

## COMPORTAMIENTO DE LOS FORMATES VOCALES RESPECTO A LA APERTURA MANDIBULAR Y EL GÉNERO\*

Carmen Cecilia Latorre Latorre\*\*  
Institución Universitaria Iberoamericana

Fecha de recepción: Agosto de 2007  
Fecha de aprobación: Marzo de 2008

### Resumen

Este estudio determinó el efecto que tiene la apertura mandibular y la condición de género sobre los formantes vocales 1 y 2 en fonación sostenida, basado en una muestra no probabilística cautiva de la Institución Universitaria Iberoamericana, conformada por un grupo de 31 sujetos, 15 mujeres y 16 hombres adultos, con voz normal y sin entrenamiento vocal, en un rango de edad entre 18 y 45 años. Las muestras fueron procesadas por el Visi Pitch III 3900, programa Sona match. Mediante estudios estadísticos, se realizó un análisis de varianza de una vía, así como comparaciones post hoc, encontrando que existen diferencias significativas al variar la Magnitud de Apertura Mandibular (M.A.M.) en el F1, mas no en el F2. También se evidenciaron diferencias significativas en ellos según la condición de género, presentándose más variaciones en mujeres que en hombres, al usar mayores aperturas mandibulares. Estos hallazgos soportan el efecto acústico que tienen sobre los formantes, las técnicas terapéuticas y pedagógicas que involucran apertura mandibular, y sugieren considerar el género en su implementación.

**Palabras clave:** Formantes vocales, apertura mandibular, fonación, Visi Pitch y género.

## BEHAVIOR OF THE VOCAL FORMATES ACCORDING TO THE JAW OPENING AND THE KIND\*

### Abstract

This study determined the effect that has the jaw opening and the condition of kind on the vocal formants 1 and 2 in maintained fonation, based on a not probabilistic sample captive on the "Institución Universitaria Iberoamericana", conformed by a group of 31 subjects, 15 women and 16 adult men, with normal voice and without vocal training, in a rank of age between 18 and 45 years. The samples were processed by the VISI PITCH III 3900, program Sounds match. Through statistical studies, an

\* Investigación premiada con el segundo puesto por el comité científico del premio Luis Hernando Ramírez Collazos a la Investigación en Fonoaudiología versión 5 año 2008. Desarrollada al interior del grupo de estudios de la comunicación interpersonal en la línea de desarrollo y competencia comunicativa.

\*\* Docente de la Corporación Universitaria Iberoamericana. cecialatorre1@hotmail.com

analysis was carried out a one way varianza, as well as post hoc comparisons, finding that exist significant differences upon varying the magnitude of jaw opening (MAM) in the F1, but not in the F2. Also they were shown significant differences in them according to the condition of kind, presented more variations in women that in men, upon using greater jaw openings. These finds supports the acoustic effect that have on the formants, the pedagogical and therapeutic techniques that involve opening jaw, and they suggest considering the kind in their implementation.

**Keywords:** vocal Formants, mandibular opening, fonation, VISI PITCH and genere

## INTRODUCCIÓN

En el campo de la reeducación y pedagogía vocal, se han aplicado una serie de técnicas referenciadas en la literatura especializada, que buscan obtener modificaciones en el timbre y la resonancia, tanto de la voz hablada como de la voz cantada, a partir de lograr una mayor apertura oral y de modificar la posición de los órganos articuladores. Con el desarrollo de diversos laboratorios computarizados de voz, se puede en la actualidad, realizar una medición cuantitativa de los resultados de tales prácticas en términos de frecuencia y energía de los sonidos emitidos. Estas mediciones arrojan información acústica de lo que ocurre tanto a nivel glótico como supra glótico, pudiendo cuantificar la frecuencia fundamental y la frecuencia de los formantes vocálicos, responsables en gran medida del timbre resultante.

Dentro del conocimiento que se tiene en la actualidad frente a éste tema, cabe mencionar que el resultado acústico de los formantes vocálicos juegan un papel importante en la naturalidad e inteligibilidad del habla, y están en directa relación con la actividad articuladora. Las frecuencias de los formantes permiten identificar acústicamente el fonema vocálico, y contribuyen a matizar el sonido dándole la particularidad que en música se denomina el color.

Sin embargo, en determinadas condiciones de la voz hablada, el color no responde a una búsqueda estética consciente, si no a alteraciones en la postura de

los órganos articuladores y a modificaciones en la configuración del tracto vocal, que pueden llegar a constituirse en trastornos de la resonancia oral; Prater (1996) menciona al respecto que se puede encontrar una calidad de voz débil y afeminada relacionada con una postura adelantada de lengua, y resonancias en “fondo de saco” asociadas a una postura de lengua ubicada en la parte posterior de la cavidad oral. Igualmente, hace mención a alteraciones de medida y elasticidad de la faringe que pueden resultar en una resonancia vocal áspera llamada estridencia. Estas posturas influyen directamente en la frecuencia de los formantes vocálicos al modificar la configuración de las cavidades faríngea y oral, sitios en que típicamente se producen los formantes vocálicos 1 y 2. En estos casos suele haber falta de disociación de los órganos fonoarticuladores (OFA), y restricción de los movimientos mandibulares durante el habla.

Adicionalmente, las mediciones espectrales de los formantes en voces patológicas, se consideran particularmente promisorias como indicadores del estado glótico; específicamente, las diferencias en la amplitud del primero y segundo armónico y de las amplitudes de los armónicos ubicadas en el primera segunda y tercera frecuencia de los formantes, son útiles para cuantificar el grado de aducción glótica y la percepción de voces veladas y constreñidas en individuos con parálisis vocal unilateral y nódulos. Una amplitud de la energía en el armónico 2 se asocia con contención, ruptura en la voz y timbre áspero; mien-

tras que un armónico 1 dominante, se asocia con una fonación velada cuando hay una configuración glótica abierta en fonación, al igual que con la asimetría en la apertura y cierre glótico. Otro estudio realizado en disfonía espasmódica muestra que existen diferencias en las amplitudes entre las voces normales y las patológicas, permitiendo establecer niveles de severidad, y que llevó a afirmar que estas medidas son sensibles al grado de tensión en la aducción de los pliegues vocales. En pacientes laringectomizados, se ha encontrado que las vocales se producen con frecuencias más altas en los formantes, y con duraciones más largas que en el grupo de sujetos con laringe.

Para tratar algunos de éstos problemas de resonancia y de voz se han propuesto técnicas que involucran descenso mandibular, como la de la masticación, creada por Froeschel y citada por autores como Prater (1996), y Arias & Menaldi (2002), quienes sostienen que al masticar involucrando movimientos amplios de la mandíbula y la base de la lengua se logra liberar la musculatura intrínseca, controlando así la hiperfunción laríngea; Boone (1983), al describir el enfoque de la boca abierta dice: Estimular al paciente a que desarrolle una mayor apertura oral reducirá a menudo la hiperfunción vocal generalizada. El enfoque de boca abierta promueve ajustes más naturales de tamaño, masa y una mejor aproximación de las cuerdas vocales, lo cual ayuda en problemas de altura, tono y cualidad” (p. 149-150). Es de esperarse que con la modificación del volumen de la cavidad oral al bajar la mandíbula, también se presenten variaciones en la calidad y frecuencia de los formantes, constituyéndose dicha actividad en una técnica que en el conjunto de procedimientos de intervención pueden favorecer la calidad del sonido vocal.

Técnicas similares se aplican en el campo de la pedagogía vocal, en el cual se encuentran entre otras la referencia de Seidner (1982): “... el cantante tiene que aprender a regular el espacio sonoro de su cavi-

dad de emisión de manera tan óptima, como para crear condiciones de resonancia particularmente favorables...” (p. 101). También la de Chun (1995): “Como regla general, abra más la garganta y la boca para las notas fuertes y altas y un poco menos para las notas suaves”, (p. 72). Si los fundamentos teóricos y los criterios que orientan dichos ejercicios son imprecisos o errados, se podría causar un impacto negativo en la calidad vocal de los usuarios del área, y prolongar intervenciones ineficaces con elevados costos a nivel económico y humano.

Frente a las técnicas que involucran un amplio descenso mandibular, difundidas en la literatura y en las rutinas de pedagogos y terapeutas vocales, no se han encontrado muchas investigaciones en la voz hablada normal, que con mediciones objetivas corroboren el efecto de tales ejercicios, ni se ha descrito suficientemente el efecto de la postura mandibular sobre los formantes vocálicos. La mayoría de estudios encontrados sobre el fenómeno aquí expuesto se centran en la voz cantada. Dentro de dichos estudios resulta importante considerar lo que han planteado autores como: Cleveland (1977), Sundeberg (1973), Ericsson (2004), un estudio en niños realizado por Bennett (1981), otros en sopranos llevados a cabo por Joliveau, Smith & Wolfe (2004), Lindblom, Sundberg y Skoog (1973); Johansson, Sundberg & Wilbrand (1885), Berndtsson & Sundberg (1995), así como la información consignada por Quilis & Hernández (1990) en manuales de fonética acústica.

En la enseñanza del canto, la mayoría de pedagogos aún confían en la señal perceptual para determinar el registro de la voz de los cantantes, la cual depende en parte de la frecuencia de los formantes. La incidencia de la posición de los articuladores en los formantes es verificada en el estudio de Bennett (1981) realizado en niños, en el que los formantes vocálicos en varones de 7 y 8 años mostró valores más bajos que en las niñas, sugiriendo que las diferencias se presentaron porque los niños usaron una apertura mandibular más pequeña, labios más redondeados

y/o una posición laríngea más baja. En sopranos se ha encontrado que en el registro agudo, la identificación de la vocal es más difícil cuando la frecuencia fundamental ( $F_0$ ) está más separada de las frecuencias de los formantes, cuando éstas frecuencias se aproximan a la  $F_0$ , el timbre y la intensidad varían menos. A las sopranos se les enseña a descender la mandíbula o a sonreír cuando ascienden en la escala; ambas acciones incrementan la apertura mandibular, lo cual aumenta las frecuencias reforzadas en la resonancia dificultando la identificación de las palabras producidas en tonos agudos.

Se ha visto también que el formante uno ( $F_1$ ) puede elevarse a una frecuencia más alta que la de la  $F_0$  cuando se requiere alcanzar tonos muy agudos, lo cual se logra con una mayor apertura mandibular. Estudios han mostrado como las sopranos al producir la vocal /a/, amplían la apertura mandibular al subir el tono, a medida que la  $F_0$  se aproxima a la frecuencia del  $F_1$ . Para otras vocales como la /e/ y /o/, también se ha visto que la mayoría de sujetos también incrementan la apertura mandibular cuando el canto se ubica cerca de 5 semitonos por encima de la frecuencia del  $F_1$ . El objetivo de esta estrategia articuladora es mantener el  $F_1$  más alto que la  $F_0$ , lo cual incrementa el nivel de la salida del sonido sin que dicho incremento se de a expensas de un esfuerzo vocal, sin embargo, existe una gran variabilidad entre los cantantes respecto al uso de la apertura mandibular, así mientras en algunos cantantes la /u/ se da con una apertura de 25 mm, en otros la apertura es de 5 mm para la misma vocal debido a la variabilidad en las técnicas de canto.

Otros articuladores también influyen en la frecuencia de los formantes, así, el descenso de la laringe y el incremento en la redondez de los labios alargan el tracto vocal causando una disminución de todos los formantes; se ha encontrado que el formante 2 de las vocales posteriores /o, u/ es sensible a la redondez de labios y al cambio del cuerpo de la lengua hacia abajo en el tracto vocal, causando que  $F_1$  suba y  $F_2$  baje en todas las vocales. A nivel perceptual el regis-

tro de la voz cantada, se ha relacionado más con la frecuencia de los formantes y la longitud del tracto vocal que con la fuente de diferencias espectrales producidas a nivel glótico, así, oyentes experimentados logran predecir la posición de la mandíbula de acuerdo al estímulo percibido, cuando  $F_1$  se eleva con el tono o  $F_0$ , mientras que los formantes 2, 3, y 4 se mantienen constantes.

A partir de los antecedentes referidos previamente, ésta investigación se plantea como objetivo general, determinar el efecto que tiene la magnitud de apertura mandibular y la condición de género sobre los formantes vocales 1 y 2 en fonación sostenida, en adultos jóvenes sin entrenamiento vocal que posean voz normal.

Las variables consideradas en el presente estudio son formantes vocálicos, apertura mandibular y género. Con respecto a la primera, los formantes vocales son los armónicos más importantes de cada vocal, reforzado por el resonador producido el cual a la vez que refuerza unos armónicos, apaga o filtra los demás por el mecanismo fisiológico, o aparato articulador, el cual a la vez que refuerza unos armónicos, apaga o filtra los demás. Por otra parte, los armónicos son múltiplos exactos de la frecuencia vibratoria del tono fundamental dada a nivel glótico y se representan por “n” vibraciones por segundo del tono fundamental. En otras palabras, los formantes son el conjunto de frecuencias características del timbre de una vocal. En el español, las vocales se caracterizan por una estructura formántica, y una mayor concentración de energía en las regiones comprendidas entre los 300 y los 500 Hz aproximadamente. Todos los fonemas vocálicos tienen en el primer formante una gran parte de su energía total, la cual disminuye notablemente en las frecuencias altas, aunque esta disminución es menor que la que sufre los demás formantes.

Desde la perspectiva acústica, lo que diferencia a una vocal de otra es la distinta estructuración de sus armónicos; de todos los armónicos producidos a nivel

glótico, serán reforzados sólo aquellos cuyas frecuencias coincidan con las frecuencias de resonancia de las distintas cavidades del conducto vocal, las cuales son modificadas por las posiciones que adoptan los órganos articuladores en la producción de cada vocal. Las posiciones de los articuladores, afecta los formantes vocálicos, existiendo una relación directa entre la altura del F1 y la abertura de la cavidad oral; cuanto más alta es la frecuencia de F1 mayor es la abertura de la cavidad y a la inversa (la frecuencia del F1 de la /a/ es la más alta por ser la vocal más abierta). Por otra parte, cuanto más anterior y alta sea la ubicación de la lengua, más alta será la frecuencia del F2, y viceversa (el F2 de la /i/ es el de mayor frecuencia debido a la posición anterior y alta de la lengua requerida en su articulación, y el F2 de la /u/ es el de menor frecuencia por la posición más posterior adoptada por la lengua en su articulación). Finalmente, cuanto mayor sea el redondeamiento de los labios, más baja será la frecuencia del F2 y viceversa. En cuanto al F3 se encuentra que existe una relación directa entre la elevación frecuencial del mismo y el descenso del velo del paladar, como cuando se nasaliza una vocal.

La operacionalización de esta variable, se realizará por medio del programa sona match y sus presentaciones linear predictive coding (LPC) y carta de vocales, produciendo cada una de las vocales de forma sostenida durante 3 segundos, mientras son procesadas por los programas. Estos programas, arrojan datos cuantitativos en Hz del formante 1, formante 2 y en algunos casos del formante 3, por lo cual este último no se incluirá como objeto del estudio. Por otra parte, la magnitud de apertura mandibular es la distancia considerada entre los bordes incisales superior e inferior. La magnitud de apertura máxima normal de un sujeto es de 40 mm, considerándose anormal o patológica una apertura que no sobrepase los 30 mm. Las variables que se controlarán en el estudio son: intensidad, edad cronológica, carácter de voz normal, no tener entrenamiento vocal previo, distancia del micrófono a la boca y postura durante el registro de la muestra.

## ASPECTOS METODOLÓGICOS

### *Sujetos*

Se seleccionó una muestra no probabilística cautiva de la Corporación Universitaria Iberoamericana, conformada por un grupo de 31 sujetos, 15 mujeres y 16 hombres adultos, con voz normal y sin entrenamiento vocal, en un rango de edad entre 18 y 45 años.

### *Instrumentos*

Para medir la variable dependiente, la Fo, se usó el Visi Pitch Sona Match III 3900 de Key Elemetrics Corporation, el cual emplea un software para realizar el procesamiento de las muestras, ampliamente usado en investigación. La muestra para este estudio se tomó en el programa Sona Match, que despliega una respuesta de frecuencias de la configuración tracto vocal durante la producción de las vocales, presentando el despliegue y análisis de los datos en dos formas: modo de carta de vocales, y el modo de respuesta de frecuencias, que emplea el análisis de algoritmos llamado código predictivo lineal (LPC), el cual despliegan una gráfica en tiempo real de la producción vocal, indicando frecuencia (Hz) y energía en dB de cada formante. Para controlar la variable independiente: Magnitud de apertura mandibular, se emplearon para cada sujeto tres topes cilíndricos de pasta, con medidas de 10mm, 25mm, 40mm, colocados entre los bordes incisales superior e inferior.

### *Procedimiento*

Una vez se seleccionó la muestra, constatando que los sujetos cumplieran con los requerimientos previstos para el estudio, y tras obtener su consentimiento informado por escrito, se aplicó un protocolo de evaluación para determinar la condición de normalidad en la voz. En éste registro se incluyó el resultado de la medición acústica de las cualidades vocales, aplicando el programa Multi dimensional Voice Program

(MDVP). Dentro de las pruebas consideradas se registró la medición de la Fo empleada en una muestra de habla espontánea tomada en el protocolo de evaluación del RTP, y considerada como tono habitual de cada uno de los participantes. La muestra se tomo en posición sedente con alineamiento ortostático, ubicando el micrófono a 10cm de la boca en angulación de 45° respecto a la barbilla, ésta distancia fue controlada uniendo al micrófono dos barras fijas cuyos extremos opuestos debían contactar la cara del sujeto.

Se procedió entonces a colocar entre los bordes incisales uno de los tres bloques de mordida (de 10, 25 y 40 mm) escogidos al azar, y se le solicitó a la persona emitir una /a/ sostenida, muestra que se repitió 3 veces y fue procesada en el programa sona match en la presentación LPC, en la cual se muestran los formantes 1 y 2 en forma simultánea durante la emisión de cada vocal, las cuales fueron emitidas en forma consecutiva.

Posteriormente, y con el mismo tope se repitió la prueba en la presentación de carta de vocales del sona match. Este mismo procedimiento se repitió inmediatamente después con los otros dos bloques de mordida restantes consideradas en el estudio. El proceso tuvo una duración aproximada de 20 minutos por persona. Finalmente, las medidas de las variables se llevaron a una planilla de registro general y se organizaron de acuerdo al diseño para hacer su respectivo análisis estadístico.

### Análisis

De acuerdo al manejo de variables se utilizó un diseño cuasi experimental particularizando en el factorial dos por tres (género con dos niveles: masculino y femenino; magnitud de la apertura con, tres niveles: 10mm, 25mm y 40mm, en el que se tuvieron en cuenta los efectos principales y el de interacción.

Teniendo en cuenta la medición de las variables, y las implicaciones estadísticas pertinentes, se toma la de-

terminación de trabajar desde la estadística paramétrica dado que, tras aplicar la prueba de Kolmogorov – Smirnov para determinar la distribución de las variables, se encuentran que éstas presentan una distribución normal. El procedimiento aplicado se basó en el análisis de la varianza de una vía, prueba t student, así como en comparaciones post hoc.

## RESULTADOS

En el planteamiento de hipótesis se trabajó con un alfa de 0.05 para todas. En la tabla 1 se presenta el resultado de la Anova de una vía en el cual se pretende evidenciar la influencia de la magnitud de apertura mandíbula (10, 25 y 40 mm) sobre F1; se encuentra un p value de 0.0017 siendo este menor que el alfa propuesto por lo cual se rechaza hipótesis nula.

**Tabla 1.** Influencia de AM sobre F1

N	F	$\alpha$	PV
31	6.48	0.05	0.0017

R Ho

*Nota:* N (número); F (estadístico F de Fisher);  $\alpha$  (nivel de confianza); PV (probabilidad, nivel de significancia).

La prueba post hoc indica que hay diferencias entre la apertura de 10mm y 25mm y entre la de 25 y 40mm, como se muestra en la tabla 2.

**Tabla 2.** Mínimas diferencias significativas entre 3 aperturas en F1

Comparación	Diferencias
10 – 25 mm	- 38.8065
10 – 40 mm	* - 86.8323
25 – 40 mm	* - 48.0258

*Nota:* Los asteriscos indican presencia de diferencias significativas.

En los resultados que se encuentran en la tabla 3 se presenta el resultado de la Anova de una vía en el cual se pretende evidenciar la influencia de la magnitud de apertura mandíbula (10, 25 y 40 mm) sobre el

formante 2; se encuentra un p value de 0.5796 siendo este mayor que el alfa propuesto por lo cual no hay suficiente evidencia para rechazar hipótesis nula.

**Tabla 3.** Influencia de AM sobre F2

N	F	$\alpha$	PV
31	0.55	0.05	0.5796

NR Ho

En los resultados que se encuentran en la tabla 4 se presenta el resultado de la Anova de una vía en el cual se pretende evidenciar la influencia de la magnitud de apertura mandíbula (10, 25 y 40 mm) sobre el formante 1 en mujeres; se encuentra un p value de 0.0008 siendo este menor que el alfa propuesto por lo cual se rechaza hipótesis nula.

**Tabla 4.** Influencia de AM sobre F1 en mujeres

N	F	$\alpha$	PV
15	7.33	0.05	0.0008

R Ho

La prueba post hoc indica que hay diferencias entre las apertura de 10 mm y 40 mm, y entre las de 25 mm y 40mm, más no en la más pequeña entre 10 y 25 mm, como se muestra en la tabla 5.

**Tabla 5.** Mínimas diferencias significativas entre 3 aperturas en F1 en mujeres

Comparación	Diferencias
10–25 mm	- 31.3467
10–40 mm	* - 109.747
25–40 mm	* - 78.4

En los resultados que se encuentran en la tabla 6 se presenta el resultado de la Anova de una vía en la cual se pretende evidenciar la influencia de la magnitud de apertura mandíbula (10, 25 y 40 mm) sobre el formante 2 en mujeres; se encuentra un p value de

0.4856 siendo este mayor que el alfa propuesto por lo cual no hay suficiente evidencia para rechazar hipótesis nula.

**Tabla 6.** Influencia de AM sobre F2 en mujeres.

N	F	$\alpha$	PV
15	0.72	0.05	0.4856

NR Ho

En la tabla 7 se presenta el resultado de la Anova de una vía en la cual se pretende evidenciar la influencia de la magnitud de apertura mandíbula (10, 25 y 40 mm) sobre el formante 1 en hombres; se encuentra un p value de 0.1966 siendo este mayor que el alfa propuesto por lo cual no hay suficiente evidencia para rechazar hipótesis nula.

**Tabla 7.** Influencia de AM sobre F1 en hombres.

N	F	$\alpha$	PV
16	1.64	0.05	0.1966

NR Ho

En la tabla 8 se presenta el resultado de la Anova de una vía en la cual se pretende evidenciar la influencia de la magnitud de apertura mandíbula (10, 25 y 40 mm) sobre el formante 2 en hombres; se encuentra un p value de 0.3020 siendo este mayor que el alfa propuesto por lo cual no hay suficiente evidencia para rechazar hipótesis nula.

**Tabla 8.** Influencia de AM sobre F2 en hombres.

N	F	$\alpha$	PV
16	1.20	0.05	0.3020

NR Ho

En la tabla 9 se presenta el resultado de la prueba t de student, en el cual se pretende evidenciar la diferencia en los formantes vocales 1 y 2 según la condición de género; se encuentra un p value de

0.000458799, siendo este menor que el alfa propuesto por lo cual se rechaza hipótesis nula.

**Tabla 9.** Diferencia en los formantes vocales según la condición de género.

N	F	$\alpha$	PV
31	-4.5018	0.05	0.000458799

R Ho

Para el F1 de /a/ se encontró un p value de 0.038 < á por lo cual se rechaza hipótesis nula. La prueba post hoc indica que hay diferencias entre las apertura de 10mm y 25mm y las de 10 mm y 40 mm, más no entre las de 25 y 40 mm, como se muestra en la tabla 10.

**Tabla 10.** Mínimas diferencias significativas entre 3 aperturas en F1 de /a/

Comparación	Diferencias
10–25 mm	* - 0.5864
10–40 mm	* - 67.54
25–40 mm	- 8.90

En el anova que mira la influencia de la apertura mandibular sobre el F1 de /e/ se encontró un p value de 0.0000... < á por lo cual se rechaza hipótesis nula. La prueba post hoc indica que hay diferencias entre las aperturas mandibulares de 10mm y 40mm, y de 25mm y 40 mm, mas no entre 10 y 25mm, como se muestra en la tabla 11.

**Tabla 11.** Mínimas diferencias significativas entre 3 aperturas en F1 de /e/

Comparación	Diferencias
10–25 mm	- 20.77
10–40 mm	* - 141.77
25–40 mm	* - 121

En el anova que mira la influencia de la apertura mandibular sobre el F1 de /i/ se encontró un p value de 0.000...1 < á por lo cual se rechaza hipótesis nula.

La prueba post hoc indica que hay diferencias significativas entre las tres aperturas consideradas (10mm, 25 y 40mm) como se observa en la tabla 15.

**Tabla 15.** Mínimas diferencias significativas entre 3 aperturas en F1 de /i/

Comparación	Diferencias
10–25 mm	* -52.80
10–25 mm	* - 183.16
25–40 mm	* - 130.35

Para el F1 de /o/ se encontró un p value de 0.41 > á propuesto, por lo cual se acepta hipótesis nula. Para el F1 de /u/ se encontró un p value de 0.6813 > á propuesto, por lo cual se acepta hipótesis nula.

Tras aplicar el anova una vía para determinar la influencia de la apertura mandibular sobre el formante 2 (F2) de las vocales se encuentran los siguientes resultados: Para el F2 de /a/ se encontró un p value de 0.96 > á propuesto, por lo cual se acepta hipótesis nula. Para el F2 de /e/ se encontró un p value de 0.010 < á propuesto, por lo cual se rechaza hipótesis nula. La prueba post hoc indica que hay diferencias significativas entre las aperturas mandibulares de 10 y 40mm, y 40 y 25mm, mas no entre 10 y 25mm. como se observa en la tabla 16.

**Tabla 16.** Mínimas diferencias significativas entre 3 aperturas en F2 de /e/

Comparación	Diferencias
10–25 mm	- 27.35
10–40 mm	* - 180.58
25–40 mm	* - 207.93

Para el F2 de /i/ se encontró un p value de 0.0000...1 < á propuesto, por lo cual se rechaza hipótesis nula. La prueba post hoc indica que hay diferencias significativas entre las tres aperturas consideradas (10mm, 25 y 40mm) como se muestra en la tabla 17.

**Tabla 17.** Mínimas diferencias significativas entre 3 aperturas en F2 de /i/

Comparación	Diferencias
10–25 mm	* 255.87
10–40 mm	* 474.45
25–40 mm	* 218.58

Para el F2 de /o/ se encontró un p value de 0.0424 < á propuesto, por lo cual se rechaza hipótesis nula. La prueba post hoc indica que solo hay diferencias significativas entre las aperturas mandibulares de 10 y 25mm. como se muestra en la tabla 18.

**Tabla 18.** Mínimas diferencias significativas entre 3 aperturas en F2 de /o/

Comparación	Diferencias
10–25 mm	* 71.35
10–40 mm	36.87
25–40 mm	- 34.48

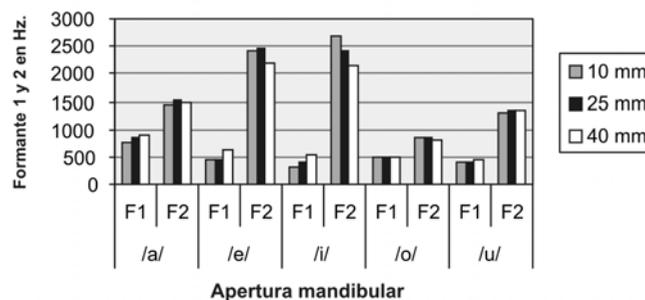
Para el F2 de /u/ se encontró un p value de 0.9533 > á propuesto, por lo cual se acepta hipótesis nula.

En la tabla 19 se presentan los promedios de los formantes vocales 1 y 2 en mujeres. Se observa como en general el formante 1 va aumentando en la medida en que se amplía la apertura oral, siendo más inconsistente la respuesta en el formante 2, como se puede observar en la figura 1.

**Tabla 19.** Promedio de formantes vocales F1 y F2 en mujeres.

A.M.	Fo	/a/		/e/		/i/		/o/		/u/	
		F1	F2	F1	F2	F1	F2	F1	F2	F1	F2
10	201	778.8	1441.93	443.533	2415.8	314.267	2693.3	474.33	866.4	410.53	1291.46
25	201	842.538	1515.46	458.462	2446.23	397.692	2398.9	485.92	835.15	382.15	1349.08
40	201	874.867	1497.8	615.867	2209.8	536.533	2165.7	495.13	823.47	447.8	1330.2

**Comparación formantes 1 y 2 en mujeres**



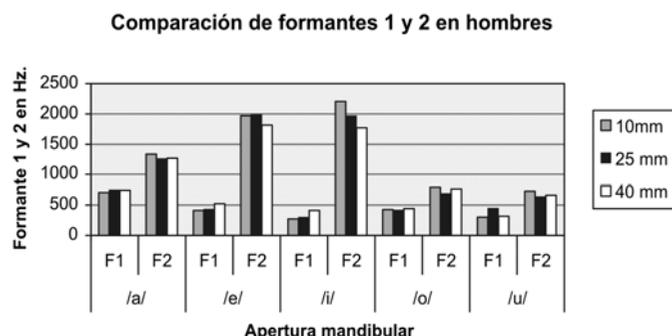
*Figura 1.* Graficación de promedio de los formante 1 y 2 de cada vocal de acuerdo a la apertura mandibular en el grupo de 15 mujeres.

En la tabla 20 se presentan los promedios de los formantes vocales 1 y 2 en hombres. Se observa como el formante 1 va aumentando en las vocales /e/

i, o/ en la medida en que se amplía la apertura oral, mientras que el formante 2 no se modifica al ampliar la apertura mandibular. Véase figura la figura 2.

**Tabla 20.** Promedio de formantes vocales F1 y F2 en hombres.

A.M.	Fo	/a/		/e/		/i/		/o/		/u/	
		F1	F2	F1	F2	F1	F2	F1	F2	F1	F2
10	122	709.1	1338	412.4	1972	269.6	2203	428.7	794.2	302.1	730
25	122	749.1	1262	4324	1991	301	1970	417.8	696.7	450.3	641.1
40	122	746.6	1265	523.9	1816	415.5	1769	444.9	769.2	313.8	665.6



*Figura 2.* Graficación de promedios de los formante 1 y 2 de cada vocal de acuerdo a la apertura mandibular en el grupo de 16 hombres.

## Discusión

Este estudio indagó sobre el efecto que tiene la magnitud de la apertura mandibular y la condición de género en los formantes vocálicos 1 y 2 en una modalidad de fonación sostenida, en personas sin entrenamiento vocal y con una cualidad de voz normal, partiendo de los presupuestos existentes en la literatura frente a que las modificaciones en la postura de los órganos fonoarticuladores inciden sobre la frecuencia de los formantes.

En los resultados de éste trabajo se encuentra que existen diferencias significativas en el F1 al variar la aperturas mandibular (MAM) llevándola de 10 a 40 mm y entre 25 - 40 mm; estos mismos resultados se

presentan en el grupo de las mujeres para el F1, pero no así en los hombres, en quienes no se encontraron diferencias significativas al variar la MAM en ninguno de los rangos considerados en el estudio. Tampoco se encontraron diferencias significativas en el F2 al variar la MAM, ni en el grupo de las mujeres, ni en grupo de los hombres. Sin embargo, debido a las variaciones que se producen en el F1 en mujeres, se encontró que existen diferencias significativas en el comportamiento de los formantes respecto a la MAM según la condición de género.

Al analizar el comportamiento de los formante en cada vocal al variar la apertura mandibular, se encontró que existen diferencias significativas en el F1 de la /a/ en aperturas pequeñas (10 – 25 mm) y grandes (10

– 40 mm), más no en variaciones de amplitud entre 25 y 40 mm; observando que la frecuencia aumenta alrededor de 2 semitonos (96Hz) a medida que se amplía la apertura mandibular. Con la /e/ se da una respuesta similar para el F1, sólo que en ella la diferencia se presenta sólo en aperturas de entre 10 – 40 mm y entre 25-40 mm, subiendo la frecuencia del formante alrededor de 5 semitonos (173Hz). En la /i/ se vio un aumento 10 semitonos (222 Hz) de la frecuencia de F1 en todas las magnitudes de apertura consideradas aquí. Finalmente en la /o/ y la /u/, no se evidenciaron diferencias significativas en el F1 al modificar la MAM.

En el F2 las modificaciones de la frecuencia se presentaron menos que en el F1. Así, no se presentaron diferencias significativas en el F2 al variar la MAM ni en la /a/, ni en la /u/ en ninguna de las aperturas consideradas, sin embargo en las otras vocales sí. El comportamiento del F2 de la /e/ presentó diferencias significativas en la MAM con distancias de 10 – 40 mm y de 25 a 40 mm, sólo que en el F2, a diferencia del F1, la frecuencia del formante baja en lugar de subir, descendiendo 236Hz en mujeres y 175Hz en hombres al pasar de la MAM de 25 mm a la de 40 mm. Lo mismo ocurre con la vocal /i/ en el F2, es decir, presenta diferencias significativas al modificar la MAM, bajando la frecuencia de F2 en 527Hz en mujeres y 434Hz en hombres al pasar de una apertura de 10 mm a una de 40mm. En la /o/ sólo se encontró una diferencia significativa en la apertura mandibular más pequeña, entre 10-25 mm, observándose un descenso de 39Hz en mujeres y de 64Hz en hombres.

Los hallazgos de esta investigación, están en consonancia con algunas de las aseveraciones de varios de los autores aquí referidos, como Boone (1983), Prater (1996) y Arias (1995) entre otros, respecto a que el uso de técnicas terapéuticas que involucran descenso mandibular, pueden contribuir a modificar algunos problemas de altura, tono y cualidad, al encontrar variaciones significativas en los formantes vocales a

partir de cambiar la magnitud de apertura mandibular, sólo que los resultados del presente estudio especifican las vocales en se dan los cambios más dramáticos, encontrando que la /i/ principalmente y la /e/, presentan más variaciones en ambos formantes respecto a la apertura mandibular que las demás vocales; este hallazgo plantea la posibilidad de realizar algunos ajustes durante el trabajo con dichas técnicas, incluyendo en su práctica la emisión de los fonemas antes citados, de acuerdo a las necesidades y objetivos del caso, para poder obtener así resultados terapéuticos efectivos en menor tiempo. Igualmente, se esperaría que dichas técnicas tuvieran un impacto mayor en las mujeres que en los hombres, pues según los hallazgos aquí reportados, en las mujeres la modificación de los formantes respecto a la apertura mandibular alcanza a ser significativa, mientras que en los hombres no se da esta misma respuesta. Sin embargo, este comportamiento ameritaría un estudio más riguroso en torno a las técnicas de rehabilitación que involucren descenso mandibular, incluyendo en ellos el género y el tipo de fonema utilizado como variables.

Respecto al comportamiento de la frecuencia del F1 en relación a la MAM, se existe un acuerdo entre los hallazgos aquí consignados con las declaraciones de Lindblom & Sundberg (1971), en torno a que el F1 puede elevar su frecuencia gracias al empleo de una mayor apertura mandibular; y con las declaraciones de Cheng (1992), quien sin referir el porqué de la técnica, sugiere ampliar la apertura oral para alcanzar los tonos más agudos. El uso efectivo de ésta técnica también fue corroborado por Johansson, Sundberg & Wilbrand (1985) en sopranos con la emisión de la /a/, y por Sundberg y Skoogen (1997) en que incluye además la /o/ y la /e/, observando que cuando la Fo estuvo cerca o sobrepasó el F1, se dio una mayor apertura mandibular. Los hallazgos de éste estudio contribuyen por tanto en el campo de la pedagogía vocal, al brindar evidencia parcial sobre la efectividad de la técnica de descenso mandibular para mejorar la emisión de los registros agudos, al ilustrar

como este fenómeno se da gracias a la elevación de la frecuencia del F1. Ésta técnica sería más efectiva al aplicarse en mujeres que en hombres, acorde a los resultados obtenidos aquí.

Por otra parte, se observó en éste estudio que el F2 descendió su frecuencia a medida que se fue ampliando la apertura mandibular en las vocales /e, i, o/, en las cuales se encontraron diferencias significativas al modificar al MAM. Éste resultado y el comportamiento del F2 coincide con lo reportado por Lindblom & Sundberg (1971), más no con las declaraciones de Erickson (2004), quien señala que el F1 se eleva junto con la frecuencia fundamental, mientras que los F2, F3, y F4 se mantienen constantes; sin embargo, estas divergencias pueden deberse a las diferencias de propósitos, población y métodos empleados en los dos estudios.

Con respecto a las expectativas en torno a los hallazgos del estudio, no hay grandes sorpresas, pues los resultados permiten rechazar muchas de las hipótesis nulas planteadas en el mismo, pero por otra parte, surgen algunos cuestionamientos en torno al ¿por qué la diferencia de comportamiento de los formantes en hombres y en mujeres, en relación con las variaciones en la MAM?, inquietud para la cual no se plantea posibles respuestas en este estudio, y la cual amerita una aproximación más formal a través de otros trabajos de investigación. Igualmente, y aunque algunos estudios han situado la diferencia en el comportamiento del F1 y F2 ascendiendo su frecuencia el primero y descendiendo el segundo a medida que se amplía la apertura mandibular, estos no han explicado el por qué de dicho comportamiento. Una posible explicación se relaciona con la modificación que sufren de manera refleja los órganos articuladores al ir aumentando la apertura oral, pues es sabido que la posición de la lengua particularmente modifica los volúmenes de las áreas posterior y anterior del tracto vocal durante la producción de las vocales, espacios en los que se refuerzan las frecuencias de los Formantes 1 y 2 respectivamente. La orofaringe por

lo general tiene un volumen mayor reforzando en ella los armónicos graves, mientras que la cavidad oral, más pequeña, refuerza los armónicos agudos. Esta relación de volúmenes de las cavidades y postura de la lengua se ilustra claramente en el comportamiento de los formantes de las vocales cerradas. En este estudio por ejemplo, se observaron cambios significativos con todas las aperturas en el F1 de la /i/ elevándola, lo cual sugiere que el espacio de la orofaringe disminuyó al descender la mandíbula por retracción de la lengua, mientras que el espacio de la cavidad oral se aumento por la misma retracción lingual descendiendo el F2. Sin embargo, estas modificaciones en los volúmenes de las cavidades no fueron suficientes para producir variaciones en la frecuencia de F1 y F2 de la vocal cerrada /u/ al variar la apertura mandibular, sugiriendo que tal vez otros articuladores como los labios jueguen un papel más determinante en el comportamiento formántico de ésta vocal. Se requiere por tanto de otros estudios que corroboren o nieguen esto, y que expliquen por qué sólo se presentan diferencias en el F1 y no en el F2 al variar la apertura mandibular.

Finalmente, cabe anotar que este trabajo se realizó a partir de una muestra en el tono habitual de sujetos sin entrenamiento vocal y con voz normal, y por tanto los hallazgos sobre el comportamiento de los formantes y la apertura mandibular no se pueden hacer extensivos a otros registros usados en el canto, ni a voces patológicas en que existen otras variables a considerar.

Los resultados de este trabajo deben verse con precaución, por que la muestra analizada consistió en emisiones en fonación sostenida, y las modificaciones que sufren los formantes vocálicos secundarias a la dinámica de los órganos fonarticuladores durante en el habla conectada son más complejas, por lo cual estudios emprendidos en modalidad de habla conectada puede llegar a controvertir los hallazgos de esta investigación. Es importante desarrollar trabajos similares a este pero con muestras

de habla conectada, para comparar el comportamiento de los formantes en ambas modalidades, y tener una visión más amplia del fenómeno acústico aquí investigado.

Adicionalmente, cabe mencionar que la muestra para este estudio se tomó en un espacio que aunque no era muy ruidoso, no contaba con condiciones de insonorización, lo cual pudo contaminar la muestra en alguna medida, afectando así los resultados.

## CONCLUSIONES

A partir de los hallazgos de la presente investigación se puede concluir que:

Existen diferencias en el comportamiento de los formantes según la condición de género al variar la MAM, observándose más modificaciones en los formantes de las mujeres que en los de los hombres.

Existen diferencias significativas en el F1 al variar la MAM, más no en el F2.

La frecuencia del F1 y el F2 se comporta diferente al variar la MAM: F1 sube al ir aumentando la apertura mandibular en la /a, e, i/, mientras F2 baja al ir aumentando la apertura en las vocales en que se encontraron diferencias significativas /e, i, u/.

La /i/ es el fonema vocal en que más variaciones se evidenciaron, presentándose cambios en ambos formantes con todas las aperturas mandibulares. Mientras que la /u/, fue el único fonema vocal que no presentó variación en ninguno de los formantes con las variaciones de MAM.

Se presentan más variaciones en los formantes con aperturas mandibulares amplias: distancias de 25 y 40 mm.

## REFERENCIAS

- Arias, C. & Menaldi, J. (2002). *La Voz Patológica*. Buenos Aires. Panamericana.
- Bennett, S. (1981). Vowel formant frequency characteristics of preadolescents males and females. *J. Acoust soc. am.* 69: 231-238.
- Berndtsson, G. & Sundberg, J. (1995). Perceptual significance of the center frequency of the singer's formant. *Scand J. Logop Phoniatr.* 20: 35-41.
- Boone, D. (1983). *La voz y el tratamiento de sus alteraciones*. Buenos Aires. Panamericana
- Cannitto M., Buder E., & Chorna L., (2004). Spectral amplitude measures of adductor spasmodic dysphonic speech. *J. Voice* V. 19, N° 3: 391-409.
- Cervera, T., Miralles, J., González, J. (2001). Acoustical Analysis of Spanish vowels produced by laryngectomized subjects. *Journal of speech, language, and hearing research*. Vol. 44 988-996.
- Cleveland, T. (1977). Acoustic Properties of voice timbre types and their influence on Voice Classification. *J. Acoustic Soc. Am.* 61: 1622-1629.
- Chun, Tao-Cheng, S. (1995). *El Tao de la Voz*. Gaia. Pág. 72.
- Erickson, M. (2004). The interaction of formant Frequency and Pitch in the perception of Voice Category and Jaw Opening in Female Singers. *J. Voice.* 18: 1; 24-37.
- Hanson, H., (1997). Glottal characteristics of female and speakers: acoustic correlates. *J. Acoustic soc. am.*: 101 (2): 466-481.

- Henrich, N., d' Alessandro C., Doval B. (2001). Spectral correlates of voice open quotient and glottal flow asymmetry: theory, limits and experimental data. *Paper presented at EUROSPEECH' 01*. Denmark.
- Johansson, C., Sundberg, J., & Wilbrand, H. (1985). X-ray Study of articulation and formant frequencies in two female singers. Proc of SMAC 83:I. Stockholm: *Royal Swedish Academy of Music, Publication* . 46: 203-18.
- Joliveau, E., Smith, J., & Wolfe, J. (2004). Acoustic: tuning of vocal tract resonance by sopranos. *Ear & Hearing*. 26 5:424-434, october.
- Lindblom, B., Sundemberg, J. (1971). Acoustical consequences of lip, tongue, jaw, and larynx movement. *J. Acoust Soc Am*; 50:1166-79.
- Prater, R. & Swift, R. (1996). *Manual de Terapéutica de la Voz*. Barcelona, Masson.
- Seidner, Wolfram (1982). *La Voz del Cantante*. Berlín. Henschel. p. 76-7.
- Sundberg, J. (1973). The Source Spectrum in Professional Singing. *Folia Phoniatr*. 25: 71-90.
- Sundberg, J. & Skoog, J. (1997). Dependence of Jaw Opening on Pitch and Vowel in Singers. *J. Voice*. 11: 3 301-306.
- Quillis, A. & Hernández, C. (1990). *Lingüística española aplicada a la terapia del lenguaje*. Madrid. Greidos.