí ☐ ¿cuál?

Sistema nervioso: Normal ☐ Anormal ☐

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 3. Datos generales de los sementales de la entidad.

No	Nombre	Edad(años)	Capa	T.Corporal(°C)	T.Ambiente(°C)	Peso (kg)
1	Black Fortune	11	Moro	38,0	31,0	518,0
2	Cavalier Fulax	9	Moro	37,2	31,0	338,0
3	Desidido	13	Dorado	37,6	32,3	440,0
4	Nerón Amelio	12	Moro	38,0	31,4	346,6
5	Hatuey	8	Dorado	38,8	28,0	345,5
6	Sabiell	24	Blanco	38,0	31,0	333,5
7	Conde	9	Dorado	37,2	31,0	403,5
8	Furia	8	Dorado	37,5	28,6	378,0
9	Altanero	6	Moro	37,6	28,6	397,9

Fuente: Elaboración propia.

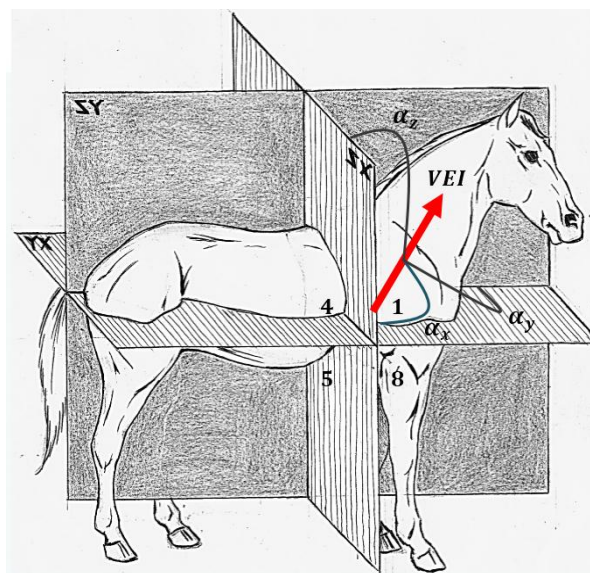


Figura 3.3: Ubicación espacial del VEI medio en equino.

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 4.



Figura 2.2: Semental “Desidido” (Español importado), electrocardiógrafo y grupo de investigadores en el Centro de cría.

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 5. Aval de la Empresa Nacional para la protección de la flora y la fauna.

Anexo No. 2

CARTA DE COMPROMISO DE PARTICIPACIÓN DE LA ENTIDAD EJECUTORA

ENTIDAD EJECUTORA: *Empresa Nacional Para la Protección de la Flora y la Fauna -
Rancho Domingo García Fria.*

A la Dirección del Programa "Salud Animal y Vegetal"

Por este medio y en correspondencia con las exigencias de la "Guía para la elaboración y presentación de Proyectos de todas las categorías" contenida en la Convocatoria General a Programas de Ciencia, Tecnología e Innovación de la Dirección de Ciencia, Tecnología e Innovación del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente de la República de Cuba, expresamos el compromiso de participación de nuestra entidad como co-ejecutora del proyecto de investigación titulado "Nuevas tecnologías en la determinación de indicadores morfofisiológicos para la selección y conservación de razas autóctonas cubanas de equinos".

Consistiendo nuestro compromiso en:

- Facilitar los datos cartográficos disponibles de la entidad.
- Brindar los datos sobre la producción de la entidad en el período previo y actual de la investigación.
- Facilitar los datos e informaciones sobre los animales vinculados a la producción, así como los de razas autóctonas cubanas y las pérdidas económicas correspondientes.
- Tomar medidas para garantizar la participación de los directivos de nuestra entidad en las reuniones, talleres, eventos científicos y encuentros planeados para analizar la marcha del proyecto.

Siendo los participantes:

- Dr. *Eislenby Navarro Lavelo* - *Médico Principal.*
- Dra. *Althara Gomez Perez* - *Dra de los Sembrados.*
- Dra. *Patricia Dominguez Perez* - *Especialista Laboratorio Congelación Sembrados.*

Siendo el presupuesto requerido ascendente a: No se requiere

Y para que así conste a los efectos de la aprobación del proyecto se firma la presente a los 25 días de febrero de 2015.

Director de la Entidad: Lisel Ocampo Garcia

Firma

Cuñ

