



**CARACTERIZACIÓN ELECTROMIOGRÁFICA DE SUPERFICIE EN MÚSCULOS  
EXTRÍNSECOS LARÍNGEOS DE CANTANTES COLOMBIANOS**

**Maira Lizeth Hurtado Leyton MD**

**Universidad Antonio Nariño  
Bogotá D.C., Colombia  
Maestría en Bioingeniería, Facultad de Ingeniería Mecánica Electrónica y Biomédica  
Director: Ing. Álvaro David Orjuela PhD.  
Resumen**

La música popular tradicional colombiana, tiene una gran diversidad en cuanto a un rasgo de originalidad propia de la voz de los cantantes vernáculos de diferentes regiones del país, también se resalta la estrecha relación entre los contextos culturales y tradicionales propias de cada zona.

Limitados y reducidos estudios cuantitativos en esta línea, ha limitado la caracterización del aparato fonador, resonador y respiratorio; los cuales, están asociados con la emisión de la voz cantada, lo que se hace evidente el aporte investigativo para especificar este tipo de variables de forma tangible. En particular el uso de la musculatura supra e infrahioidea para la producción de voz no ha sido explorada para los cantantes vernáculos y en específico para los diferentes géneros tradicionales de Colombia, por lo que se pretende con esta investigación caracterizar la señal electromiográfica superficial de los músculos mencionados en el sistema fonador en la voz cantada de cantantes de algunos géneros típicos colombianos.

## **Índice General**

<b>1. Introducción</b>	<b>6</b>
<b>1.1. Planteamiento del Problema</b>	<b>6</b>
<b>1.2. Justificación</b>	<b>7</b>
<b>1.3. Objetivos</b>	<b>8</b>
<b>1.3.1. Objetivo General</b>	<b>8</b>
<b>1.3.2. Objetivos Específicos</b>	<b>8</b>
<b>2. Marco Teórico</b>	<b>10</b>
<b>2.1. Estado del Arte</b>	<b>10</b>

2.1.1. Anatomía y fisiología de musculatura extrínseca de la laringe de cuello.	11
2.1.2. Electromiografía de superficie (EMGS)	13
2.1.3. Normalización de la señal de electromiografía (EMG)	14
2.1.4. Métodos normalizados para estudios de electromiografía superficial en musculatura de cuello	15
2.1.5. Captura bipolar de la señal EMG	15
2.1.6. Procesamiento de señales para señal de EMGS	16
2.1.7. Estudios de electromiografía superficial en musculatura de cuello	17
2.1.8. Electromiografía en músculos extrínsecos de la laringe en voz cantada	18
2.1.9. Electromiografía en músculos extrínsecos de la laringe en vocales.	21
<b>3. Metodología</b>	<b>22</b>
3.1. Características y tamaño de la muestra	22
3.1.1. Materiales y equipos requeridos	23
3.1.2. Preparación de los participantes	23
3.1.3. Disposición del sujeto de prueba	24
3.1.4. Posición de los electrodos	24
3.1.5. Ajustes técnicos y la recolección de datos	26

<b>3.1.6.</b>	Actividades a realizar	<b>27</b>
<b>3.1.7.</b>	Registro	<b>28</b>
<b>3.1.8.</b>	Flujograma	<b>28</b>
<b>3.2.</b>	Rectificación y promediado	<b>30</b>
<b>3.3.</b>	Análisis en tiempo	<b>30</b>
<b>3.4.</b>	Análisis en frecuencia	<b>35</b>
<b>3.5.</b>	Modelo estadístico	<b>38</b>
<b>4.</b>	<b>Resultados</b>	<b>40</b>
<b>4.1.</b>	Caracterización en tiempo	<b>42</b>
<b>4.2.</b>	Caracterización en Frecuencia	<b>48</b>
<b>5.</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>52</b>
	<b>Bibliografía</b>	<b>57</b>
	<b>Apéndice</b>	<b>63</b>

### 1. Introducción

#### 1.1. Planteamiento del Problema

La música folclórica colombiana, posee gran diversidad y riqueza cultural, con diferentes expresiones, diversos géneros o estilos musicales, y disímiles técnicas vocales; asociadas entre otros aspectos, a las características sociales de la región nativa de sus exponentes tradicionales. El canto en particular, como manifestación de construcciones culturales complejas, reviste configuraciones intrincadas de composición e integración armónica, de claro interés artístico y científico. En este sentido, la voz cantada aunque con amplios estudios de inclinación estética, no ha sido convenientemente explorada y documentada, sobre los diferentes procesos fisiológicos inmersos en su producción, ni en descripciones profundas de la acción de la musculatura utilizada en ella; tampoco es evidente una caracterización cuantitativa específica para estas exteriorizaciones vernáculas, con preferencia de aquellas no influenciadas por técnicas externas o ajenas a su construcción cultural[4][22], como el currulao y la guabina entre otras. La

electromiografía superficial (EMGS), por su peculiaridad no invasiva y de amplio uso en análisis de voz, puede resultar útil para establecer los atributos específicos de la voz cantada colombiana, a partir de registros bioeléctricos de los músculos o de grupos musculares participes durante la ejecución de algunos géneros musicales y/o técnicas vocales naturales de cada territorio. En esta perspectiva resulta importante establecer, si existe relación entre los rasgos distintivos de la voz cantada en los géneros objeto de estudio, a partir de un registro y análisis electromiográfico de los músculos supra e infrahioideos; tarea que constituye una de las variables de registro simultáneo a aportar al proyecto: “Origen de la resonancia y articulación musical característicos en el canto vernáculo de argentina, Brasil, y Colombia: Bases Empírico - fenomenológicas para pensar en la posible peculiaridad del Canto Profesional Latinoamericano, de la facultad de Artes y Ciencias, de la Universidad Antonio Nariño”[20].

## **1.2. Justificación**

El uso de electromiografía de superficie (EMGS) en el análisis de la voz, como aplicación de una técnica complementaria en búsqueda de patologías relacionadas con la fonación, busca aportar datos cuantitativos sobre la evaluación vocal. Esta, ha permitido objetividad frente a la obtención de parámetros, que permitan comprender el comportamiento de los músculos extrínsecos de la laringe en diversas situaciones de fonación.

Estudios relacionados con fonación como el de [1], buscan establecer una normalización de las señales de EMGS con registros en musculatura supra e infrahioidea; y estudios análogos con la fonación hablada y cantada como el de [38], intentan determinar las características de la función fonatoria en cantantes y no cantantes con nódulos vocales, a través de la captura de señales de músculos infrahioideos y esternocleidomastoideos con EMGS. Estos últimos, no han tenido mayor

relevancia, por no encontrar diferencias o relaciones entre los sujetos estudiados. Estas ausencias, podrían superarse con la clasificación de la población cantante, con divisiones de género, estilo de canto y otras condiciones particulares del uso de su sistema fonador que, en contraste con contextos culturales, aporten características con valor científico.

Establecer una metodología estructurada, será de gran importancia para alcanzar los propósitos iniciales y evitar fluctuaciones enormes o grandes diferencias con aplicación de métodos no comunes; en este sentido, [2] indican como el uso de metodologías diversas, dificulta la comparación entre los resultados, al encontrar que ellas difieren en los grupos musculares investigados, las tareas evaluadas y los tamaños de las muestras.

Con EMGS, se busca captar el reclutamiento de fibras musculares y por ende actividad muscular en la producción canto, para caracterizar y evidenciar posibles diferencias en músculos supra e infrahioides, de muestras de un conjunto de cantantes exponentes de los estilos de Guabina y Currulao. Para este propósito, se desarrollará un protocolo estructurado para toma de biopotenciales musculares, con aplicación reproducible como aporte al proyecto “Origen de la resonancia y articulación musical característicos en el canto vernáculo de argentina, Brasil, y Colombia: Bases Empírico-fenomenológicas para pensar en la posible peculiaridad del Canto Profesional Latinoamericano, de la facultad de Artes y Ciencias, de la Universidad Antonio Nariño” [20].

### **1.3. Objetivos**

#### **1.3.1. Objetivo General.**

Caracterizar la señal electromiográfica superficial de los músculos supra e infrahioideos de la laringe en el sistema fonador en la voz cantada de cantantes de algunos géneros típicos colombianos

#### **1.3.2. Objetivos Específicos.**

1. Construcción de un protocolo para la captura y registro de señales de electromiografía superficial en los músculos supra e infrahioideos de la laringe, para la elaboración de una base de datos.

2. Caracterizar las señales de electromiografía utilizando técnicas en análisis de tiempo y medidas estadísticas para este fin.

3. Caracterizar las señales de electromiografía utilizando técnicas en análisis de frecuencia.

4. Determinar la relación entre los géneros musicales a estudio y las características de las señales obtenidas.

## 2. Marco Teórico

### 2.1. Estado del Arte

La electromiografía es una técnica que mide la actividad eléctrica de los músculos y es usada principalmente con el fin de diagnosticar trastornos motores y evaluar el pronóstico de estos, sirve además como apoyo en diferentes terapias de rehabilitación y determinar la activación de diferentes músculos o grupos musculares durante la contracción dinámica voluntaria, que dependen de diferentes actividades y/o movimientos [10][16][29].

En particular para la musculatura de cuello en la voz hablada y cantada se pueden ejecutar dos tipos de exámenes electromiográficos; el primero y más frecuente usado en el campo clínico por su valor diagnóstico es la electromiografía de inserción (EMGI), con la cual se evalúa los potenciales de acción de las unidades motoras de los músculos más profundos, en este caso las cuerdas vocales; es un método invasivo y se caracteriza por el uso de electrodos de aguja, usado

como herramienta para evaluar las características neuromusculares de pacientes con trastornos neuromusculares [7].

Por otro lado, se encuentra la electromiografía de superficie (EMGS), donde utiliza electrodos unidos a la piel para capturar las señales de actividad eléctrica de músculos o grupos musculares más cerca de la superficie de esta [14]. Específicamente, el uso de electromiografía de superficie como método electrodiagnóstico sobre patologías del habla y del lenguaje ha venido en incremento por su aparente importancia en la práctica clínica [1][36][38][39].

Sin embargo, estudios en electromiografía (EMG) sobre la voz cantada, no han sido explorados en profundidad, lo cual hace necesario investigar el estado actual de los conocimientos sobre esta técnica aplicado al ámbito de voz cantada.

Las alteraciones de la voz y el canto han sido un campo de estudio que ha permitido la aplicación de análisis electromiográfico de forma directa y no invasiva, para evaluar la actividad mioeléctrica de los músculos extrínsecos de la laringe [1][24][38]. A pesar de esto, aún hay muy pocas investigaciones sobre la musculatura extrínseca de la laringe, que comprenden los músculos suprahioides e infrahioides, grupos musculares que participan indirectamente en la fonación.

### **2.1.1. Anatomía y fisiología de musculatura extrínseca de la laringe de cuello.**

La voz de canto y la hablada es el resultado de diferentes características de la morfología de cada individuo, pero de forma particular se puede definir como el sonido producido por la salida de aire desde la laringe, que al atravesar las cuerdas vocales las hace vibrar [11].

Tienen varios elementos que las componen como estructuras óseas, articulaciones, musculatura, postura corporal, respiración, emisión y resonancia; además de características fisiológicas como la afinación, el vibrato y el registro vocal [11]. En particular para la musculatura extrínseca de la laringe, los músculos suprahioides (ver tabla 1) elevan y retraen o desplazan anteriormente el hueso hioides, acción que permite la entonación de notas agudas. El hueso hioides es una estructura ósea no articulada, suspendida por musculatura extrínseca en la laringe del cuello, se encuentra a nivel anterior de la vértebra C3 entre la mandíbula y el cartílago tiroideo [23]. Por otro lado, cuando los músculos infrahioides (ver tabla 2) descienden el hueso hioides, realizan una acción de depresión de la laringe que permite la entonación de notas graves; con lo cual, se determina el tipo de tono (frecuencia) del emisor en la voz cantada [19][32][40].

**Tabla 1.** Músculos suprahioides, zona de origen inserción y acción. Adaptada por el autor de [23].

**Músculos  
Suprahioides**

<b>Origen      inserción      Acción</b>		
<i>Rafe</i>		
<b>Milohioideo</b>	 Línea milohioidea de la mandíbula y la lengua durante la	milohioideo y cuerpo del hioides
<i>Eleva el hioides, el suelo de la boca y la lengua durante la deglución y el habla</i>		
<b>Genihioideo</b>	 Espina mentoniana inferior de la	acorta el suelo de la boca; mandíbula
<i>Tira el hioides anterosuperior; ensancha la faringe</i>		
<b>Estilohioideo</b>	 Proceso estiloides de hueso temporal	alargando así el suelo de la
<i>Eleva y retrae el hioides, boca</i>		
<b>Digástrico</b>	 Ventre anterior: fosa digástrica de la mandíbula	Tendón intermedio del cuerpo y
<i>Junto con los músculos en infrahioides, desciende la mandíbula contra resistencia;</i>		

Ventre posterior: *cuerno mayor eleva y fija el hioides durante incisura mastoidea de hioides la deglución y el habla. del hueso temporal*

**Tabla 2.** Músculos infrahioideos, zona de origen inserción y acción. Adaptada por el autor de [23]. **Músculos**

<b>Infrahioideos</b>			
	<b>Origen</b>	<b>Inserción</b>	<b>Acción</b>
<b>Esternohioideo</b>	Manubrio del esternón y extremidad medial de la clavícula	Cuerpo del hioides	Desciende el hioides, tras la elevación durante la deglución
<b>Omohioideo</b>	Borde superior de la escápula cerca de la incisura del hioides	Borde inferior cerca de la incisura de la escápula	Desciende, retrae y fija el hioides
<b>Esternotiroideo</b>	Cara posterior del manubrio del esternón	Borde inferior del cuerpo y la laringe del cuerno mayor del hioides	Desciende el hioides
<b>Tirohioideo</b>	Línea oblicua del cartílago tiroideo	Línea oblicua del cartílago tiroideo	Desciende el hioides y eleva la laringe

Los músculos del cuello son tejidos formados por fibras musculares, estas tienen la capacidad de contraerse y acortarse, están clasificados como músculos estriados y son voluntarios ya que están sometidos a un control consciente. Para producirse la contracción muscular, las fibras musculares son estimuladas por impulsos nerviosos derivados de las unidades motoras; las cuales, están conformadas por neuronas motoras que se ramifican en varias terminales de axones y unen a células musculares. A nivel celular las membranas presinápticas de los axones producen liberación de un neurotransmisor que estimulan la apertura de canales en la membrana de las células musculares, produciendo intercambio de iones; allí, ante el aumento de las concentraciones intracelulares de sodio (Na), se genera una corriente eléctrica que produce finalmente la contracción muscular [18].

### 2.1.2. Electromiografía de superficie (EMGS)

La señal de electromiografía se puede registrar gracias a la manifestación de activación eléctrica producida secundaria a la contracción muscular; inicialmente son estimuladas las unidades funcionales del músculo, llamadas unidades motoras, cuando son activadas generan un potencial de acción que a nivel celular produce la corriente iónica que atraviesa la membrana o capa bilipídica de las células de las fibras musculares, finalmente detectada por un electrodo de superficie, que normalmente se estructura como interfaz de Plata-Cloruro de Plata (AgAgCl). Cuando hay activación continua de las unidades motoras se genera un tren de potenciales de acción que se superponen para formar la señal compleja de EMG, donde la fuerza del músculo se relaciona con el reclutamiento de unidades motoras; es decir, se incrementa la tasa de disparo y por ende genera una contracción muscular. La forma de los potenciales de acción de unidad motora (PAUM), se encuentra relacionada con el tamaño de fibras musculares, el tamaño y la posición del electrodo de captura de la señal y el reclutamiento de fibras musculares; de igual manera, la pérdida o la hipertrofia de tejido muscular, son ejemplos comunes de condición física que causan alteración de la forma de los PAUM [8].

La señal compleja de EMG, se obtiene a partir de la sumatoria del tren de potenciales de acción de las unidades motoras PAUM; de acuerdo con, la siguiente expresión:

$$U_i(t) = \sum_{k=1}^n h_i(t - t_k)$$

Donde;

*Ecuación 1.*

$U_i(t)$  representa la señal compleja de EMG  $n$  es el número total de intervalos de intervalos de los potenciales de unidades motoras  $k$  es un entero que denota eventos específicos de los potenciales de unidades motoras  $h_i$  corresponde al tren de potenciales de unidades motoras  $h_t$  es un filtro que representa la forma de los potenciales de unidades motoras  $t_k$  representa el tiempo de localización de los potenciales de unidades motoras [8]

### **2.1.3. Normalización de la señal de electromiografía (EMG)**

La normalización, se entiende como el proceso estructurado que busca desarrollar, emplear y/o transformar las normas o métodos aplicados en el registro de las señales de EMG de uso común y repetido, con el propósito de establecer un orden. En este proceso, los valores de las señales eléctricas de actividad se expresan como un porcentaje de actividad de ese músculo durante una prueba de contracción calibrada, para así eliminar la variabilidad que exista entre las mediciones realizadas de un estudio; para este propósito, se busca calibrar el valor de amplitud de la señal de EMG tomado en micro voltios ( $\mu\text{V}$ ) a una única unidad de calibración con relevancia fisiológica tal como, el porcentaje de la capacidad máxima de inervación [34].

### **2.1.4. Métodos normalizados para estudios de electromiografía superficial en musculatura de cuello**

El valor clínico de la EMGS en músculos cuello y otros músculos del cuerpo; así como, su uso en investigación ha contribuido con diferentes estudios que buscan determinar la fiabilidad de los métodos de normalización usados comúnmente en estos experimentos [2].

Estos estudios, realizan pruebas para registrar la actividad muscular en relación con contracciones isométricas máximas voluntarias, contracciones voluntarias sostenidas o picos de unidad motora de máximo esfuerzo, contracciones isométricas sub-máximas y pico a pico de amplitud máxima [12].

### **2.1.5. Captura bipolar de la señal EMG**

Como condición importante esta la posición de los electrodos, que en la mayoría de casos debe concordar con la dimensión espacial de un músculo o grupos musculares, en este caso de la musculatura extrínseca de laringe de cuello [21]. En este sentido, se encuentran diferencias en los estudios; los cuales, utilizan sus propios protocolos para las posiciones de electrodos en los músculos supra e infrahioides [5][14][24], con la correspondiente ausencia de estandarización de un protocolo en común.

En otros estudios no específicos para electromiografía de superficie de cuello, se describe la importancia de la posición en sentido paralelo a las fibras musculares o su ubicación entre la zona de inervación o tendón distal [28].

### **2.1.6. Procesamiento de señales para señal de EMGS**

El tratamiento de las señales de EMGS, requiere una segmentación inicial de cada uno de los registros en una cantidad determinada de muestras en intervalos claramente definidos, para su posterior procesamiento, caracterización, normalización y análisis de señales [5][13]. Para este propósito, se aplican una serie de técnicas de identificación y evaluación de parámetros, basados

en el análisis estadístico temporal de las señales extraídas de cada segmento del registro EMG; donde, los análisis de medidas más utilizados se encuentran:

1. Valor medio absoluto (VMA): estima el valor medio absoluto sobre cada segmento del número de muestras de la señal [17][30].
2. Cruces por cero: mide la frecuencia de la señal, contando el número de veces que la forma de onda cruza por cero [17][30].
3. Raíz Media Cuadrática (RMS): permite caracterizar la señal de acuerdo con la estimación de la energía, respecto a la amplitud en un intervalo de tiempo [17][30].
4. Energía: capacidad de producir trabajo [17].
5. Integral: corresponde a la suma de los valores absolutos de la amplitud de la señal [17][30].

Otro aspecto importante es el análisis espectral, que requiere la transformación previa de la señal del dominio temporal al dominio de la frecuencia, con el uso de herramientas como la transformada de Fourier de tiempo corto (STFT por sus siglas en inglés) o, la transformada de wavelets como: CWT (Continuos Wavelet Transform), DWT (Discrete Wavelet Transform) y WPT (Wavelet Packet Transform) [17][30].

Finalmente, con la medición bipolar, se puede obtener una mejor representación de la señal electromiográfica, lo cual ha sido establecido previamente bajo estándares europeos derivados del protocolo de electromiografía de superficie para la evaluación no invasiva de los músculos (SENIAM) [35].

### **2.1.7. Estudios de electromiografía superficial en musculatura de cuello**

Estudios como los de [33] y [25], relacionados con EMGS en captura de actividad de los músculos del cuello, incluyen registros en músculos como trapecios, de región posterior de cuello y escaleno; [9], demostraron diferencias en la actividad muscular entre la deglución normal y la maniobra de Mendelsohn para los músculos submentonianos con el uso de esta misma técnica[27]. En general, se evidencia el uso de la EMGS, para establecer la correlación de los hallazgos clínicos con los diferentes movimientos en cabeza y cuello.

Al comparar el uso de EMGS de forma bipolar, como posible instrumento alternativo para la evaluación, documentación y correlación con un diagnóstico clínico, frente a patologías

preexistentes en músculos extrínsecos de la laringe supra e infrahioideos y esternocleidomastoideos (grupos de casos con sus respectivos controles); se obtuvieron en todos estos, valores medios de RMS y se concluyó que para el diagnóstico, seguimiento pos tratamiento o de rehabilitación, que esta técnica no tiene una utilidad diagnóstica para evaluar patologías fonatorias [31][38] [41], ni para establecer cambios en el progreso de los pacientes bajo terapias de logopedia, aun con el uso rutinario de la técnica [39]. Por lo tanto, tienen mayor relevancia el valor clínico y de seguimiento con escalas análogas diseñadas para estos casos, al no encontrar cambios en los registros de EMGS de cuello, que sugieran patrones o actividad diferente en patologías de fonación frente a personas sanas [31].

En el caso de personas con laringectomía total que pierden su sistema fonador, tienen alternativas para la recuperación de la comunicación hablada a través de aparatos electrónicos como la electrolaringe, que les permite emitir fonación con la ayuda de otros músculos. Este dispositivo, reconoce la señal eléctrica de musculatura extrínseca y la transforma en una señal sonora. El registro de EMG ha permitido determinar en qué posición, la señal registrada tiene una mayor amplitud; de esta forma, se ha establecido que se escucha claridad el habla, al ubicar la laringe

electrónica a nivel de la región submentoniana y cuello anterior superior, con evidente participación de actividad eléctrica de músculos extrínsecos [37].

La EMGS, ha sido aplicada con mayor frecuencia en la evaluación de la fonación a nivel clínico; sin embargo, aún no tiene un valor predictivo como prueba de diagnóstico ni de seguimiento, ni tampoco en técnicas de estandarización para su evaluación reproducible, que debería ser establecido para permitir las comparaciones en estudios a futuro [2].

### **2.1.8. Electromiografía en músculos extrínsecos de la laringe en voz cantada**

Los estudios de EMG sobre músculos extrínsecos de la laringe en voz cantada no son extensos y en su mayoría se encaminan a la descripción de características como la frecuencia fundamental, la intensidad y el timbre (componentes espectrales); aspectos utilizados para identificar los rasgos de estas voces en los diferentes tipos o géneros musicales [19]. El estudio del papel de los músculos extrínsecos de la laringe, ha contribuido con hallazgos sobre su funcionamiento sincrónico con el resto de las estructuras que participan en la voz cantada, de tal forma que determina ciertos atributos en este proceso [36].

[38], registraron la actividad eléctrica de músculos infrahioideos y esternocleidomastoideos con 10 cantantes y 8 participantes no cantantes, donde todos presentaban nódulos en cuerdas vocales; como control fueron seleccionados 10 participantes sanos o sin la alteración referida. En este estudio se registraron las emisiones de las vocales / a / e / i / y cada participante proporcionó emisiones de dos a tres contracciones máximas voluntarias, cada una durante 2-3 segundos. Estimaron la media de los valores de la raíz media cuadrada (RMS) de los datos de EMG calculados en ventanas de 1 segundo (sin superposición) para toda la longitud de todas las tareas vocales

completas. Para la producción de las vocales / a / e / i /, el RMS también se calculó durante los 500 milisegundos antes y 300 milisegundos después de la iniciación de la vocal, y durante los 300 milisegundos antes y 500 milisegundos después de la terminación de las vocales. Para comparar el registro de EMG se normalizó la señal con la contracción de referencia contracción máxima voluntaria (MVC), calculada con RMS en una ventana de un segundo. Han demostrado que para la musculatura del cuello anterior obteniendo como resultado que la presencia de los nódulos no causó diferencia entre los cantantes y los no cantantes, pero además obtuvieron el registro de EMG en el músculo esternocleidomastoideo durante la iniciación de la vocal /a/ que fue significativo estadísticamente más fuerte en no cantantes con nódulos en relación con cantantes con nódulos y controles (ver tabla 3).

[1], realizaron un estudio donde se registró la actividad eléctrica de los músculos supra e infrahioides en 35 participantes no disfónicos, a partir de registros de voz por conteo y emisión sostenida de la vocal /e/. Este estudio evaluó el registro de contracción máxima voluntaria sostenida (MVSA) y el pico máximo a intensidad fuerte y habitual. En las mediciones para evaluar la MVSA de la intensidad habitual y fuerte emisión de vocal /e/, se seleccionó el registro por tres segundos, para los conteos en intensidades habituales y fuertes, se seleccionó el intervalo completo de grabación, cuya duración varió según la velocidad del habla de los individuos, frente a las interrupciones durante el discurso se usó un filtro digital con pasa banda en las frecuencias de 20-500 Hz. El espectro de frecuencia se obtuvo a través de transformada rápida de Fourier (FFT). Para comparar la actividad eléctrica muscular, se realizó la conversión de estas actividades musculares como porcentaje de la media o pico de cada parámetro. En ambos grupos, se utilizó una significación estadística del 5%. Se consideró elegido como el parámetro de normalización de la

señal a la tarea en el grupo muscular con menor coeficiente de variación y mayor significación estadística. obteniendo como resultado una diferencia significativamente estadística en el registro de músculos infrahioideos izquierdo, con respecto al derecho y suprahioideos en emisión sostenida de la vocal /e/ a intensidad habitual (ver tabla 3).

**Tabla 3.** Datos representativos de resultados de los estudios de [38 y [1]. Elaborada por el autor.

Nombre del estudio	Año	Autor (es)	Resultados
<p><i>Characteristics of Phonatory Function in Singers and Nonsingers With Vocal Fold Nodules</i></p>	<p>2011</p>	<p><i>Cara E. Stepp; James T. Heaton; et al.</i></p>	<p><i>Las pruebas t de Tukey simultáneas mostraron una diferencia estadísticamente significativa entre la sEMG anterior del cuello en la posición de registro 3 antes / a / entre los controles (media 1/4 0,015% MVC) y no cantantes con nódulos (media 1/4 0,037% MVC) y entre Los cantantes con nódulos (media 1/4 0,015% MVC) y sin nódulos con nódulos. El registro de EMG en el músculo esternocleidomastoideo durante la iniciación de la vocal / a / fue significativo estadísticamente más fuerte en no cantantes con nódulos en relación con cantantes con nódulos y controles.</i></p>
<p><i>Normalization Patterns of the Surface Electromyographic Signal in the Phonation Evaluation</i></p>	<p>2015</p>	<p><i>Cara E. Stepp; James T. Heaton; et al.</i></p>	<p><i>Las tareas que proporcionaron menor coeficiente de variación de actividad eléctrica en ambos grupos musculares fueron el pico de vocal / 3 / (potenciales promedio igual a 43,31 ± 2,97 para IH derecha, 36,27 ± 2,76 para IH izquierda y 42,11 ± 2,57 para SH) 20-30 emisiones de conteo (potenciales medios iguales a 31,30 ± 308 para IH derecha, 30,56 ± 2,76 para IH izquierda y 30,43 ± 4,22 para SH), tanto en intensidad normal como en contracción voluntaria máxima sostenida, como segunda opción.</i></p>

### 2.1.9. Electromiografía en músculos extrínsecos de la laringe en vocales.

Calderón (2018), realizó estudios dirigidos a la caracterización y búsqueda de patrones de los fonemas, para ello utilizó registros de EMGS a partir de la emisión de vocales habladas en español, donde encontró que la energía de la actividad muscular va en ascenso empezando por la vocal /a/ y terminando con la /u/; es decir, que la vocal /a/ tiene menor actividad muscular con respecto a la vocal /u/[6].

### 3. Metodología

#### 3.1. Características y tamaño de la muestra

La población objeto de estudio fue constituida por 24 cantantes vernáculos de las regiones de Santander y Nariño, zonas representativas en Colombia para los cantos de currulao y guabina respectivamente, con muestra poblacional entre hombres y mujeres; en la que, todos los individuos son mayores de 45 años, con práctica vocal profesional mayor a cinco años. Cada grupo incluyó por lo menos un adulto mayor de 65 años, con el propósito de incluir aquellos que conservarán las tradiciones de la expresión musical, sin mayores incidencias o cambios; es decir, que las raíces y fundamentos del canto fuesen más originales y/o mostrarán de forma conservada estas prácticas musicales.

La muestra o total de los participantes fue constituida de la siguiente manera: 16 (66,6%) cantantes típicos de la región o departamento de Santander y 8 (33,3%) de la región de Nariño, de los cuales 5 son hombres que corresponden a un 20,8% de la población y 19 son mujeres que

corresponden al 79,2% de la muestra, con una media de edad de 68,2 años y una desviación estándar de 11.8 años. La siguiente gráfica, exhibe la distribución por cada grupo, de acuerdo con la descripción anterior.

**Gráfica 1.** Distribución de los participantes: a. distribución de Santander, y b. distribución de Nariño.



a. b.

Fue necesaria la valoración clínica previa por parte de un Médico y un Fonoaudiólogo, con el propósito de descartar patologías con incidencias en la voz cantada. El Médico realizó el examen físico oral para la búsqueda de alteraciones musculoesqueléticas y/o morfológicas en la población objeto de estudio; mientras que, el Fonoaudiólogo descartó patologías de la voz desde la valoración perceptual (fonación).

### 3.1.1. Materiales y equipos utilizados.

- Fisiógrafo de 8 canales ADInstruments. Instrumento utilizado para la adquisición de los biopotenciales o señales de EMGS en cada sujeto.
- Software labchart 7 ADInstruments. Programa base del Fisiógrafo para lectura, análisis y almacenamiento de los datos.
- Software Matlab 2015. Programa utilizado para el análisis posterior de los datos almacenados con el labchart 7.

- Electrodo. De tamaño pediátrico, de superficie, de plata - cloruro de plata (Ag-AgCl) y de diámetro  $\leq 3$  cm; los cuales fueron desechados tras utilizarlos con cada sujeto.

### **3.1.2.** Preparación de los participantes.

- De forma previa, se comunicó a cada uno de los participantes las características del proyecto, el procedimiento general de conexión del equipo de captura de las señales y las tareas o secuencias a ejecutar para el desarrollo del mismo; se resolvieron dudas y/o preguntas sobre los aspectos mencionados, para luego de manera voluntaria firmar el consentimiento informado (ver anexo del documento utilizado con los participantes).
- Las regiones o áreas del cuello donde se alojaron los electrodos se encontraban libres de vellos y sin la presencia de objetos extraños como joyas. Aquellos sujetos velludos, fueron rasurados para evitar las interferencias provocadas por escaso contacto entre los electrodos y superficie de la piel. La zona específica de contacto o postura de los electrodos, fue limpiada con gasa o algodón y alcohol etílico al 70%, para garantizar la reducción de perturbaciones por el movimiento durante la ejecución de las pruebas con voz cantada.

### **3.1.3.** Disposición del sujeto de prueba.

- Fueron dispuestos en bipedestación, cabeza y cuello erectos, con extremidades superiores que caen extendidos a los lados del cuerpo, con el requerimiento de realizar el menor movimiento posible durante la ejecución de las tareas y la toma de los datos.
- Para evitar perturbaciones que alteraran las señales durante su registro, se demandó evitar la ingesta de saliva y limitar ciertos movimientos de expresión corporal; debido a que, para

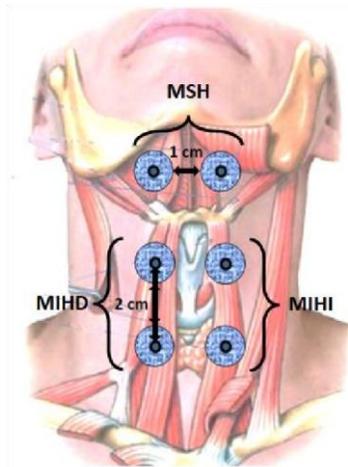
estos procesos se requiere de la participación de músculos de la cabeza y el cuello que repercuten como variaciones de la actividad bioeléctrica captada.

#### 3.1.4. Posición de los electrodos.

- Músculos suprahioideos (MSH): un par de electrodos fueron ubicados en la región submandibular, separados entre sí por un centímetro, paralelos a la línea media de cuello anterior, comprendida entre la protuberancia anteroinferior de la mandíbula y la escotadura yugular; y en su eje horizontal a nivel de los músculos digástricos y milohioideos (considerados el piso de la boca) ver figuras 1a y 1b.
- Músculos infrahioideos (MIH): cuatro electrodos fueron dispuestos en los ejes horizontales izquierdo y derecho, paralelos a la línea media del cuello anterior, a un centímetro de la prominencia del cartílago tiroideo, con separación de 2 centímetros entre cada par de electrodos laterales. En las figuras 1a y 1b, se ilustra la disposición de estos electrodos.

*Figura 1.* Posición de electrodos en cuello: 1a. Fotografías de dos participantes, y 1b. Posición anatómica de electrodos (tomada de <http://es.slideshare.net/AlexRamrez2/repaso-de-osteomuscular> y modificada por el Autor).





1b.

### 3.1.5. Ajustes técnicos y recolección de datos.

La captura de las señales de EMGS, se realizaron con el módulo de bioamplificación del Fisiógrafo ADInstruments de 8 canales bipolar, con ajustes de adquisición a través de la plataforma de control o software labchart 7.

Las condiciones particulares de medida fueron las siguientes:

- Sensibilidad: fijada en micro voltios ( $\mu\text{V}$ ) para cada canal, en todas las mediciones y/o adquisición de biopotenciales de los músculos suprahioides e infrahioides.
- Filtro para evitar artefactos por movimiento: Filtro pasa alto a 20 Hz, para eliminar señales de baja frecuencia introducidas en la interfaz electrodo-piel o variaciones del voltaje de celda dadas por el movimiento del sujeto. Estos artefactos impiden el isopotencial en el trazado.
- Filtro de red: filtro rechaza banda estrecha o notch a 60 Hz, para eliminar el ruido introducido por la alimentación de la red eléctrica domiciliaria en Colombia. Frecuencias armónicas de la señal de red pueden afectar el registro de las señales de EMGS, debido a

que ocupan el mismo espectro (120 Hz, 240 Hz y 480 Hz); sin embargo, la afectación normalmente es despreciable dada la pequeña amplitud de estas.

- Frecuencia de muestreo: 4 kHz para evitar el “aliasing” (solpamiento) y garantizar un número adecuado de componentes espectrales de la señal medida.
- Forma de adquisición: Ajuste bipolar y auto escala para reducción de ruido por actividad de musculatura cercana.
- Normalización: Se realizó con correspondencia a la contracción máxima muscular dada con la ejecución de la vocal /a/ en voz plena, con ajuste al pico máximo alcanzado en nivel de micro voltios ( $\mu\text{V}$ ). Aunque el objeto de este estudio no fue o no tuvo relación con patologías de voz cantada o no cantada, el proceso estructurado desarrollado, incluyó la ejecución de diferentes voces (tenue, falsete y plena), en tiempos determinados y con vocales específicas (/a/, /i/ y /u/). De esta forma el método aplicado en el registro de las señales de EMGS de uso común y repetido con los sujetos de prueba, contó con un ordenado o explicado en los siguientes apartados y en general en este documento.

### **3.1.6. Actividades que realizar.**

Se ejecutaron diferentes técnicas vocales con una única composición que contiene melodía sin texto, con las vocales /a//i//u/; no se tuvo en cuenta la duración por cada registro, ya que la capacidad pulmonar de cada participante es diferente y restringida en algunos adultos mayores. En una secuencia establecida a priori, se solicitó al participante que emitiera la composición con los siguientes tipos de voz cantada:

- Tenue
- Falsete
- Plena

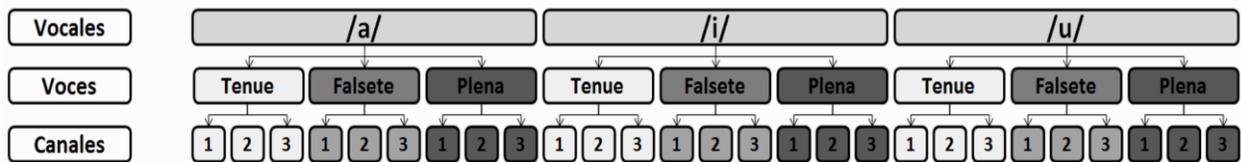
### 3.1.7. Registro.

La captura de las señales de voz cantada fue realizada en algunos músculos del cuello, a partir del registro de EMGS con el fisiógrafo Powerlab de ADInstruments de 8 canales bipolares (el registro bipolar evita el efecto de crosstalk e impide perturbaciones por actividad muscular no deseada de músculos cercanos que no forman parte del registro deseado); a través de, ajustes en la plataforma de control o software labchart 7. Los canales 1, 2 y 3 fueron seleccionados para captar los biopotenciales de la siguiente manera:

- Canal 1: músculos suprahioides (MSH)
- Canal 2: músculos infrahioides derechos (MIHD)
- Canal 3: músculos infrahioides izquierdos (MIHI)

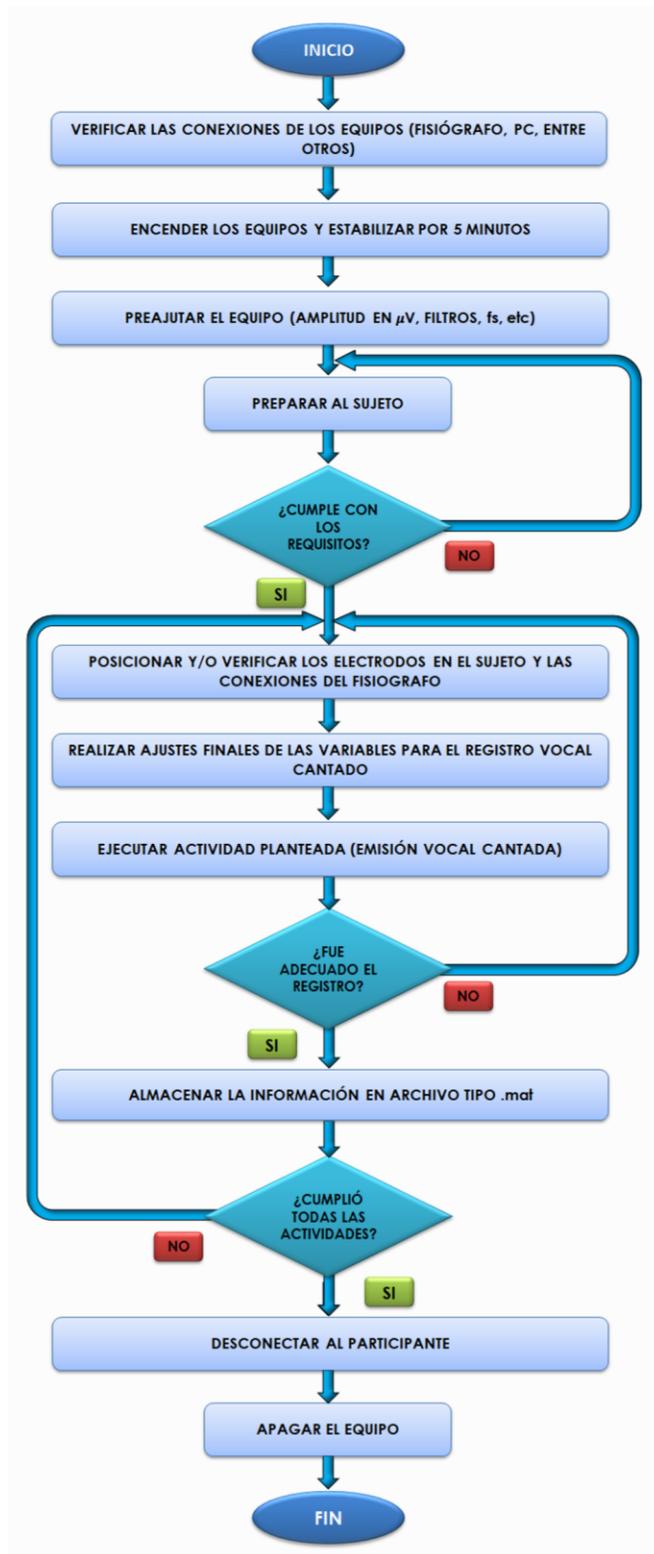
En total fueron realizados 27 registros por cada participante, como indica la figura 2 y en la secuencia mostrada en la figura 3.

*Figura 2.* Secuencia y número de datos adquiridos. Elaborada por el autor.



### 3.1.8. Flujoograma.

*Figura 3.* Flujoograma. Elaborado por el autor.



### 3.2. Rectificación y promediado

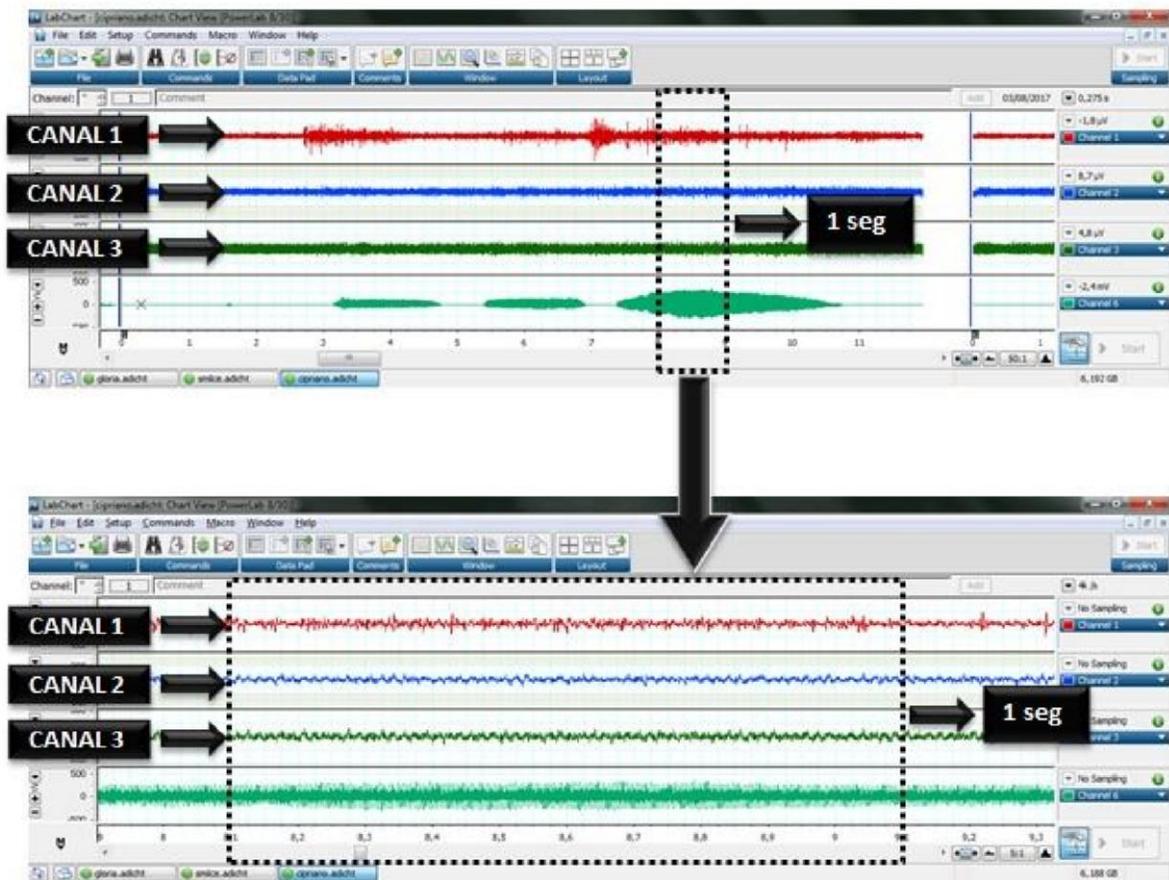
Este proceso fue necesario para determinar o cuantificar la actividad muscular durante cada ejecución cantada, y se puede obtener con la eliminación de una de las polaridades de la señal conocida como rectificación de media onda o invirtiendo la polaridad de la onda con valores negativos denominada rectificación de onda completa; este último caso fue seleccionado por no eximir parte de la señal o producir pérdida innecesaria de información. Con los datos producto de este proceso, fue calculada la media y con posterioridad el análisis en tiempo-frecuencia.

### **3.3. Análisis en tiempo**

Las señales producto de las diferentes emisiones de voz cantada, fueron registradas como variaciones de la amplitud en micro voltios ( $\mu\text{V}$ ) con respecto a la variación del tiempo en segundos (s); con procesos de filtrado en el pre-ajuste del equipo, para eliminar el ruido y/o interferencias como los artefactos por movimiento.

Para identificar cada una de las señales, el canal 6 operó como referencia y registraba de forma simultánea la señal de voz (no objeto de estudio en este proyecto) con las señales de EMGS captadas en los canales 1, 2 y 3. Luego de identificar cada señal, se realizaron segmentaciones por cortes temporales de un segundo (ver figura 4) del total de cada evento registrado, con una frecuencia de muestreo de 4000 Hz que generaron el mismo número de datos en ese intervalo de tiempo. La base temporal de análisis de 1 s, fue seleccionada por corresponder a la duración máxima de ejecución de algunos participantes aunque ello no tuviese relación patológica.

*Figura 4.* Selección y segmentación de señales de EMGS en voz cantada. Tomadas del Software labchart 7.



Los datos obtenidos con el programa labchart 7, fueron tratados y/o ensayados con la herramienta de programación o software de análisis matemático MATLAB, para obtener las características en tiempo como la variación en amplitud con su extensión temporal, y en frecuencia como la composición espectral; medidas utilizadas generalmente en el estudio de procesamiento de señales [26][17][30]:

- La energía: o trabajo útil dada en Julios (J), es una variable generalmente usada en el estudio y procesamiento de señales, que para el trabajo actual se calcula sobre una señal discreta de secuencia finita, por lo que se obtendrá un valor finito en el intervalo de tiempo de 1 segundo. La energía fue calculada con la siguiente expresión matemática:

$$Energía = \sum_{n=-\infty}^{\infty} (x[n])^2 = \sum_{n=N1}^{N2} (x[n])^2 = \sum_{n=1}^{4000} (x[n])^2 ; para x[n] = x[i]$$

**Ecuación 2.**

Donde;  $x[n]$  representa la señal de EMGS en tiempo discreto y está definida para los valores enteros  $n$  de 0 a 3999 o de 1 a 4000, en consistencia con igual número de muestras contenidas en 1 segundo ( $fs=4 kHz$  para  $N=4000$  muestras); es decir, esta señal está definida en el intervalo finito  $N1 \leq n \leq N2$  con  $- \infty < N1 (N1 > -\infty)$ ,  $N2 < \infty$  y  $N1 \leq N2$ . En sentido general  $T=N/fs$ . Donde,  $T=1s$  que es el tiempo total de muestreo en segundos (s),  $N=4000$  que es el número total de muestras en el intervalo  $T$ , y  $fs=4kHz$  corresponde a la frecuencia de muestreo (muestras/segundo).

$|x[n]|^2$  garantiza valores positivos (rectificación) y cada valor de  $x[n]$  estará dado por la amplitud captada durante la muestra.

A partir de la Energía, se puede obtener la Potencia (Wattios), considerada como la transferencia de Energía (Julios) / unidad de tiempo (s).

□ La integral de la señal: corresponde a la suma de los valores absolutos de la amplitud de la señal y corresponde a la cantidad total de actividad muscular en el intervalo de tiempo de 1 segundo para este caso, su resultado fue obtenido con la expresión:

$$Integral = \sum_{i=1}^K |x[i]| = \sum_{i=K1}^{K2} |x[i]| = \sum_{i=1}^{4000} |x[i]|$$

**Ecuación 3.**

Donde;  $x[i]$  representa la señal de EMGS en tiempo discreto y está definida para los valores enteros  $i$  de 1 a 4000, en consistencia con igual número de muestras contenidas en 1 segundo

( $f_s=4 \text{ kHz}$ , para  $N=4000$  muestras). La secuencia está dada en un intervalo finito por  $-K \leq i \leq K$  o  $K1 \leq i \leq K2$ , con  $- \infty < K1 < K2 < \infty$  y  $K1 \leq K2$ .

□ Cruces de cero (ZC): realiza una evaluación aproximada de los rasgos de la señal en el dominio espectral o de la frecuencia, a partir del conteo del número de veces que la forma de onda cruza por cero; de tal forma que, al determinar un nivel de umbral de la actividad, es posible reducir el ruido con este procedimiento. La estimación se calcula con la ayuda de expresiones como las siguientes:

$$ZC = \sum_{i=-\infty}^{\infty} |\text{sgn}\{x[i]\} - \text{sgn}\{x[i - 1]\}| \geq \text{nivel umbral}$$

$$ZC = \sum_{i=1}^{4000} |\text{sgn}\{x[i]\} - \text{sgn}\{x[i - 1]\}| \geq \text{nivel umbral}$$

En la ó estará dada  
general, función signo por

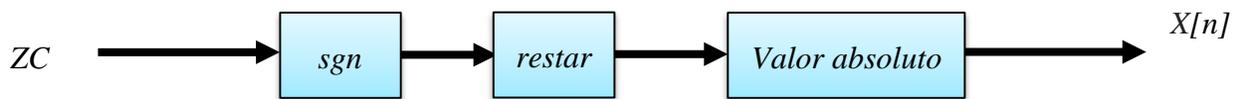
$$\begin{aligned} 1, & \quad x[n] \geq \text{nivel de umbral} \\ & \quad \text{sgn}\{x[n]\} = \{ \\ 0, & \quad x[n] < \text{nivel de umbral} \end{aligned}$$

Para este caso de estudio,

$$\begin{aligned} 1, & \quad x[n] \geq 0 \text{ voltios} \\ & \quad \text{sgn}\{x[n]\} = \{ \\ 0, & \quad x[n] < 0 \text{ voltios} \end{aligned}$$

**Ecuación 4a.**

Por lo tanto, el proceso es:



De forma alternativa,

$$ZC = \sum_{i=1}^N [sgn(x_i * x_{i-1}) \cap |x_i - x_{i-1}|] \geq \text{nivel umbral}$$

$$sgn\{x[i]\} = \begin{cases} 1, & x[i] \geq \text{nivel de umbral} \\ 0, & \text{en caso contrario} \end{cases}$$

**Ecuación 4b.**

Donde;  $x[n]=x[i]$  representa la señal de EMGS en tiempo discreto y está definida para los valores enteros  $n$  de 0 a 3999 o de 1 a 4000, en consistencia con las descripciones anteriores.

Es posible establecer la tasa de cruces por cero para una señal sinusoidal con  $Z_n = 2f_0/f_s$  [cruces/muestra], donde  $f_0$  corresponde a la frecuencia de la señal seno.

□ Valor medio absoluto (VMA): estima la media aritmética sobre cada segmento del número de muestras de la señal, con el propósito de eliminar el ruido de la señal. Es calculado a partir de la siguiente expresión:

$$VMA = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |x[i]| = \frac{1}{4000} \sum_{i=1}^{4000} |x[i]|$$

**Ecuación 5.**

Donde;

$X[i]$  representa la señal de EMGS en tiempo discreto

$N$  denota la longitud de la señal que corresponde a 4000 muestras.

□ Raíz media cuadrática (RMS): o el valor eficaz, permite caracterizar la señal de acuerdo con la estimación de la energía, respecto a la amplitud en un intervalo de tiempo; es decir, mide el poder eléctrico de la señal de EMGS, dando correspondencia entre la potencia suministrada por la señal alterna de EMGS y un aporte de potencia de señal continua equivalente. Este valor, fue obtenido con la expresión:

A partir del concepto de raíz cuadrada

$$|y|^2 = x; \text{ tal que, } y = \sqrt{x}, \text{ entonces}$$

$$|RMS|^2 = \text{Promedio de la señal rectificadora}$$

$$RMS = \sqrt{\text{Promedio de la señal rectificadora}}$$

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x[i])^2} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^{4000} (x[i])^2}$$

*Ecuación 6.*

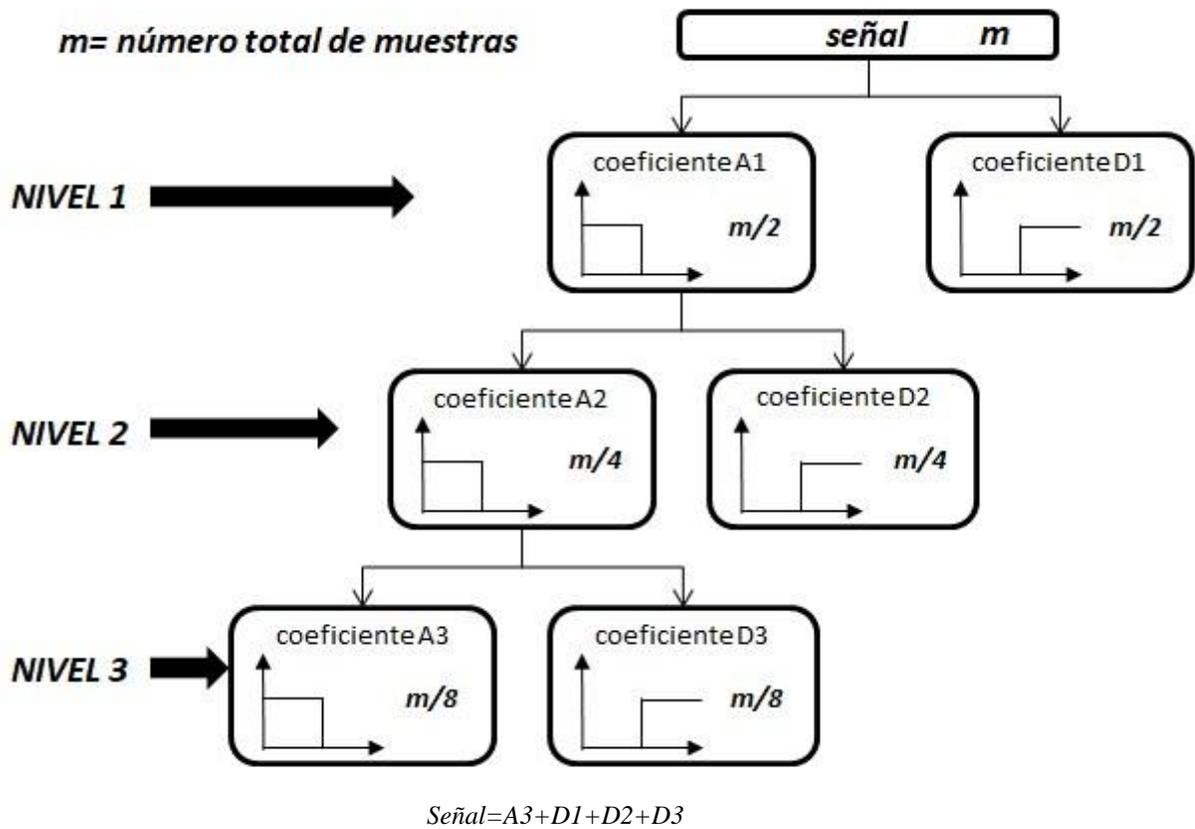
Las transformaciones expuestas, son necesarias para la extracción de las características relevantes de la señal de EMGS; por lo tanto, estas conversiones permiten representar sin redundancias de información los segmentos de actividad muscular de los músculos del cuello activados en la voz cantada; para con ellos realizar el análisis estadístico posterior.

### 3.4. Análisis en frecuencia

Con la disposición de instrumentos matemáticos para el procesamiento de señales, este trabajo omitió el uso de la transformada de Fourier por no contribuir con resultados satisfactorios

en el análisis de señales aperiódicas e irregulares con las de EMG; en este sentido, la transformada de wavelet (WT), es una herramienta matemática de procesamiento de señales cuyo espectro varía en el tiempo y sirve para discriminar diferencias en ellas al concentrarse en fenómenos transitorios y de alta frecuencia, también es utilizada para eliminar ruido entre otras aplicaciones. Se encuentra agrupada en diferentes familias y la Daubechies corresponde al conjunto de wavelets ortogonales adecuadas para el análisis de señales discretas. La transformada discreta de wavelet (DWT) descompone la señal a tratar en niveles (análisis multiresolución o en múltiples bandas de frecuencia), 3 en este caso de estudio; tal descomposición se realiza con procesos de filtrado, el primero de tipo pasa bajo (coeficiente de aproximación) y el segundo de tipo pasa alto (coeficiente de detalle). Se divide en la mitad de la banda de trabajo (ancho de banda total); con un submuestreo de las señales de salida; esto se realiza en repetidas ocasiones a partir de la señal de salida con la sub-banda baja obtenida. El árbol de descomposición se muestra en figura 5 [3][23]; donde la función o señal original, se descompone en un conjunto de señales (señal=A1+D1+D2+D3), a partir de procesos de escalamiento y traslación.

*Figura 5.* Árbol de descomposición para tres niveles. Imagen modificada obtenida de [3].



La forma de escalamiento ( $s$ ) y traslación ( $\tau$ ) para la DWT se observa en la siguiente ecuación; donde, la WT ortogonal no posee información redundante.

$$f(t) = \sum_s \sum_\tau W_f(s, \tau) \psi_{s, \tau}(t)$$

*Ecuación 7.*

Donde,  $f(t)$  es la función en el dominio temporal o señal

$W_f(s, \tau)$  corresponde a la suma de los coeficientes wavelets discretos

$\psi_{s,\tau}(t)$  corresponde a las wavelets discretas de la función que constituye la base ortogonal para parámetros  $s$  y  $\tau$  correctamente seleccionados  $s$  es el factor de escala  $\tau$  es el factor de traslación

La base wavelet ortonormal se obtiene con wavelets con factores de traslación y dilatación discretos; y finalmente en la descomposición en series de Wavelet, se obtienen los coeficientes a partir de la aplicación de un algoritmo discreto que emplea recursivamente filtros discretos pasa alto y pasa bajo.

### 3.5. Modelo estadístico.

El ANOVA (análisis de varianza) fue el modelo utilizado para el análisis de los datos (en el capítulo 4 se describen las razones de su uso), debido a la potestad que ofrece para la realización de estudios estadísticos multivariados al permitir la comparación con más de 3 variables de forma simultánea. En la tabla 2 se encuentran las formulas usadas en este estudio

[42].

**Tabla 4.** Ecuaciones utilizadas para el análisis con ANOVA [42].

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	Razón de la variación
Entre las muestras	$SC_{entre} = \sum_{j=1}^k n_j (\bar{x}_j - \bar{x})^2$	$k - 1$	$CM_{entre} = \frac{SC_{entre}}{k - 1}$	$RV = \frac{CM_{entre}}{CM_{dentro}}$
Dentro de las muestras	$SC_{dentro} = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} (x_{ij} - \bar{x}_j)^2$	$N - k$	$CM_{dentro} = \frac{SC_{dentro}}{N - k}$	

Total	$SC_{total} = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} (x_{ij} - \bar{x})^2$	$N - 1$		
-------	---	---------	--	--

Al encontrar en la comparación de varianzas el rechazo de la hipótesis nula con un nivel de significancia  $\alpha$  de 0.05, con un intervalo de confianza de 95%, se aplica la prueba de Tukey (Ecuación 6) para determinar qué diferencia de medias son significativamente diferentes, donde  $\alpha$  es el nivel de significancia seleccionado,  $k$  es el número de medias,  $N$  la cantidad total de grupos,  $n^*$  la cantidad de la muestra en este caso la más pequeña,  $CM$  residual es el cuadrado medio del error o dentro, cuando excede la diferencia honestamente significativa (HDS) se considera significativamente diferente [42].

$$HDS = q_{\alpha, k, N-k} \sqrt{\frac{CM_{residual}}{n_j^*}}$$

*Ecuación 8.*

### 4. Resultados.

En este capítulo se detallan los resultados obtenidos tras aplicar la metodología (presentada en apartados previos), como el *protocolo diseñado* para este estudio (ver apéndice B) y los efectos tras el empleo de las herramientas matemáticas mencionadas para el análisis de los datos almacenados como valores discretos de la señal.

El protocolo descrito de forma detallada en el apéndice B, fue desarrollado y utilizado inicialmente en ambiente controlado al interior del laboratorio de simulación clínica de la Universidad Antonio Nariño. Los ajustes previos para la adquisición de señales se realizaron con el software Labchart 7, a partir de la ejecución de un conjunto de actividades en secuencias estructuradas e indicadas en tal protocolo. En particular, los sujetos de prueba fueron tres cantantes profesionales coinvestigadores del proyecto “Origen de la resonancia y articulación musical característicos en el canto vernáculo de argentina, Brasil, y Colombia: Bases Empíricofenomenológicas para pensar en la posible peculiaridad del Canto Profesional Latinoamericano, de la facultad de Artes y Ciencias, de la Universidad Antonio Nariño” [20] y profesores de la Universidad mencionada, quienes a partir de su experticia y experiencia coadyuvaron al perfeccionamiento del mismo.

A 24 cantantes de géneros musicales vernáculos (16 de Guabina y 8 de Currulao) de Colombia, de las regiones Santander y Nariño, se les registró la actividad bioeléctrica (canales 1,

2 y 3 del fisiógrafo ADInstruments) de algunos músculos del cuello (MSH, MIHD y MIHI) de forma superficial (EMGS) en modo simultáneo, paralelo a la ejecución cantada (melodía sin texto) de las vocales /a/, /i/ y /u/ con voces Tenue, Falsete y Plena; con lo cual, se obtuvieron 27 registros por cada participante, para un total de 648 señales sin restricción de los tiempos máximos de ejecución, dadas las condiciones y capacidades fisiológicas diferentes de los sujetos. Tras inspeccionar las señales, se encontró que la duración máxima temporal de ejecución para algunos cantantes fue de 1 segundo, aunque ello no tuviese relación patológica; por lo tanto, esta condición fue determinante para establecer la base temporal de segmentación y análisis posterior en ese mismo tiempo.

Al efectuar las actividades en campo con los cantores que cumplieron con los criterios de inclusión (determinados y aceptados por el grupo multidisciplinar), se encontró dificultad en algunos de ellos para la ejecución de unos ejercicios, tales como: no lograr con facilidad los diferentes tipos de voces propuestas y en algunos casos no mantener la emisión cantada por más de un segundo. Estas dificultades no se presentaban por relación o por condiciones patológicas que impidieran las expresiones pretendidas del canto, pero si mostraban dependencia a la no formación profesional en canto, dado el nivel empírico de los participantes.

Por otro lado, la distribución de los participantes no fue homogénea; debido a que, la población objeto de este estudio, con alta especificidad y características particulares (cantantes vernáculos de baja exposición a estilos diferentes y de tradición cantora conservada), dificultó su encuentro y vinculación con el proyecto. En general, las mujeres superaron en mayor proporción a los hombres para los dos géneros de canto estudiados, y el número de cantantes de Santander fue mayor que los de Nariño.

Los registros de 3 de los 24 de los participantes presentaron zonas temporales sin información, no consistentes con la señal de audio captada en forma paralela (canal 6 del fisiógrafo ADInstruments). De estos, más del 50 % del total de la información consistía en un trazo isoelectrico (cero voltios); lo cual, fue motivo para excluirlos del análisis final. Esta condición redujo el número total de señales a 567 del total inicial, y corresponden a la *base de datos* emanada del estudio, con un mínimo útil de 2'268.000 muestras (4000 muestras por señal).

Dicha base de datos está constituida y ordenada a partir de las siguientes convergencias o características comunes: la variable sexo compuesta por hombres y mujeres, la variable tipo de género musical que comprende la Guabina y el Currulao, la variable tipo de fonema organizada a partir de las vocales /a/, /i/ y /u/, la variable tipo de canto agrupada por las voces cantadas leve, falsete y plena, y la variable grupos musculares clasificada por MSH, MIHD y MIHI.

#### 4.1. Caracterización en tiempo

Los datos obtenidos fueron sometidos a análisis estadístico en la plataforma de cálculo EXCEL 2010; donde la distribución normal de los mismos se determinó por medio de la prueba Anderson – Darling. Las comparaciones de las medias de cada característica en tiempo fueron realizadas con la aplicación de la herramienta ANOVA, con nivel de significancia menor de  $p=0,05$ , con grupos independientes, varianzas iguales con razón de variación (RV)  $< 1$ . Se utilizó en test de Tukey para establecer la diferencia significativa entre los grupos de Santander (género musical Guabina) y Nariño (género musical Currulao), considerando las diferentes variables mencionadas como: los grupos musculares, las vocales, los tipos de voces cantadas y el sexo. En general se compararon estas variables entre los tipos o géneros musicales (Guabina y Currulao), con resultado para mujeres de  $p=0,072$  y para hombres de  $p=0,65$ , al contrastar los grupos musculares se

encontraron los MSH con  $p=0,060$ , los MIHD con  $p=0,089$  y los MIHI con  $p=0,062$ ; y al confrontar los tipos de voces se hallaron separadamente para las mujeres un  $p=0,160$  para voz tenue, un  $p=0,856$  para voz falsete y un  $p=0,430$  para voz plena, y para los hombres un  $p=0,994$  para voz tenue, un  $p=0,918$  para voz falsete y un  $p=0,999$  para voz plena, todas estas en voz cantada. Lo anterior traduce en que al no encontrar diferencia significativa, no se puede caracterizar (modelar) cada grupo, con la dificultad de predecir sobre otros cantantes.

Al realizar otras comparaciones entre los datos, fue posible determinar diferencias significativas, como el resultado obtenido de cotejar las vocales /a/(A), /i/(I) y /u/(U) emitidas por hombres (H) y mujeres (M) sin discriminar grupos musculares, géneros musicales ni tipos de voces, para los grupos (A - M) con (I - H) e (I - M) con (I - H) se encontró mayor actividad muscular en la emisión de la vocal /i/ en grupo de los hombres con respecto a las mujeres en las características de energía, integral y RMS; para los grupos (A - M) con (U - M) e (I - M) con (U - M) se encontró mayor actividad muscular en la emisión de la vocal /u/ en grupo de las mujeres y para los grupos (A - H) con (I - M) y (A - H) con (U - M) se encontró mayor actividad muscular en la emisión de la vocal /i/ y /u/ en el grupo de las mujeres con respecto a la vocal /i/ en el grupo de hombres, esto se puede visualizar en la tabla 5 y su correspondiente la gráfica 2.

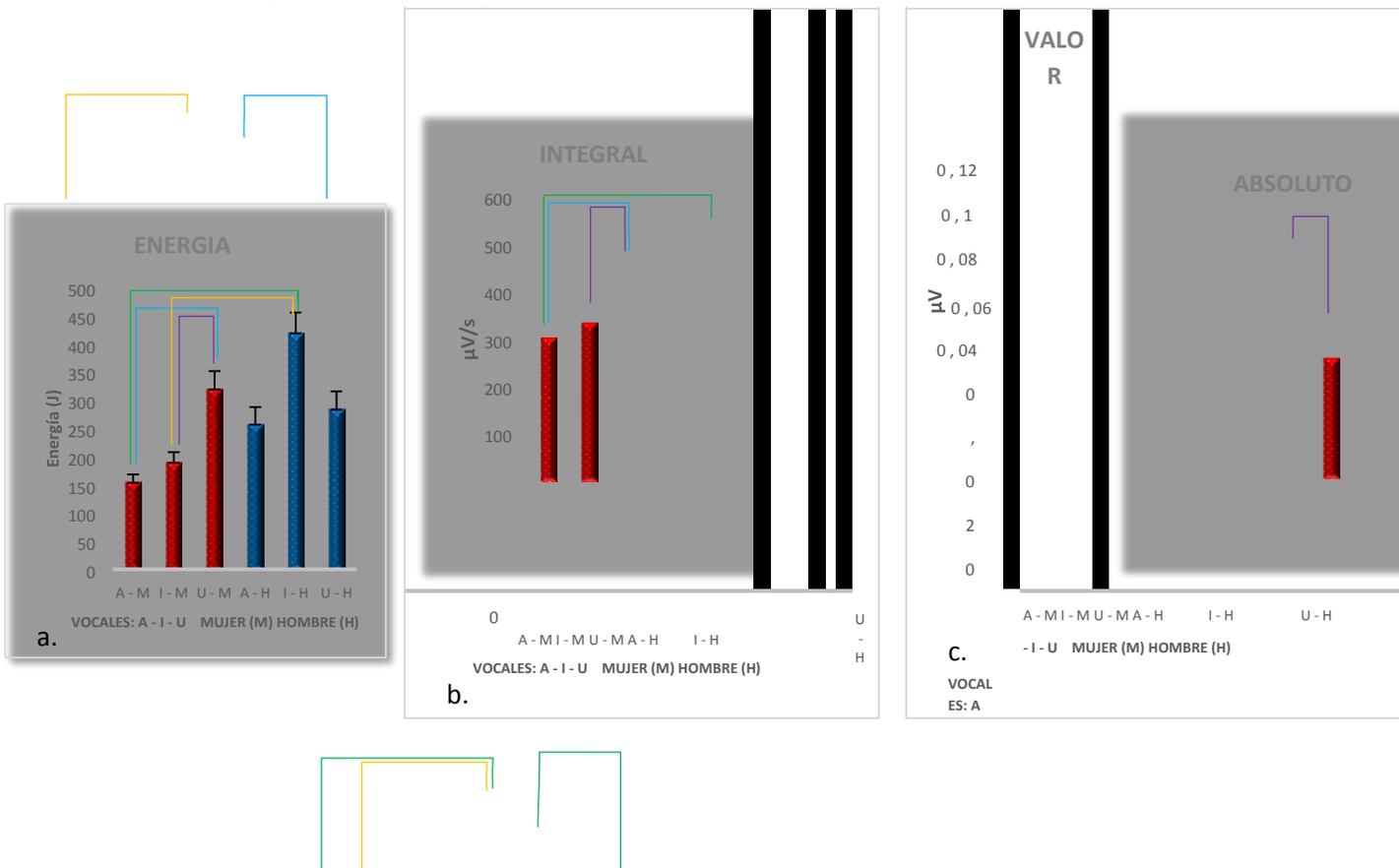
**Tabla 5.** Comparación de vocales en mujeres y hombres para cada característica en tiempo.

TEST DE TUKEY		ENERGÍA			INTEGRAL			VMA			RMS			CRUCES POR CERO		
GRUPOS	N	p valor	HSD	$\mu_1 - \mu_0$	p valor	HSD	$\mu_1 - \mu_0$	p valor	HSD	$\mu_1 - \mu_0$	p valor	HSD	$\mu_1 - \mu_0$	p valor	HSD	$\mu_1 - \mu_0$
(A - M) - (I - H)	36	1,8 -11*	170,5	265,7	7,7-10*	154,1	230,8	0,00011*	0,053	0,004	3,5-9*	0,153	0,218	0,00017*	66,9	43,7
(A - M) - (U - M)	153		82,7	166,0		70,7	137,6		0,026	0,033		0,074	0,132		32,4	5,6
(I - M) - (I - H)	36		170,5	230,5		154,1	196,8		0,053	0,002		0,153	0,186		66,9	49,7
(I - M) - (U - M)	153		82,7	130,8		70,7	103,7		0,026	0,032		0,074	0,101		32,4	0,4

(A - H) - (I - M)	36	154,1	46,2	0,053	0,001	0,153	0,042	0,153	0,042	66,9	69,4
(A - H) - (U - M)	36	154,1	-57,4	0,053	0,033	0,153	0,039	0,153	0,039	66,9	69,0

Para cada una de las características en tiempo se compararon los hombres (H) y las mujeres (M) (hombres con n=36 y mujeres con n= 153) con las vocales /a/(A), /i/(I) y/u/(U). Se halló la diferencia de las medias de los dos grupos a comparar ( $\mu_1 - \mu_0$ ), si este valor fue mayor que la diferencia honestamente significativa (HDS) se determinó una diferencia significativa entre los grupos enfrentados. Cada uno de los colores corresponde a la comparación de los grupos enfrentados en las gráfica 2. \*p valor menor 0,05.

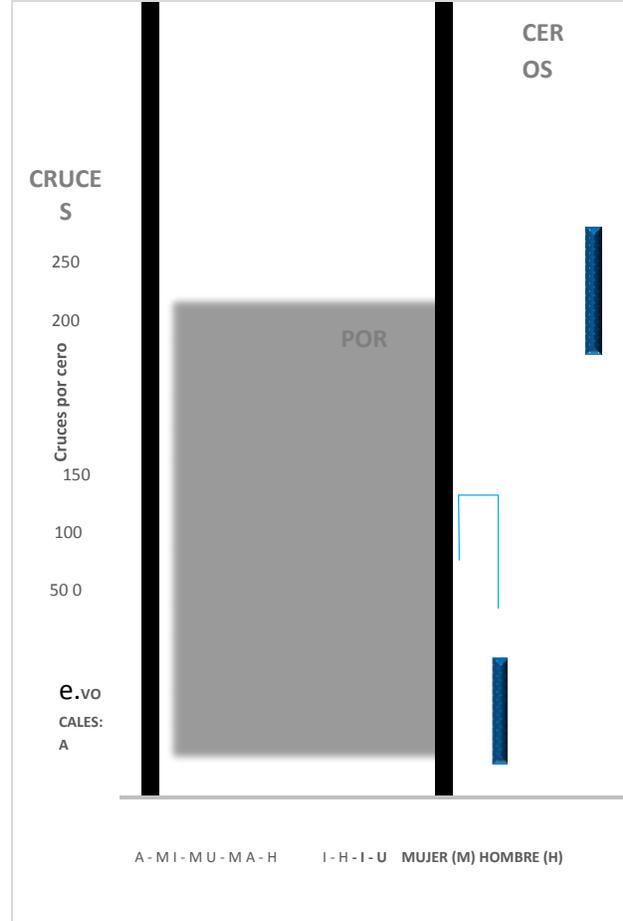
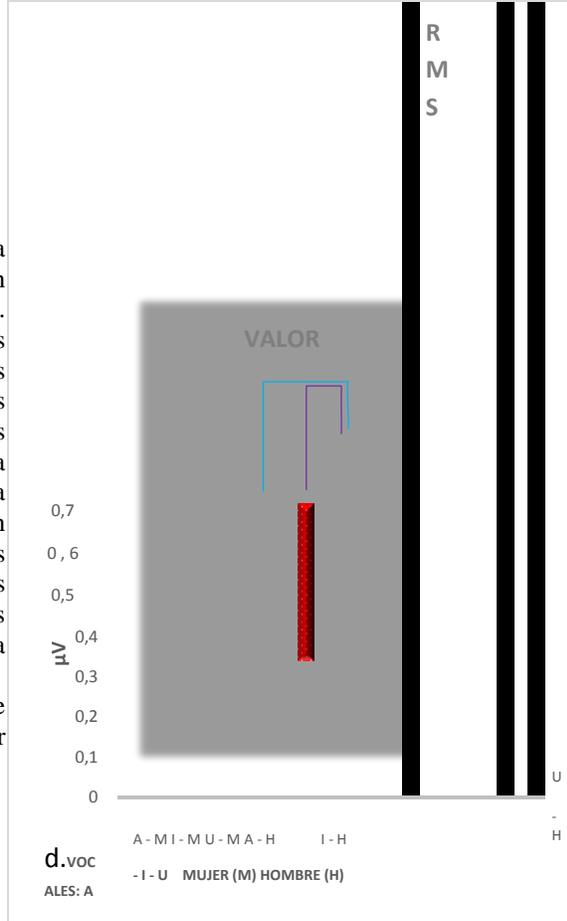
**Gráfica 2.** Comparación de mujeres y hombres para las vocales en las características en tiempo.



a. Describe la energía, donde las barras rojas corresponden a las mujeres con cada vocal y las azules a los hombres con cada vocal, b. Expone la integral, donde las barras rojas pertenecen a las mujeres con cada vocal y las azules incumben a los hombres con cada vocal, c. Puntualiza el VMA, donde las barras rojas refiere a las mujeres con cada vocal y las azules a los hombres con cada vocal, d. Indica el valor RMS, donde las barras rojas relaciona a las mujeres con cada

vocal y las azules a los hombres con cada vocal, e. Expone los cruces por ceros, donde las barras rojas concuerda a las mujeres con cada vocal y las azules a los hombres con cada vocal. Las líneas superiores que relacionan dos grupos indica a la diferencia significativa entre cada grupo (P valor de 0.05).

Otras



comparaciones

donde se realizan cotejos separados de los grupos musculares (MSH, MIHD Y MIHI) con las emisiones vocales y ambos sexos, se encuentra que la comparación del grupo de las mujeres (M) con la vocal a (A) y u (U) en las características de energía, integral y RMS, hay mayor actividad muscular para la vocal u que para la vocal a para todos los grupos musculares, también se encuentra diferencia en la comparación de los grupos (I - M) - (U - M) en la energía y RMS para los MIHI y en VMA para los músculos MSH y MIHD con mayor actividad muscular en la vocal u que en la i en el grupo de las mujeres., se puede observar en la tabla 6 y sus correspondientes gráficas 3, 4, 5 y 6;

**Tabla 6.** Comparación de mujeres, hombres y vocales para los grupos musculares en las características en tiempo.

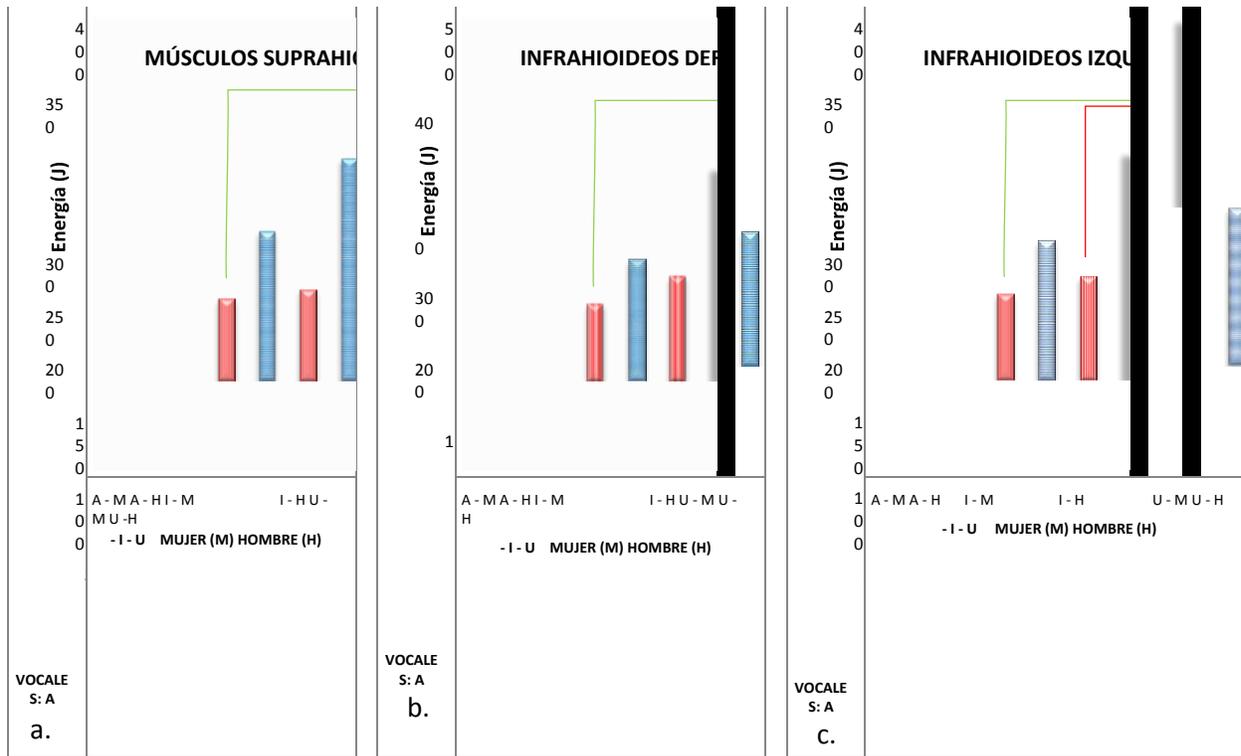
TEST DE TUKEY		ENERGÍA					
GRUPOS	N	<i>p valor</i>	MSH	<i>p valor</i>	MIHD	<i>p valor</i>	MIHI

			HSD	$\mu_1 - \mu_0$		HSD	$\mu_1 - \mu_0$		HSD	$\mu_1 - \mu_0$
(A - M) - (U - M)	51	0,0017*	144	153,51	0,00191*	145,7	163,5	0,0007*	143,7	180,9
(I - M) - (U - M)	51		144	138,14		145,7	104,3		143,7	149,8
TEST DE TUKEY		I NTEGRAL								
GRUPOS	N	<i>p valor</i>	MSH		<i>p valor</i>	MIHD		<i>p valor</i>	MIHI	
		0,0034*	HSD	$\mu_1 - \mu_0$	0,00917*	HSD	$\mu_1 - \mu_0$	0,0019*	HSD	$\mu_1 - \mu_0$
(A - M) - (U - M)	51		130,4	130		130,6	130		130,2	153,1
(I - M) - (U - M)	51		130,4	115,9		130,6	71,7		130,2	123,4
TEST DE TUKEY		VMA								
GRUPOS	N	<i>p valor</i>	MSH		<i>p valor</i>	MIHD		<i>p valor</i>	MIHI	
		0,015*	HSD	$\mu_1 - \mu_0$	0,02526*	HSD	$\mu_1 - \mu_0$	0,0632*	HSD	$\mu_1 - \mu_0$
(A - M) - (U - M)	51		0,045	0,021		0,042	0,021		0,046	0,04
(I - M) - (U - M)	51		0,045	0,049		0,042	0,049		0,046	0,01
TEST DE TUKEY		RMS								
GRUPOS	N	<i>p valor</i>	MSH		<i>p valor</i>	MIHD		<i>p valor</i>	MIHI	
		0,0054*	HSD	$\mu_1 - \mu_0$	0,01474*	HSD	$\mu_1 - \mu_0$	0,0028*	HSD	$\mu_1 - \mu_0$
(A - M) - (U - M)	51		0,129	0,129		0,13	0,132		0,13	0,15
(I - M) - (U - M)	51		0,129	0,111		0,13	0,07		0,13	0,13

Para cada una de las características en tiempo se tomaron tres grandes grupos que corresponden a los músculos infrahioideos derecho (MIHD) e izquierdo (MIHI) y suprahioideos (MSH), dentro de cada grupo se compararon los hombres (H) y las mujeres (M) (hombres con una n= 36 y mujeres con una n= 51) con las vocales /a/(A), /i/(I) y/u/(U). Se halló la diferencia de las medias de los dos grupos a comprar ( $\mu_1 - \mu_0$ ), si este valor fue mayor que la diferencia honestamente significativa (HDS) se determinó una diferencia significativa entre los grupos enfrentados. Cada uno de los colores corresponde a la comparación de los grupos enfrentados en las gráfica 2. \*p valor menor 0,05

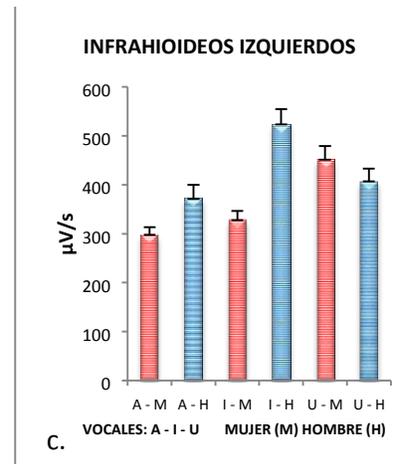
**Gráfica 3.** Comparación de mujeres y hombres para los grupos musculares en la energía.



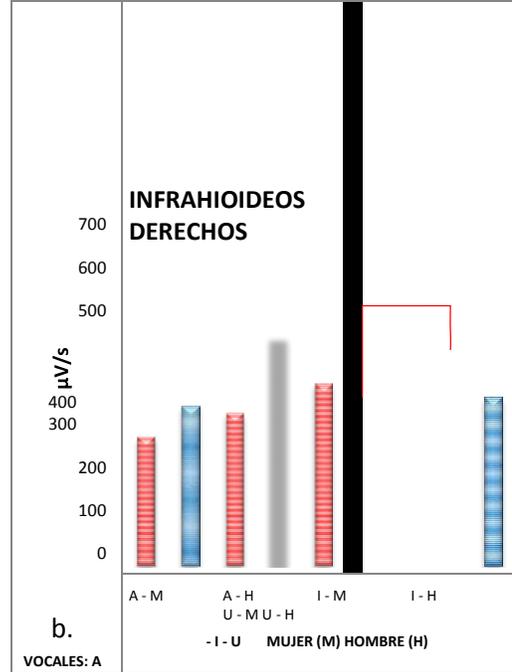
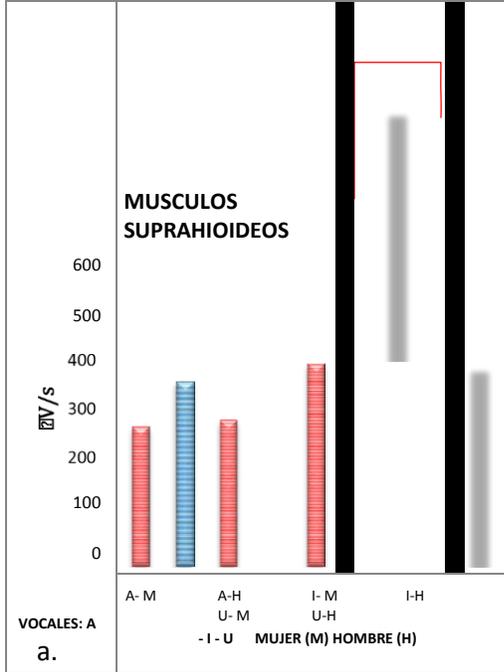


a. Describe la media con la desviación estándar de energía de las mujeres con cada vocal y los hombres con cada vocal en el grupo de músculos MSH b. Describe la media con la desviación estándar de energía de las mujeres con cada vocal y los hombres con cada vocal en el grupo de músculos IHD c. Describe la media con la desviación estándar de energía de las mujeres con cada vocal y los hombres con cada vocal en el grupo de músculos IHI. Las líneas superiores a las gráficas que comparan dos grupos (verdes y rojas) corresponden a los grupos con diferencia significativa (P valor de 0.05).

**Gráfica 4.** Comparación de mujeres y hombres para los grupos musculares en la integral



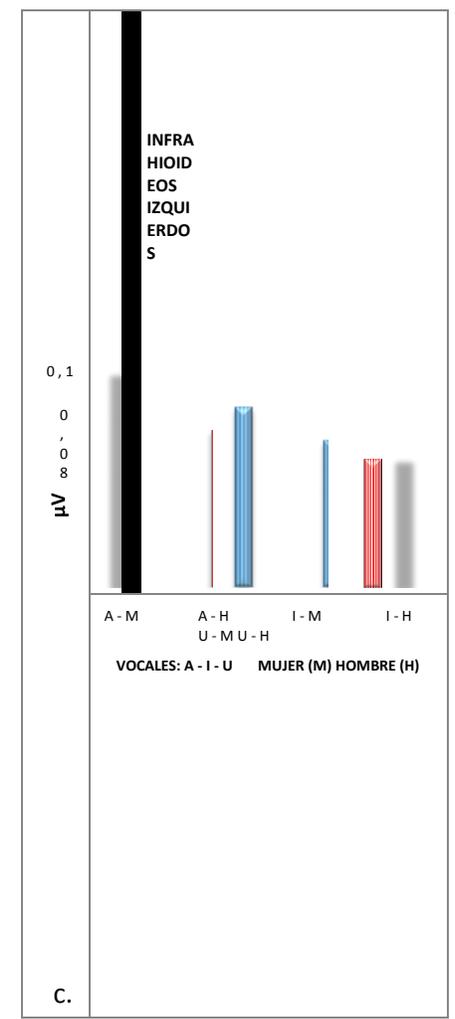
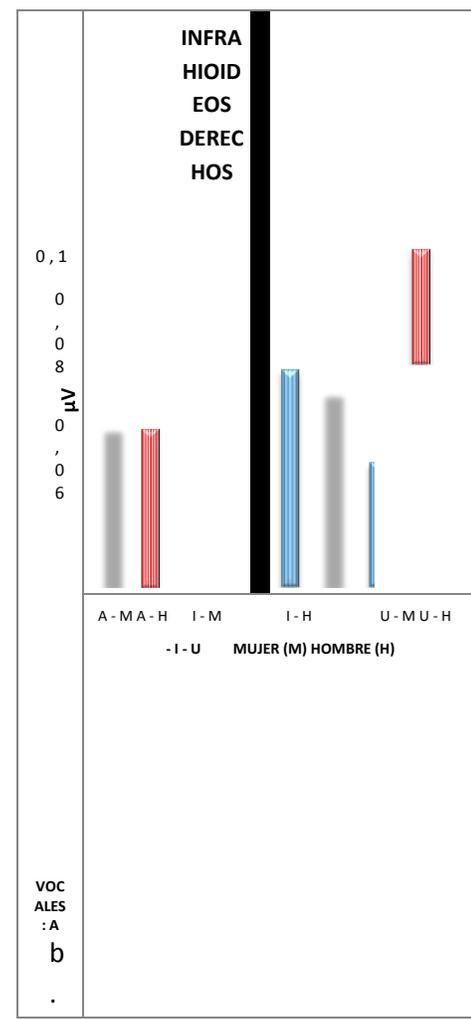
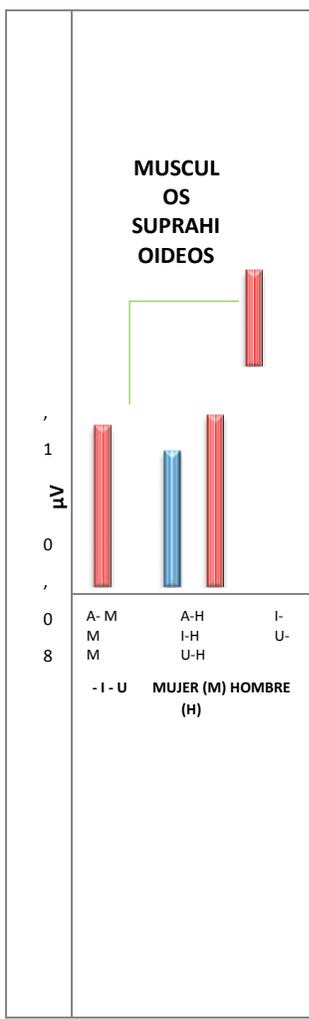
a. Describe la media con la desviación estándar de la integral de las mujeres con cada vocal y los hombres con cada vocal en el grupo de músculos MSH b. Describe la media con la desviación estándar de la integral de las mujeres con cada vocal y los hombres con cada vocal en el grupo de músculos IHD c. Describe la media con la desviación

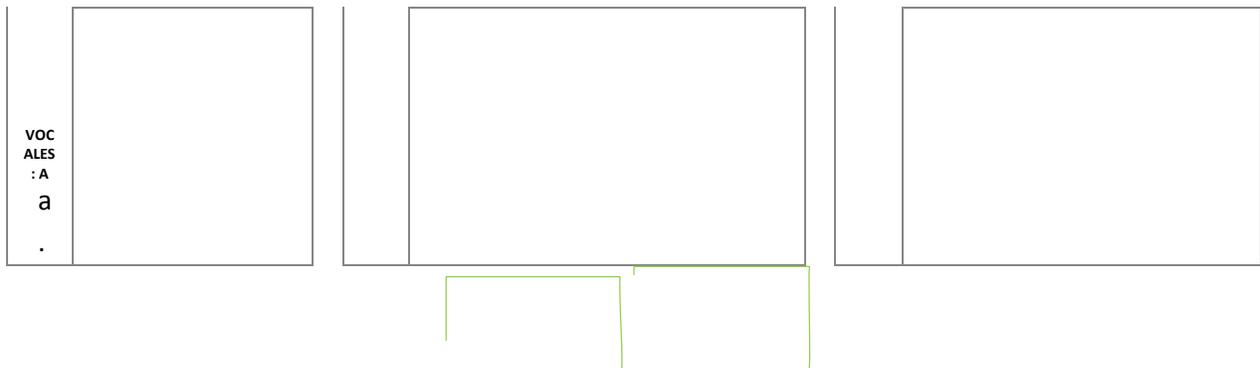


estándar de la integral de las mujeres con cada vocal y los hombres con cada vocal en el grupo de músculos IHI. Las líneas superiores a las gráficas que comparan dos grupos (rojas) corresponden a los grupos con diferencia significativa (P

valor de 0.05).

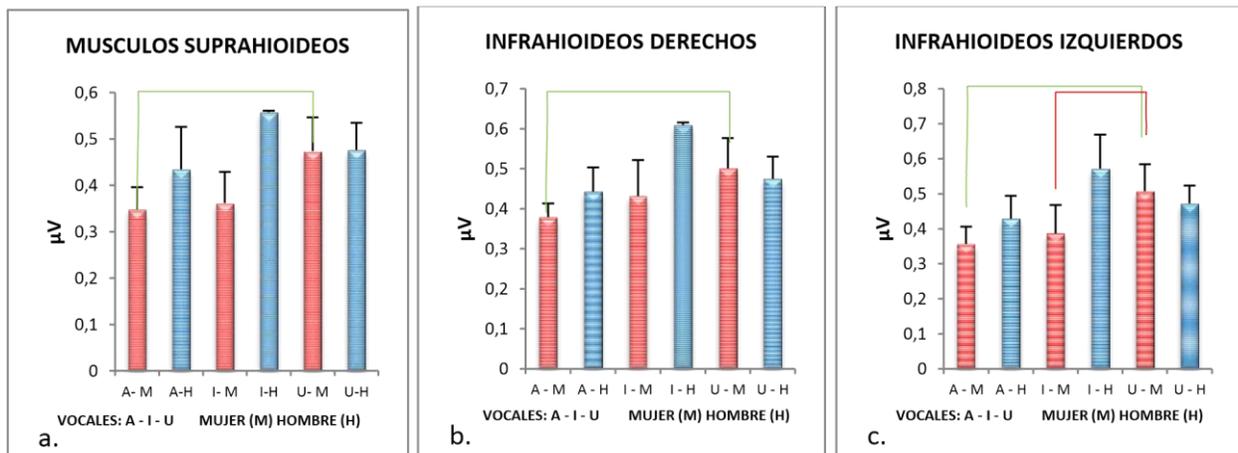
Gráfica 5. Comparación de mujeres y hombres para los grupos musculares en VMA.





a. Describe la media con la desviación estándar de VMA de las mujeres con cada vocal y los hombres con cada vocal en el grupo de músculos MSH b. Describe la media con la desviación estándar de VMA de las mujeres con cada vocal y los hombres con cada vocal en el grupo de músculos IHD c. Describe la media con la desviación estándar de VMA de las mujeres con cada vocal y los hombres con cada vocal en el grupo de músculos IHI. Las líneas superiores a las gráficas que comparan dos grupos (verdes) corresponden a los grupos con diferencia significativa (P valor de 0.05).

**Gráfica 6.** Comparación de mujeres y hombres para los grupos musculares en la RMS.



a. Describe la media con la desviación estándar de la RMS de las mujeres con cada vocal y los hombres con cada vocal en el grupo de músculos MSH b. Describe la media con la desviación estándar de la RMS de las mujeres con cada vocal y los hombres con cada vocal en el grupo de músculos IHD c. Describe la media con la desviación estándar de la RMS de las mujeres con cada vocal y los hombres con cada vocal en el grupo de músculos IHI. Las líneas superiores a las gráficas que comparan dos grupos (verdes) corresponden a los grupos con diferencia significativa (P valor de 0.05).

## 4.2. Caracterización en frecuencia

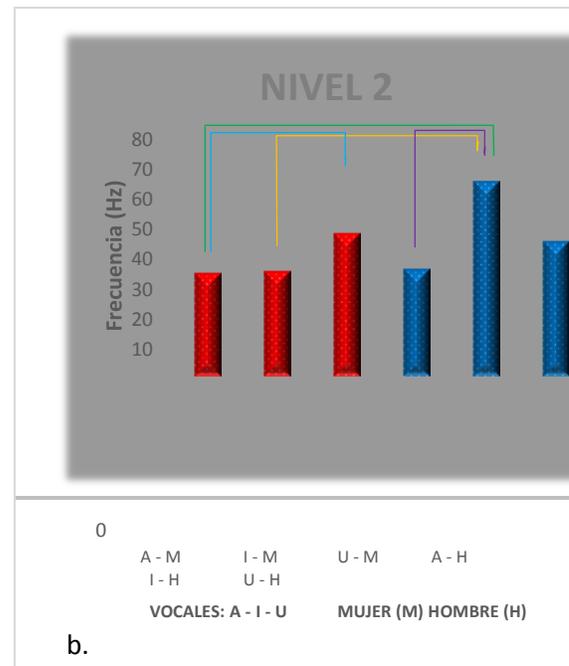
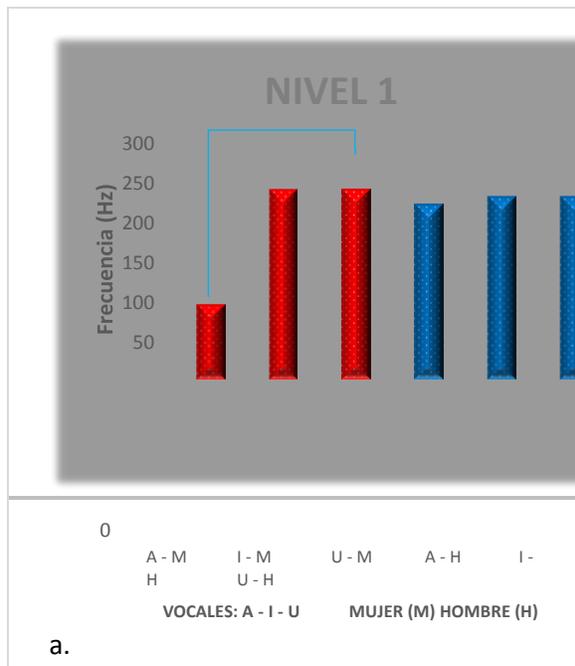
Para el análisis en tiempo, se aplicó la transformada de Wavelet (WT), obteniendo tres niveles de coeficientes, en el primer nivel se obtuvo una media de 173,62  $\mu\text{V}$  con desviación estándar de 259,01  $\mu\text{V}$ , un mínimo de 1,07  $\mu\text{V}$  y máximo de 810,65  $\mu\text{V}$ , en el segundo nivel se obtuvo una media de 33,80  $\mu\text{V}$  con desviación estándar de 37,12  $\mu\text{V}$ , un mínimo de 0,30  $\mu\text{V}$  y máximo de 218,00  $\mu\text{V}$  y en el tercer nivel se obtuvo una media de 26,094  $\mu\text{V}$  con desviación estándar de 39,02  $\mu\text{V}$ , un mínimo de 0,22  $\mu\text{V}$  y un máximo de 241,34  $\mu\text{V}$ . Al comparar estos datos por grupos de géneros musicales y por grupos musculares, no se tuvo diferencia significativa. Se realizó un análisis de comparación entre sexos y vocales resultando diferencias en los niveles 1 y 2, donde para los grupos (A - M) - (U - M) hay mayor actividad muscular para la vocal u con respecto a la i y para los grupos (A - M) - (I - H), (A - H) - (I - H), (I - M) - (I - H) se encontró mayor actividad muscular en la vocal i en el grupo de los hombres, visualizado en tabla 7 y gráfica 7.

**Tabla 7.** Comparación de vocales en mujeres y hombres para la característica en frecuencia nivel 1 y nivel 2.

TEST DE TUKEY		NIVEL 1			NIVEL 2		
GRUPOS	N	<i>p</i> valor	HSD	$\mu_1 - \mu_0$	<i>p</i> valor	HSD	$\mu_1 - \mu_0$
(A - M) - (U - M)	153	2,06-6*	85,1	144,73	1,1-5*	12,2	13,2
(A - M) - (I - H)	36		175,4	135,3		25,2	30,9
(A - H) - (I - H)	36		175,4	9,4		25,2	29,3
(I - M) - (I - H)	36		175,4	9,4		25,2	30,0

Para cada una de las características en tiempo se compararon los hombres (H) y las mujeres (M) (hombres con una  $n=36$  y mujeres con una  $n=153$ ) con las vocales /a/(A), /i/(I) y/u/(U). Se halló la diferencia de las medias de los dos grupos a comprar ( $\mu_1 - \mu_0$ ), si este valor fue mayor que la diferencia honestamente significativa (HDS) se determinó una diferencia significativa entre los grupos enfrentados. Cada uno de los colores corresponde a la comparación de los grupos enfrentados en las gráfica 7. \**p* valor menor 0,05

**Gráfica 7.** Comparación de mujeres y hombres para los grupos musculares en frecuencia niveles 1 y 2



a. En el nivel 1, donde las barras rojas corresponden a las mujeres con cada vocal y las azules a los hombres con cada vocal, b. En el nivel 2 donde las barras rojas pertenecen a las mujeres con cada vocal y las azules incumben a los hombres con cada vocal. Las líneas superiores que relacionan dos grupos donde indican la diferencia significativa entre cada grupo (P valor de 0.05).

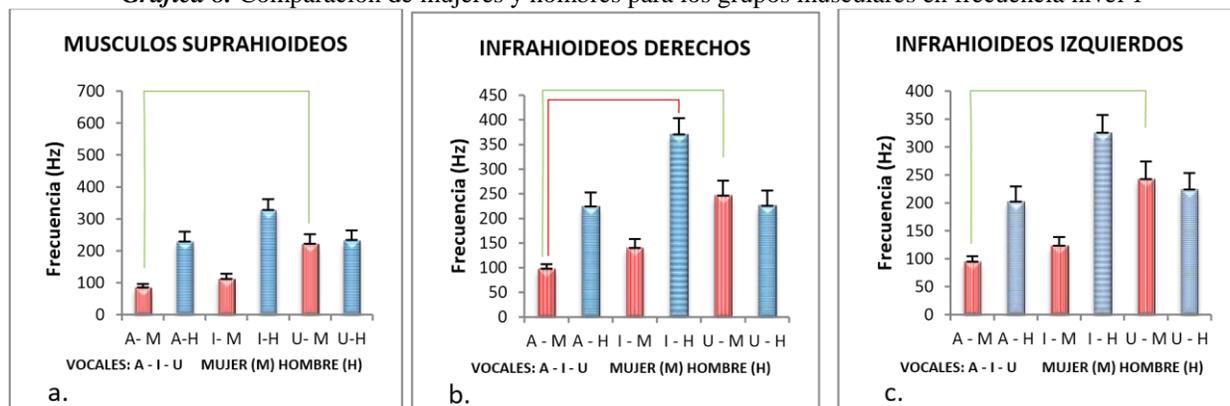
También se hizo comparación de sexos con vocales en cada grupo muscular, obteniendo mayor actividad muscular en la vocal u que en la i en el grupo de las mujeres en todos los grupos musculares, también en la vocal i de los hombres con respecto a la vocal a de las mujeres solo para los MIHD, todas las diferencias registradas en el nivel 1, se pueden observar en la tabla 6 y sus correspondientes gráficas 3, 4, 5 y 6;

**Tabla 8.** Comparación de mujeres, hombres y vocales para los grupos musculares en el nivel 1.

TEST DE TUKEY		NIVEL 1								
GRUPOS	N	MSH			MIHD			MIHI		
		p valor	HSD	$\mu_1 - \mu_0$		HSD	$\mu_1 - \mu_0$	HSD	$\mu_1 - \mu_0$	
(A - M) - (I - H)	36	0,0009*	265,9	-243,2	0,0006*	268,8	-272,4	0,0012*	263,6	-230,4
(A - M) - (U - M)	51		129	-137,4		130,4	-148,8		127,9	-148

Para cada una de las características en tiempo se tomaron tres grandes grupos que corresponden a los músculos infrahioideos derecho e izquierdo y suprahioideos, dentro de cada grupo se compararon los hombres (H) y las mujeres (M) (hombres con una n= 36 y mujeres con una n= 51) con las vocales /a/(A), /i/(I) y/u/(U). Se halló la diferencia de las medias de los dos grupos a comprar ( $\mu_1 - \mu_0$ ), si este valor fue mayor que la diferencia honestamente significativa (HDS) se determinó una diferencia significativa entre los grupos enfrentados. Cada uno de los colores corresponde a la comparación de los grupos enfrentados en las gráfica 8. \*p valor menor 0,05

**Gráfica 8.** Comparación de mujeres y hombres para los grupos musculares en frecuencia nivel 1



a. Describe la media con la desviación estándar en el nivel 1 de las mujeres con cada vocal y los hombres con cada vocal en el grupo de músculos MSH b. Describe la media con la desviación estándar en el nivel 1 de las mujeres con cada vocal y los hombres con cada vocal en el grupo de músculos IHD c. Describe la media con la desviación estándar en el nivel 1 de las mujeres con cada vocal y los hombres con cada vocal en el grupo de músculos IHI. Las líneas superiores a las gráficas que comparan dos grupos (verdes y rojas) corresponden a los grupos con diferencia significativa (P valor de 0.05).

Al observar los resultados comparando los grupos de las mujeres y los hombres con las vocales para: la energía, la integral, el RMS y el Valor Absoluto Medio VAM (ver tabla 5 y gráfica 2), se encuentran resultados similares; lo que traduce, en que se puede utilizar una u otra de las características en tiempo referenciadas en este estudio.

En general se encontraron diferencias en los registros al comparar la vocal abierta /a/ contra las vocales cerradas /i/ y /u/. Estos resultados se pueden correlacionar con el grado de apertura de la boca durante la ejecución de la actividad; recordando que para la emisión de la vocal a, hay una mayor apertura fisiológica con respecto a la vocal i y la u; anatómica y fisiológicamente interviene la actividad de los músculos supra e infrahioideos para el descenso o elevación de la mandíbula [40][23], que se correlacionan con los resultados obtenidos en este estudio. Es de resaltar que la

composición espectral de las vocales es diferente, aunque se utilice la misma escala musical en la ejecución cantada.

No se encuentra diferencia entre los grupos musculares (suprahioideos, infrahioideos derechos e izquierdos), fisiológicamente corresponde a una actividad simultánea para cualquier actividad [14], difiere de estudio descrito por [38], donde se encontraba mayor actividad muscular en los músculos suprahioideos izquierdos comparados con el de lado derecho de ese mismo grupo muscular [38].

Para las características de frecuencia obtenidas con la transformada de Wavelet, se encuentran diferencias significativas en el nivel 1 para las mujeres al comparar las vocales abiertas y cerradas, lo que continúa corroborando lo ya descrito sobre la intervención de los músculos extrínsecos de la laringe sobre el tipo de vocal emitida [40].

Algunas limitaciones que pudieron interferir en el resultado obtenido pueden estar relacionadas con las características propias de cada sujeto; estos tienen prácticas cantoras diferentes. Algunos cantantes presentaron dificultad para la ejecución de las actividades propuestas, por lo que se tuvieron que realizar diferentes registros sin el orden establecido en el protocolo. La limitada variedad de géneros musicales pudo ser causa de no encontrar diferencias entre las prácticas vocales estudiadas.

### 5. Conclusiones

Las condiciones inmersivas del trabajo en campo repercutieron en la implementación del protocolo desarrollado en el laboratorio; por lo tanto, fue necesario su re-ajuste y/o reacondicionamiento en consistencia con las dificultades enunciadas en los resultados. Ejercicios de precalentamiento vocal y entonación fueron modificados y/o adecuados al conocimiento empírico de los cantantes.

Las características derivadas del análisis en tiempo revelan diferencias significativas como: en las mujeres fue mayor la actividad muscular en la emisión de la vocal /u/ que en la emisión de la vocal /a/ inclusive al discriminar por grupos musculares, y fue mayor la actividad muscular en la emisión de la vocal /i/ en hombres respecto de la misma emisión de las mujeres. Otras comparaciones exploradas como entre los tipos de voces o entre grupos musculares, no aportaron diferencias significativas.

La selección adecuada del nivel de umbral en el análisis de cruces por cero es importante para la eliminación de ruido y favorecer el hallazgo de posibles diferencias significativas en el estudio.

Hallazgos producto de la aplicación de la DWT, exhiben diferencias significativas en la producción de la vocal /u/ y la producción de la vocal /a/ para las mujeres; diferencias también encontradas en el análisis temporal.

Los resultados de la aplicación de la DWT, muestran que las señales de EMGS discretas a partir del análisis del primer nivel difieren ampliamente de los del segundo nivel y tercer nivel de descomposición, para toda la población sin ningún tipo de discriminación; con la correspondiente diferenciación en la componente alta del nivel 1, por poseer mayor información y también composición de ruido. Es decir, la componente baja del nivel 1 que corresponden a las componentes de frecuencia fundamentales de las emisiones vocales cantadas, son similares en el análisis de los niveles 2 y 3, con la correspondiente diferencia asociada a las componentes de alta frecuencia ubicadas en la parte alta del nivel 1. Es evidente la semejanza o aproximación de los resultados con la separación iterativa de la señal original de EMGS; es decir en los niveles 2 y 3, en contraste con la diferencia entre las componentes alta y baja del nivel 1. La selección adecuada de los criterios de escalamiento y dilatación pueden garantizar mejora importante en la similitud de los datos de la componente baja, sin perder información importante o útil, y sin ampliar el gasto computacional de forma innecesaria. La componente alta del nivel 1 encierra las diferencias entre los sujetos; por lo cual, esta información no debe ser eliminada como estrategia de supresión de ruido o de información redundante.

Tras comparar los resultados obtenidos con la caracterización en frecuencia, se evidencia que la DWT, no aporta diferencias significativas para los grupos objeto de estudio en el análisis de ejecución de voz cantada en las componentes bajas.

La captura de EMGS en prácticas cantoras, permite diferenciar la actividad o reposo de los músculos extrínsecos que intervienen o participan en la emisión cantada; por lo tanto, facilitan la comprensión de la biomecánica dinámica y compleja de este tipo de voz.

Es necesario implementar pautas de distribución de los electrodos con criterios de adquisición bipolar de EMGS, para homogeneizar los procesos de captura de estas señales; debido a que, la literatura no exhibe un consenso o metodología ventajosa para la realización de estos procesos.

Las transformaciones realizadas para el procesamiento y análisis fueron necesarias para evitar redundancia (en apariencia, la ejecución de 1 segundo tendría la misma información que en 10 segundos); sin embargo, si se considera que la actividad del canto ofrece una dinámica compleja asociada a la expresión o género musical, con modulaciones a lo largo de la ejecución cantora, estas supuestas redundancias discriminadas en voz hablada en otros estudios no serían apropiadas para este tipo de investigaciones. Es decir, los tiempos de análisis deben superar el mínimo establecido en este estudio dadas las modificaciones del tono muscular durante las modulaciones propias de la actividad del canto.

Como trabajo futuro, se espera incluir un grupo más variado de cantantes vernáculos con diferentes expresiones musicales en la continuación del proyecto, para determinar si cada práctica

cantora muestra una actividad eléctrica característica de los músculos extrínsecos de la laringe. Además de aportar mayor investigación sobre el tema, y en particular con la construcción y la validación de protocolos reproducibles.

## Índice de tablas y gráficas

- 1. Figura 1.** Posición de electrodos en cuello: 1a. Fotografías de dos participantes, y 1b. Posición anatómica de los electrodos. **25**
- 2. Figura 2.** Secuencia y número de datos adquiridos. **28**
- 3. Figura 3.** Flujograma. **28**
- 4. Figura 4.** Selección y recorte de señales de EMGS en voz cantada. **31**
- 5. Figura 5.** Árbol de descomposición para tres niveles. **37**
- 6. Gráfica 1.** Distribución de los participantes: a. distribución de Santander, y b. distribución de Nariño. **22**
- 7. Gráfica 2.** Comparación de mujeres y hombres para las vocales en las características en tiempo. **44**

- 8. Gráfica 3.** Comparación de mujeres y hombres para los grupos musculares en la energía.  
46
- 9. Gráfica 4.** Comparación de mujeres y hombres para los grupos musculares en la integral.  
46
- 10. Gráfica 5.** Comparación de mujeres y hombres para los grupos musculares en VMA.  
47
- 11. Gráfica 6.** Comparación de mujeres y hombres para los grupos musculares en la RMS.  
47
- 12. Gráfica 7.** Comparación de mujeres y hombres para los grupos musculares en frecuencia niveles 1 y 2. 49
- 13. Gráfica 8.** Comparación de mujeres y hombres para los grupos musculares en frecuencia nivel 1. 50
- 14. Tabla 1.** Músculos suprahioideos, zona de origen inserción y acción. 12
- 15. Tabla 2.** Músculos infrahioideos, zona de origen inserción y acción. 12
- 16. Tabla 3.** Datos representativos de resultados de los estudios de Stepp et al. (2011) y Balata et al. (2015). 21
- 17. Tabla 4.** Ecuaciones utilizadas para el análisis con ANOVA 38
- 18. Tabla 5.** Comparación de vocales en mujeres y hombres para cada característica en tiempo. 43
- 19. Tabla 6.** Comparación de mujeres, hombres y vocales para los grupos musculares en las

características en tiempo. **45**

**20. Tabla 7.** Comparación de vocales en mujeres y hombres para la característica en frecuencia nivel 1 y nivel 2 **48**

**21. Tabla 8.** Comparación de mujeres, hombres y vocales para los grupos musculares en las características de frecuencia nivel 1 y 2. **49 Bibliografía**

[1]Balata, P., Silva, H., Pernambuco, A., Oliveira, J., & Moraes, S. (2015). Normalization patterns of the surface electromyographic signal in the phonation evaluation. *Journal of Voice*, 29(1), 129.e1-129.e8.

[2]Balata, P., Silva, H., Rocha, K., Pernambuco, L., & Arruda, S. (2013). Use of surface electromyography in phonation studies: an integrative review. *Int Arch Otorhinolaryngol*, 17(3), 329–339.

[3]Ballesteros, D. (Diciembre de 2004). Aplicación de la transformada de Wavelet discreta en el filtrado de señales bioeléctricas. *Umbral científico*, 5, 92-98.

[4]Blasco, C. (2000). Entre el folklore y la etnomusicología: 60 años de estudios sobre la música popular tradicional en Colombia. *Contratiempo-Revista de Música en la Cultura*, 11, 36-49.

[5]Burnett, A., Green, J., Netto, K., & Rodrigues, J. (2007). Examination of EMG normalisation methods for the study of the posterior and posterolateral neck muscles in healthy controls. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 17(5), 635-641.

- [6]Calderon, Y. (2018). *Caracterización del habla subvocal mediante electromiografía de laringe*. Bogotá: Fundación universitaria los libertadores.
- [7]Crespo, A., Kimaid, P., José, A., Júnior, M., & Wolf, A. (2015). Laryngeal Electromyography: Are the Results Reproducible? *Journal of Voice*, 29(4), 498-500.
- [8]DeLuca, C. (2006). Electromyography. En J. G. Webster, *Encyclopedia of Medical Devices and Instrumentation* (págs. 98-109). USA: Editorial Staff.
- [9]Ding, R., Larson, C., Logemann, J., & Rademaker, A. (2002). Surface electromyographic and electroglottographic studies in normal subjects under two swallow conditions: normal and during the Mendelsohn maneuver. *Dysphagia*, 17(1), 1-12.
- [10]Ferdjallah, M., & Wertsch, J. (1998). Anatomical and technical considerations in surface electromyography. *Phys Med Rehabil Clin N Am*, 9(4), 925-31.
- [11]García, I., & Gavilán, J. (2010). La voz cantada. *Acta Otorrinolaringológica Española*, 61(6), 441-451.
- [12]Gila, L., Malanda, A., Rodríguez, I., Rodríguez, J., & Navallas, J. (2009). Métodos de procesamiento y análisis de señales electromiográficas. *Anales del Sistema Sanitario de Navarra*, 32(3), 27-49.
- [13]Ginn, M. H. (2012). Normalization of EMG Signals: To Normalize or Not to Normalize and What to Normalize to? En M. H. Ginn, *Computational Intelligence in Electromyography Analysis – A Perspective on Current Applications and Future Challenges* (págs. 175 - 193 Chapter 7).

- [14]Hermens, H., Freriks, B., Disselhorst-Klug, C., & Rau, G. (2000). Development of recommendations for SEMG sensors and sensor. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 10(5), 361–374.
- [15]Herreros, C., & Clari, V. (2018). Voz cantada y Electromiografía de Superficie: Un estudio comparativo de la actividad muscular en cantantes formados y no formados. *Revista de Investigación en Logopedia*, 8(1).
- [16]Jean-YvesHogre. (2005). Clinical applications of surface electromyography in neuromuscular disorders. *Neurophysiologie Clinique/Clinical Neurophysiology*, 35(2-3), 59-71.
- [17]López, A., & Ruiz, A. (2015). Métodos Computacionales para el Reconocimiento de Patrones Mieléctricos en el Control de Exoesqueletos Robóticos: una Revisión. *Igeuan*, 3(5), 42 - 59.
- [18]Marieb, E. (2008). Sistema muscular. En E. Marieb, *Anatomía y Fisiología humana* (págs. 182 - 194). Madrid (España): PEARSON EDUCACIÓN, S. A.
- [19]Marqués, M., Fernández, S., Uzcanga, M., Ruba, D., & García-Tapia, R. (2006). Vibrato de la voz cantada. Caracterización acústica. *Revista de Medicina. Universidad de Navarra*, 50(3), 65-72.
- [20]Mesa, A. (2017). *Origen de la resonancia y articulación musical de la línea vocal cantada de las prácticas cantoras vernáculas de Argentina, Brazil y Colombia*. Bogotá: Propuesta de Investigación.

- [21]Mesin, L., Merletti, R., & Rainoldi, A. (2009). Surface EMG: The issue of electrode location. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 19(5), 719-726.
- [22]Miñana, C. (2009). Investigación sobre músicas indígenas en Colombia. Primera parte: un panorama regional. *A Contratiempo Revista de música en la cultura*, 13, 1-53.
- [23]Moore, K., Dalley, A., & Agur, A. (2013). Moore Anatomía con orientación clínica . En K. Moore, A. Dalley, & A. Agur, *Moore Anatomía con orientación clínica* (pág. 1002). Librería Central.
- [24]Musto, F., Rosatib, R., Sforza, C., Toma, M., & Dellavia, C. (2017). Standardised surface electromyography allows effective submental muscles assessment. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 34, 1-5.
- [25]Pettersen, V., & Westgaard, R. (2005). The activity patterns of neck muscles in professional classical singing. *Journal of Voice*, 19(2), 238-251.
- [26]Pinzón, R., Morales, D., & Grisales, V. (2009). Caracterización de señales electromiográficas para la discriminación de seis movimientos de la mano. *Scientia et Technica*, 42, 278 -283.
- [27]Portus, C. (2010). *Actividad emg bilateral de los músculos supra e infrahioides durante apriete y rechimiento dentario en sujetos sanos con guía canina o función de grupo.*

Obtenido de <http://repositorio.uchile.cl>:

<http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/133931/Actividad-EMG-bilateral-delos-m%C3%BAsculos-supra-e-inhrahio%C3%ADdeos-durante-apriete-y-rechinamientodentario.pdf?sequence=1>

- [28]Ramírez, A., & Garzón, D. (2008). Análisis de sensibilidad por la colocación de los electrodos en la electromiografía de superficie (semg). *Revista Facultad Ingenieria Universidad de Antioquia*, 46, 70-79.
- [29]Rau, G., Schulte, E., & Disselhorst-Klug, C. (Octubre de 2004). From cell to movement: to what answers does EMG really contribute? *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 14(5), 611-617. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1050641104000239?via%3Dihub>
- [30]Romo, H., Realpe, J., & Jojoa, P. (2017). Análisis de Señales EMG Superficiales y su Aplicación en Control de Prótesis de Mano . *Revista Avances en Sistemas e Informática*, 4(1), 127-136.
- [31]Seyyedeh, M., Talebian, S., Izadi, F., & Nakhostin, N. (2017). Validity and Reliability of Surface Electromyography in the Assessment of Primary Muscle Tension Dysphonia. *Journal of Voice*, 31(3), 386.e9-386.e17.
- [32]Slendy, D. (3 de Septiembre de 2015). *es.slideshare.net*. Obtenido de *es.slideshare.net*: <https://es.slideshare.net/DaySlendy1/musculos-suprahioideos-e-infrahioideos-52361583>
- [33]Sommerich, C., Joines, S., Hermans, V., & DMoon, S. (2000). Use of surface electromyography to estimate neck muscle activity. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 16(6), 377-398.
- [34]Sousa, A., & Tavares, J. (2012). Surface electromyographic amplitude normalization methods: a review. . *Electromyography: new developments, procedures and*

*applications., .*

- [35]Stegeman, D., & Hermens, H. (1999). *Standards for surface electromyography: the European project "Surface EMG for non-invasive assessment of muscles (SENIAM)"*.  
Obtenido de [www.seniam.org](http://www.seniam.org): <https://www.med.uni-jena.de/motorik/pdf/stegeman.pdf>
- [36]Stepp, C. (2012). Surface Electromyography for Speech and Swallowing Systems: Measurement, Analysis, and Interpretation. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 55, 1232-1246.
- [37]Stepp, C., Heaton, J., Givens, R., & Hillman, R. (2009). Use of neck and face surface electromyography for controlling a prosthetic voice after total laryngectomy. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng.*, 17(2), 146–155.
- [38]Stepp, C., Heaton, J., Stadelman-Cohen, T., Braden, M., Jetté, M., & Hillman, R. (2011). Characteristics of phonatory function in singers and non-singers with vocal fold nodules. *Journal of Voice*, 25(6), 714-724.
- [39]Stepp, C., T.Heaton, J., Braden, M., E.Jetté, M., Stadelman-Cohen, T., & E.Hillman, R. (2011). Comparison of Neck Tension Palpation Rating Systems With Surface Electromyographic and Acoustic Measures in Vocal Hyperfunction. *Journal of Voice*, 25(1), 67-75.
- [40]Torres, B. (2010). *Anatomia funcional de la voz*. Obtenido de [www.medicinadelcant.com](http://www.medicinadelcant.com):  
<http://www.medicinadelcant.com/cast/1.pdf>

[41]VanHoutte, E., Claeys, S., D'haeseleer, E., Wuyts, F., & VanLierde, K. (2013). An Examination of Surface EMG for the Assessment of Muscle Tension Dysphonia. *Journal of Voice*, 27(2), 177-186.

[42]Wayne, D. (2008). Bioestadística. En D. Wayne, *Análisis de la Varianza* (págs. 295 - 399).  
Limusa.

## Apéndice

### Apéndice A: Consentimiento Informado

#### CONSENTIMIENTO INFORMADO PARA TOMA DE SEÑALES DE ELECTROMIOGRAFÍA DE SUPERFICIE EN CUELLO

##### DATOS DEL PARTICIPANTE

NOMBRE COMPLETO: \_\_\_\_\_

IDENTIFICADO CON NÚMERO DE CÉDULA: \_\_\_\_\_

##### INFORMACIÓN GENERAL SOBRE EL PROCEDIMIENTO

El examen de electromiografía es un procedimiento que entrega información respecto a la de los músculos correspondientes, señalándome que el estudio de velocidad de conducción nerviosa corresponde a la estimulación de un nervio periférico con un impulso eléctrico obteniéndose la información necesaria sobre el funcionamiento de éste, y que el estudio de electromiografía es un examen invasivo donde se evalúa, puncionando con un electrodo de registro (tipo aguja), la actividad del músculo en reposo y durante un esfuerzo. Esta información permite estudiar un posible compromiso del músculo, secundario a un daño neurológico periférico o un daño primario de éste. Además, las únicas contraindicaciones para la realización del examen son el uso de marcapasos cardíaco y/o el tratamiento con anticoagulantes. El examen puede ser algo molesto y en cierta forma dolorosa según la zona donde se realice el estudio, dentro de las complicaciones que pueden presentarse para velocidad de conducción se ha descrito del aumento de la sensibilidad de la piel causada por los electrodos y para el caso de la electromiografía se han descrito algunas complicaciones tales como dolor, infección cutánea, equimosis y sangrado. Todas estas complicaciones ocurren en una baja frecuencia y este centro hospitalario cuenta con todos los recursos necesarios para intentar solucionarlas.

Habiendo tomado conocimiento de los riesgos y beneficios del procedimiento a realizar: DECLARO: Que, se ha garantizado mi derecho a realizar las preguntas acerca de los riesgos inherentes del procedimiento indicado, con lo cual dispongo de toda la información necesaria para dar mi consentimiento informado

CONSIENTO: Que se me realice una ELECTROMIOGRAFÍA DE SUPERFICIE DE CUELLO.

NOMBRE DE LA PERSONA QUE REALIZA EL PROCEDIMIENTO:

\_\_\_\_\_ FIRMA  
DEL PACIENTE Y/O HUELLA:

\_\_\_\_\_ TESTIGO:

\_\_\_\_\_

**Apéndice B: Protocolo para la captura y registro de señales de electromiografía superficial en los músculos supra e infrahioideos de la laringe**

**PROTOCOLO PARA LA CAPTURA Y REGISTRO DE SEÑALES DE ELECTROMIOGRAFÍA DE SUPERFICIE EN MÚSCULOS SUPRA E INFRAHIOIDEOS DEL CUELLO EN ACTIVIDADES DE VOZ CANTADA**

**PCREMGS-MSIH-AVC v.2.0.2018**

**FECHA DE ELABORACIÓN**

Este protocolo fue desarrollado entre Enero y Julio de 2017

**FECHA DE MODIFICACIÓN**

Este protocolo fue modificado en Mayo de 2018

**FECHA DE REVISIÓN**

Este protocolo fue desarrollado en Agosto de 2017

**AUTORES**

*Maira Lizeth Hurtado Leyton*

Médico, especialista en Epidemiología, estudiante de la maestría en Bioingeniería de la universidad Antonio Nariño y autora/investigadora de la tesis “CARACTERIZACIÓN ELECTROMIOGRÁFICA DE SUPERFICIE EN MÚSCULOS EXTRÍNSECOS LARÍNGEOS DE CANTANTES COLOMBIANOS”

## **REVISORES**

*Gustavo Rojas Medina*

Ingeniero Electrónico, especialista en Bioingeniería, coinvestigador participante del proyecto "ORIGEN DE LA RESONANCIA Y ARTICULACIÓN MUSICAL CARACTERÍSTICOS EN EL CANTO VERNÁCULO DE ARGENTINA, BRASIL Y COLOMBIA: Bases Empíricofenomenológicas para pensar en la posible peculiaridad del Canto Profesional Latinoamericano”.

## **CONFLICTO DE INTERÉS**

El autor y el revisor declaran no tener conflictos de interés en la elaboración/revisión de este protocolo.

## **INTRODUCCIÓN**

La electromiografía de superficie (EMGS) se ha utilizado para evaluar la actividad bioeléctrica de los músculos extrínsecos de la laringe en procesos motores como: la masticación, la deglución y con patologías relacionadas con la fonación. Pocos estudios han sido orientados a la evaluación de estos músculos en voz cantada y en especial con población específica cantante; por lo tanto, el estado actual de conocimiento sobre el uso de esta técnica para la evaluación de la actividad muscular referida durante la actividad de canto, es escasa.

En este sentido, las personas cantantes no cuentan con herramientas de mayor aplicación y énfasis de la EMGS, ni su uso como examen de rutina; en consecuencia, es necesario el diseño claro de un protocolo que permita obtener la captura y el registro de las señales de la musculatura de superficie en músculos extrínsecos e intrínsecos de cuello, realizar su caracterización (modelamiento) para este tipo de población cantante y establecer su variabilidad o diferencia cuantificada para usar como herramienta de contraste en géneros musicales y otros aspectos.

La construcción de este protocolo, se fundamenta en los estándares para la captura de electromiografía de superficie (SENIAM), concertados en el Programa Biomédico de Salud e Investigación (BIOMED II) de la Unión Europea.

## **DEFINICIÓN**

La captura y registro de señales de electromiografía de superficie (EMGS) en cuello, para actividades de voz cantada, consiste en la secuencia estructurada de pasos para obtener y almacenar la actividad bioeléctrica de los músculos suprahioideos (MSH) y los músculos infrahioideos (MIH) derechos e izquierdos del cuello, a partir de la postura de electrodos de superficie en las áreas que cubren dimensionalmente los músculos citados, y conectados a un bio-amplificador y sistema de filtrado, para aumentar la amplitud de la señal de EMGS y eliminar otras señales de ruido e interferencias; con el fin de almacenarlas por propósitos de estudios posteriores y/o consolidar una base de datos particular de uso analítico.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo General.**

Diseñar y elaborar un protocolo de captura y registro de señales de electromiografía de superficie en cuello, en actividades de voz cantada, para disminuir la incertidumbre en la adquisición de estas señales.

### **Objetivos Específicos**

1. Disminuir la tasa de error en la captura de señales de EMGS en el cuello.
2. Captar y transferir las señales de EMGS con la mayor fidelidad posible.
3. Manejar recursos y lenguaje unificado en la obtención y almacenamiento de EMGS.

## **ÁMBITO DE APLICACIÓN**

Este protocolo va dirigido a todos los profesionales que trabajan con análisis y procesamiento de señales, a profesionales de la voz y/o voz cantada, a profesionales de la salud, y/o a profesionales afines.

## **POBLACIÓN DIANA**

Los participantes o población a la que se le realizará el ejercicio, son cantantes de diferentes géneros musicales con diferentes niveles de formación y expresión artística.

## **PERSONAS QUE INTERVIENEN EN LA APLICACIÓN DEL PROTOCOLO**

1. Médico general y/o especialista en Otorrinolaringología.
2. Fonoaudiólogo.
3. Ingeniero, tecnólogo o técnico en electrónica, biomédica, en sonido o afín.
4. Musicólogo o afín.

## **MATERIALES Y EQUIPOS REQUERIDOS**

1. Fisiógrafo Power Lab con bioamplificador de 8 canales: equipo propiedad de la Universidad Antonio Nariño (UAN) y producido por la empresa ADInstruments.
2. Software de control labchart 7: herramienta programática para la configuración y operación del fisiógrafo utilizado para el registro de las señales. Este programa debe ser instalado en un computador con sistema operativo y capacidad de procesamiento compatible. Licencia activa propiedad de la UAN.
3. Electrodo o sensores/transductores: tamaño pediátrico de diámetro  $\leq 3$  cm, de superficie, desechables de plata - cloruro de plata (Ag-AgCl).

## **TÉRMINOS Y DEFINICIONES**

1. Electrodo de superficie: sensor/transductor, encargado de captar corrientes iónicas producidas por la actividad bioeléctrica muscular, y convertirla en corrientes electrónicas de similar comportamiento, para su posterior amplificación y filtrado.
2. EMG: electromiografía.
3. EMGS: electromiografía de superficie.
4. MIH: músculos infrahioides, ubicados debajo del hueso hioides, paralelos a la línea media del cuello anterior, a los lados de la prominencia del cartílago tiroideo.
5. MIHD: músculos infrahioides derechos, ubicados debajo del hueso hioides paralelos a la línea media del cuello anterior, al costado derecho de la prominencia del cartílago tiroideo.
6. MIHI: músculos infrahioides izquierdos, ubicados debajo del hueso hioides paralelos a la línea media del cuello anterior, al costado izquierdo de la prominencia del cartílago tiroideo.
7. MSH: músculos suprahioides, ubicados a nivel submandibular, paralelos a la línea media de cuello anterior, comprendida entre la protuberancia anteroinferior de la mandíbula y la escotadura yugular; y en su eje horizontal a nivel de los músculos digástricos y milohioides.

## **PROCEDIMIENTO**

La siguiente secuencia estructurada de fases corresponde al desarrollo del protocolo para la captura y registro de señales de EMGS de músculos del cuello en actividades de voz cantada objeto de la tesis “CARACTERIZACIÓN ELECTROMIOGRÁFICA DE SUPERFICIE EN MÚSCULOS EXTRÍNSECOS LARÍNGEOS DE CANTANTES COLOMBIANOS”.

### **Actividades de selección o inclusión de los cantantes.**

Los candidatos o sujetos diana se seleccionan bajo los siguientes criterios:

1. Ser mayores de edad.
2. Ser cantantes vernáculos en ejercicio de al menos una expresión o género musical de una región de un país latinoamericano.
3. Tener una práctica vocal mayor a cinco años de un género musical vernáculo específico.

### **Actividades de valoración de los cantantes.**

Aquí se establecen las disposiciones necesarias para garantizar la tipificación y determinar el estado general de los cantantes, para el cumplimiento de los objetivos.

1. Generar la historia clínica.
2. Determinar patologías de incidencia en la voz cantada, como criterio de exclusión.
3. Establecer incapacidades o dificultades para realizar las pruebas para el cumplimiento de los objetivos, como posible criterio de exclusión\*.
4. Valorar aspectos comportamentales y de exposición temporal a prácticas que alteren la naturaleza original de la expresión musical, como posible criterio de exclusión.

### **Preparación de los materiales y/o equipos**

Los equipos e insumos deben estar dispuestos para la realización de la actividad de medida y registro, en las siguientes etapas.

1. Comprobar la presencia del material y/o equipos requeridos.
2. Conectar y encender el fisiógrafo.
3. Configurar y/o ajustar las variables de captura con el programa Labchart 7.
  - a. Seleccionar los canales de adquisición.
  - b. Seleccionar la amplitud o la sensibilidad de trabajo ( $\mu\text{V}$  para este caso).
  - c. Seleccionar el formato de captura en modo unipolar o bipolar. Preferido el bipolar por reducir la interferencia por actividad de otros músculos cercanos.
  - d. Ajustar los filtros necesarios para limitar la banda de trabajo (filtro pasa banda o pasa alto). Típicamente filtro pasa alto de 10 Hz o 20 Hz, o filtro pasa banda de 10 o 20 Hz a 500 Hz o 1kHz.
  - e. Ajustar los filtros necesarios para eliminar o reducir, los ruidos e interferencias que puedan afectar la captura y el registro de las señales de EMGS. Por ejemplo filtro Notch a 60 Hz (frecuencia de la red eléctrica en Colombia) para eliminar o reducir los efectos de la red eléctrica de alimentación del sistema de adquisición.
  - f. Seleccionar la frecuencia de muestreo de la señal a adquirir. Considerar evitar el aliasing o el criterio de Nyquist para esta selección. Para los casos mencionados una  $f_s \geq 1 \text{ kHz}$  o  $f_s \geq 2 \text{ kHz}$  ( $f_s \geq 2 f_{\text{máx}}$  de la señal a adquirir).
4. Crear la carpeta o archivo de registro.
5. Conectar los electrodos en las terminales de adquisición del fisiógrafo.
6. Realizar nuevos ajustes de ser necesario, como la opción de autoescala.
7. Disponer de ser necesario para la observación y seguimiento durante el registro, de velocidad de visualización y ventanas de observación espectral, con el propósito de verificar el progreso de la adquisición.
8. Utilizar de forma opcional un canal adicional, para adquirir voz con la ayuda de un micrófono y que sirva de referencia para la adquisición de las señales de EMGS.

## **Preparación de los participantes**

Aquí se desarrollan el preámbulo de la ejecución del instrumento.

1. Informar a los participantes de forma previa en qué consiste el procedimiento y las tareas a ejecutar por este.
2. Resolver dudas o preguntas de los cantantes seleccionados.
3. Firmar el consentimiento informado por parte de los cantantes diana.
4. Liberar completamente de vello corporal (rasurado u otra técnica), las áreas donde se alojarán los electrodos (el cuello en este caso), para evitar interferencias por mal contacto entre el electrodo y la piel.
5. Limpiar las zonas del cuello despejadas o liberadas de vello, con gasa o algodón más alcohol etílico al 70%.

## **Ejecución**

### ***Disposición del sujeto de prueba (cantante)***

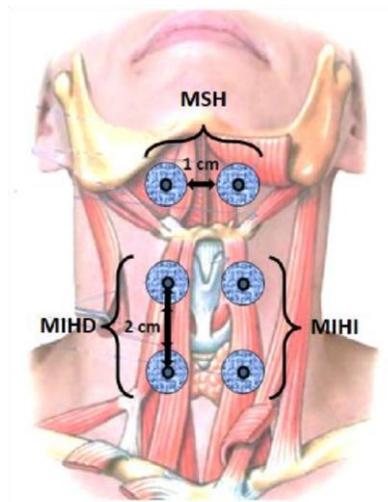
El cantante seleccionado se encontrará en bipedestación, cabeza y cuello erectos, con extremidades superiores que caen extendidos a los lados del cuerpo. Se le solicita el menor movimiento posible durante la ejecución de las tareas para la captura o toma de la señal y el registro de los datos obtenidos.

### ***Posicionado de los electrodos***

1. Electrodo de los MSH: se ubicarán dos electrodos pediátricos de superficie en la región submandibular, separados (sus bordes) entre sí 1 cm, paralelos a la línea media de cuello anterior, comprendida entre la protuberancia anteroinferior de la mandíbula y la escotadura yugular; y en su eje horizontal a nivel de los músculos digástricos y milohioideos (considerados el piso de la boca).
2. Electrodo de los MIH: se ubicarán cuatro electrodos pediátricos de superficie sobre la superficie del cuello anterior, paralelos a la línea media, a 1 cm de la prominencia del cartílago tiroideo; dos de ellos en el eje horizontal izquierdo para los MIHI, y los otros dos en el eje horizontal derecho para los MIHD, con separación entre cada par de electrodos de a 2 centímetros con relación a la porción central de cada electrodo.
3. Los electrodos se conectan con los cables extensores; sus terminales se unen con los conectores de los canales seleccionados en el fisiógrafo. El cantante estará de espaldas al fisiógrafo.
4. Los cables son fijados con cinta de enmascarar o similar a los hombros del cantante y extendidos hacia la parte posterior o espalda.

La ubicación de estos electrodos es evidenciada en la siguiente figura.

**Figura 1.** Posición de electrodos en cuello. Tomada de <http://es.slideshare.net/AlexRamrez2/repaso-deosteomuscular> y modificada por el autor.



### **Adquisición de la señal.**

Realizar la captura de las señales producto de la actividad bioeléctrica de los músculos del cuello durante la ejecución de tareas de voz cantada, en la siguiente secuencia.

1. Normalización: realizar con correspondencia a la contracción máxima muscular dada con la ejecución de la vocal /a/ en voz plena. Con este ejercicio, ajuste al pico máximo alcanzado en nivel de microvoltios ( $\mu\text{V}$ ) la sensibilidad en el fisiógrafo.
2. Ejecutar las acciones numeradas en el siguiente apartado (Actividades que realizar).
3. Adquirir y almacenar de forma secuencial las señales de EMGS, con el cuidado de guardar los archivos en formatos útiles para procedimientos siguientes y con nombres que describan con claridad el origen de los registros.
  - a. Verificar que las señales están siendo adquiridas por el fisiógrafo.
  - b. Verificar el inicio y final del registro de las mismas.
  - c. Detener la grabación.
  - d. Segmentar las señales adquiridas de ser necesario.
  - e. Almacenar la información en formatos de archivo .mat, .txt u otros útiles para el procesamiento posterior de ellas, con nombres apropiados para el acceso rápido.
  - f. Iniciar una nueva captura de señales correspondiente a una nueva actividad.

Aunque el objeto de este estudio no fue o no tuvo relación con patologías de voz cantada o no cantada, el proceso estructurado desarrollado, incluyó la ejecución de diferentes voces (tenue, falsete y plena), en tiempos determinados y con vocales específicas (/a/, /i/ y /u/). De esta forma el método aplicado en el registro de las señales de EMGS de uso común y repetido con los sujetos de

prueba, contó con un orden dado o explicado en los siguientes apartados y en general en este documento.

### ***Actividades que realizar***

Se realizan ejercicios de calentamiento de las estructuras fonatorias y actividades de entonación.

1. Se ejecutarán diferentes técnicas vocales con una única composición que contiene melodía sin texto, con las vocales /a//i//u/; no se tendrá en cuenta la duración por cada registro, ya que la capacidad pulmonar de cada participante es diferente. En una secuencia establecida *a priori*, se solicitará al participante que emita la composición con los tipos de voz cantada leve, falsete y plena en la siguiente secuencia:

- a. Emitir en voz leve la vocal /a/ en las condiciones mencionadas con anterioridad.
- b. Emitir en voz falsete la vocal /a/ en las condiciones mencionadas con anterioridad.
- c. Emitir en voz plena la vocal /a/ en las condiciones mencionadas con anterioridad.
- d. Emitir en voz leve la vocal /i/ en las condiciones mencionadas con anterioridad.
- e. Emitir en voz falsete la vocal /i/ en las condiciones mencionadas con anterioridad.
- f. Emitir en voz plena la vocal /i/ en las condiciones mencionadas con anterioridad.
- g. Emitir en voz leve la vocal /u/ en las condiciones mencionadas con anterioridad.
- h. Emitir en voz falsete la vocal /u/ en las condiciones mencionadas con anterioridad.
- i. Emitir en voz plena la vocal /u/ en las condiciones mencionadas con anterioridad.

### ***Disposiciones finales***

Una vez colectadas y almacenadas todas las señales, se procede a:

1. Desconectar los cables del sujeto cantante, ubicados entre los electrodos y fisiógrafo.
2. Retirar los electrodos del cantante de forma manual.
3. Limpiar el área de contacto de los electrodos con la piel, con gasa o algodón más alcohol etílico al 70%.
4. Actualizar de ser necesaria información en el dispositivo de almacenamiento.
5. Desconectar los equipos de adquisición.

### ***Precauciones***

1. Cautela por posibles reacciones alérgicas en la piel del cuello a los materiales de los electrodos y/o el alcohol de limpieza.
2. Cautela por posibles lesiones por movimientos exagerados con los cables de adquisición.
3. Cautela por posible riesgo eléctrico por inadecuada acometida eléctrica o cables del sistema de adquisición.

## EVALUACIÓN

Verificar y responder si fue satisfactoria cada una de las adquisiciones para cada cantante.

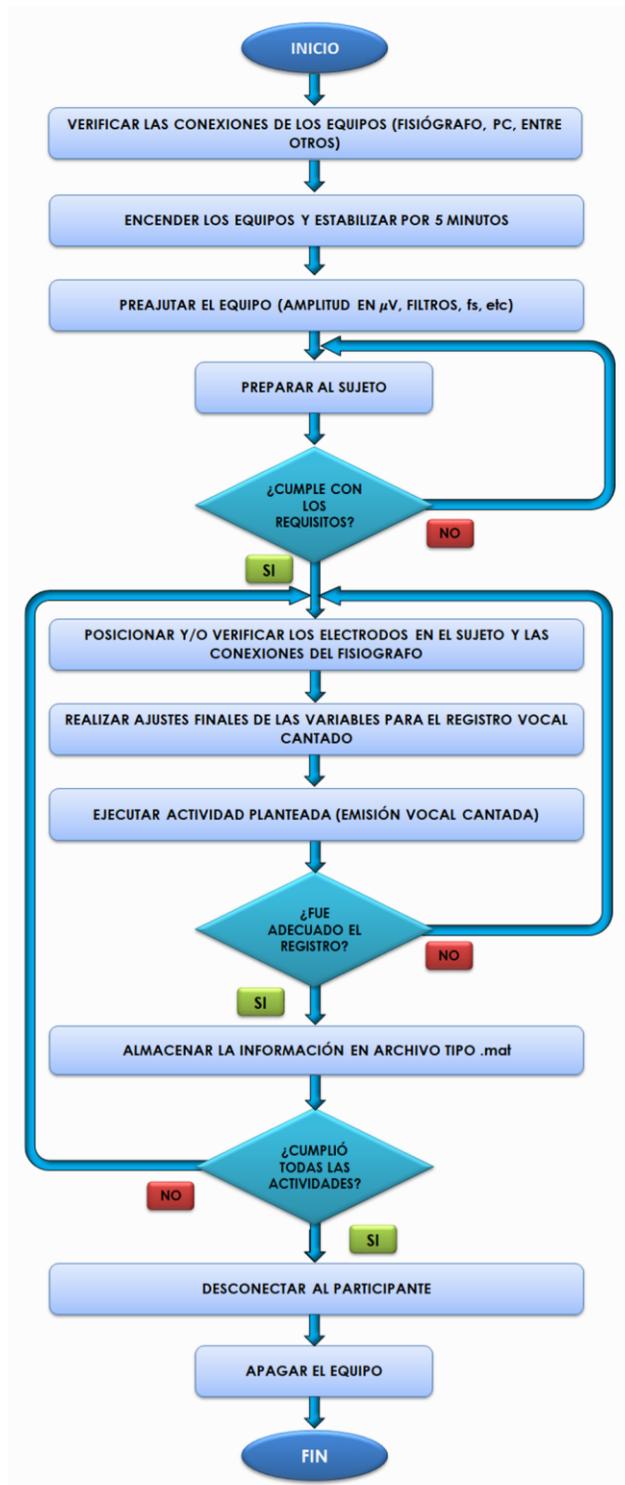
1. ¿Es suficiente o adecuado el tiempo de ejecución en relación con la adquisición de la señal para cada tarea?
2. ¿Cada una de las señales adquiridas es de calidad?
3. ¿Se logró el cumplimiento de todas las actividades?
4. ¿Se registró y almacenó toda la información adquirida?
5. ¿Se garantizó la integridad de la información adquirida y almacenada?
6. ¿Se realizaron de forma adecuada los procedimientos de adquisición y registro?
7. ¿Fue suficiente la información adquirida y registrada?
8. ¿La secuencia y frecuencia de toma de datos fue adecuada?.

## ANEXOS

### *Flujograma*

El siguiente diagrama de flujo muestra de forma general, el procedimiento in la selección y evaluación previa de los sujetos o cantantes objeto de estudio para la adquisición y registro de las señales de EMGS de los músculos del cuello en actividades de voz cantada.

**Figura 3.** *Flujograma. Elaborado por el autor*



\* Este aspecto fue incluido debido a que por aspectos o consideraciones no patológicas algunos cantantes no emitieron voz cantada por más de 1 segundo, causando limitación en la posibilidad de análisis posterior.