

**UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE MEDICINA  
ESCUELA DE POSTGRADO**



**RELACIÓN ENTRE LA GEOMETRÍA NASAL Y LAS CARACTERÍSTICAS ESPECTRALES  
DE CONSONANTES NAALES Y VOALES NASALIZADAS EN ADULTOS CHILENOS**

**LUIS FELIPE INOSTROZA ALLENDE**

**TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE  
MAGISTER EN FISIOLÓGÍA**

Director de Tesis: Prof. Dr. Mario Claudio Penna Varela

**2020**

**UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE MEDICINA  
ESCUELA DE POSTGRADO**

**INFORME DE APROBACION TESIS DE MAGISTER**

**Se informa a la Comisión de Grados Académicos de la Facultad de Medicina, que la Tesis de Magister presentada por el candidato**

**LUIS FELIPE INOSTROZA ALLENDE**

**ha sido aprobada por la Comisión Informante de Tesis como requisito para optar al Grado de Magister en Fisiología en el Examen de Defensa de Tesis rendido el día 14 de agosto de 2020.**

**Prof. Dr. Mario Claudio Penna Varela  
Director de Tesis  
Instituto de Ciencias Biomédicas  
Universidad de Chile**

**COMISION INFORMANTE DE TESIS**

**Prof. Dr. Rodolfo Nazar Saffie**

**Prof. Dra. Pía Villanueva Bianchini**

**Prof. Dr. Domingo Román Montes de Oca**

**Prof. Dr. Paul Délano Reyes  
Presidente Comisión**

*A mis queridos padres, Carmen y Luis*

## AGRADECIMIENTOS

Inicio, agradeciendo a mi Director de Tesis, Dr. Mario Penna, por recibirme en su laboratorio, escuchar muy atentamente mis ideas e inquietudes, y guiarme con cada lectura y conversación a comprender un poco más la esencia de la investigación, y la pasión por aquello que también nos llena el alma, en su caso la música. Agradezco especialmente a cada uno de los profesores de mi comisión de tesis, los cuales en cada reunión aportaron al crecimiento de este proyecto, también a Diego Olmedo y Rubén Olmedo, tecnólogos médicos del Hospital Clínico de la Universidad de Chile, y a Camilo Quezada del Departamento de Fonoaudiología de la Universidad de Chile por su apoyo durante mi investigación.

Quiero agradecer a cada voluntario y voluntaria que participó desinteresadamente en el estudio. Siempre estaré agradecido con ustedes.

También doy las gracias por los amigos que descubrí en la escuela de postgrado de la Universidad de Chile, con los cuales compartí grandes momentos, en especial a Simón, Trinidad, Fernanda y Juan Pablo. Además, quisiera agradecer a mis amigos Matías, Scarlette, Felipe, Estefanía, Nastassja, Matheus, Jonhatan y Daniela, por su compañía, alegría y energía positiva en todo momento.

Quiero dar las gracias a Mirta, Carlos, María Inés, Giedré, Roberta y Hilton, por la confianza en mis habilidades, lo que me impulso a tomar este camino. También quiero agradecer a mis colegas del Departamento de Fonoaudiología de la Universidad de Chile, quienes de diferentes formas me apoyaron en este proceso, son muchos amigos como para mencionarlos a todos, sin embargo cada uno sabe el cariño y admiración que le tengo.

Muchas otras personas me acompañaron durante estos años, a todos muchas gracias, aunque sus nombres no estén en estos párrafos están en mis pensamientos.

Finalmente, agradezco enormemente a mis padres y a mi hermana Carolina, porque siempre a nivel personal y académico me han enseñado la importancia de soñar, del esfuerzo, la responsabilidad, la gentileza, el ingenio y el optimismo ante la vida.

## ÍNDICE

Resumen.....	6
Abstract .....	8
Introducción.....	10
Marco teórico.....	11
Mecanismo de producción de sonidos y emisiones nasalizadas.....	11
Análisis acústico de emisiones nasalizadas y geometría nasal.....	13
Objetivos .....	16
Metodología.....	17
Sujetos.....	17
Materiales y procedimientos. ....	17
Análisis estadísticos.....	27
Resultados .....	28
Discusión.....	85
Conclusiones.....	96
Referencias .....	98

## RESUMEN

La teoría fuente-filtro describe los parámetros fisiológicos de la producción de sonidos en mamíferos, entre ellos la especie humana. El sonido generado por la fuente sonora es filtrado a través del tracto vocal, adquiriendo diferentes propiedades resonantes debido a cambios en la forma del tracto y del acoplamiento nasal, permitiendo la producción de consonantes nasales y vocales nasalizadas.

La función nasal durante el habla puede afectarse en alteraciones del tracto nasal, comprometiendo aspectos como la inteligibilidad y aceptabilidad del habla, que repercuten en la comunicación y calidad de vida de los seres humanos. Diversos estudios han relacionado cambios patológicos o postquirúrgicos de estructura de las fosas nasales con los sonidos producidos, lo que podría estar relacionado a la forma del tracto nasal.

El objetivo de este estudio fue explorar efectos de la geometría nasal en las características acústicas de consonantes nasales y vocales nasalizadas de adultos chilenos de 21 a 30 años, sin antecedentes de patologías otorrinolaringológicas, ni de habla y que no presentaban desviación septal e hipertrofia de cornetes .

Los resultados muestran que hay influencias de dimensiones nasales sobre el nivel de presión sonora (NPS, en dB SPL), los formantes (F1-4, en HZ) y la nasalidad (diferencias A1-P0 y A1-P1, en dB) de distintas emisiones nasales. Sin embargo estas relaciones son significativas en una muy baja proporción de las emisiones analizadas (aproximadamente 5% de NPS, 2% de formantes y 7% de nasalidad). La relación más sistemática corresponde a una relación directa entre el volumen total nasal y el NPS capturado a nivel de las narinas. También se observaron con alguna consistencia relaciones directas entre el área de menor sección transversal posterior y los NPS, y relaciones inversas entre el área de menor sección transversal anterior y la diferencia A1-P0, además de directas con A1-P1.

Los hallazgos de este estudio demostraron que el NPS y espectro de vocales nasalizadas se relacionan en una baja proporción de los parámetros medidos con el volumen nasal y las áreas de menor sección transversal evaluadas mediante rinometría acústica. Esta limitada influencia de las cavidades nasales en las emisiones vocales contrasta con los conocidos efectos de la configuración del tracto vocal en las vocalizaciones.

## ABSTRACT

Source-filter theory describes the physiological parameters of sound production in mammals, including the human. The sound generated by the sound source is filtered through the vocal tract, acquiring different resonant properties due to changes in the shape of the tract and the nasal coupling, allowing the production of nasal consonants and nasalized vowels.

Nasal function during speech can be affected in alterations of the nasal tract, compromising aspects such as speech intelligibility and acceptability, which affect communication and quality of life in human beings. Various studies have related pathological or postsurgical changes in the structure of the nasal passages with the sounds produced, which could be related to the shape of the nasal tract.

The objective of this study was to explore the effects of nasal geometry on the acoustic characteristics of nasal consonants and nasalized vowels of Chilean adults aged between 21 and 30 years old, without history of otorhinolaryngological or speech pathologies, and who did not present septal deviation and turbinate hypertrophy.

The results show that there are influences of nasal dimensions on the sound pressure level (SPL, dB SPL), the formants (F1-4, Hz) and the nasality (differences A1-P0 and A1-P1, dB) of different nasal emissions. However, these relationships are significant in a very low proportion of the analyzed emissions (approximately 5% of SPL, 2% of formants and 7% of nasality). The most systematic relationship corresponds to a direct relationship between the total nasal volume and the SPL captured at the level of the nostrils. Direct relationships were also observed with some consistency between the posterior minimal cross-sectional area and the SPL, and inverse relationships between the anterior minimal cross-sectional area and the A1-P0 difference, in addition to direct relationships with A1-P1 difference.

The findings of this study show that the SPL and spectrum of nasalized vowels are related in a low proportion of the parameters measured with nasal volume and minimal cross-sectional area evaluated by acoustic rhinometry. Such limited influence of the nasal cavities on vocal emissions contrast with well-known effects of the vocal tract configuration on vocalizations.

## 1.- INTRODUCCIÓN

Según algunos autores, aproximadamente un 40-45% de nuestros intercambios de comunicación corresponden a la modalidad acústica o verbal, aun cuando esto varía según el contexto, la edad del receptor, el género y las diferencias de personalidad individual (1).

Desde las primeras investigaciones de la industria de telecomunicaciones, en las que se inició la captura, almacenamiento, síntesis y análisis del sonido en forma digital, diversos investigadores han demostrado la utilidad de estas técnicas en el estudio de la comunicación sonora, teniendo el habla un lugar destacado (2-4).

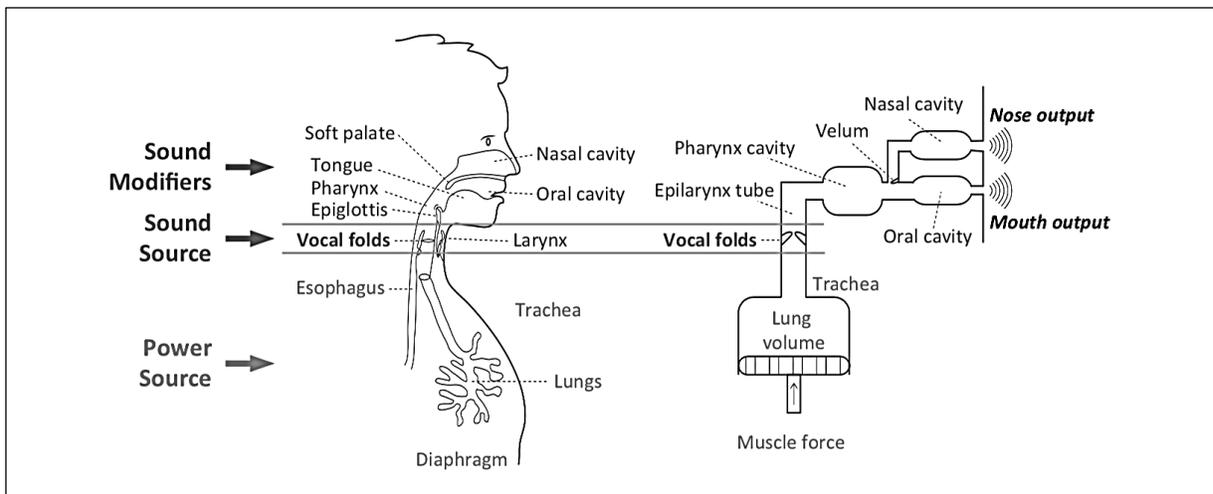
Los sonidos del habla son producidos por órganos comprometidos biológicamente en otras funciones, pero que han evolucionado adaptativamente para favorecer la producción de sonidos (5). El estudio de estos sonidos se orienta frecuentemente a la fonética y a la evaluación de patologías de voz y habla, mediante caracterizaciones del espectro, duración e intensidad de los sonidos. Sin embargo, pocas investigaciones abordan los sonidos nasales del habla desde una perspectiva fisiológica, es decir evaluando los elementos anatómicos que tienen un valor funcional en la producción de estos sonidos (6,12,13).

Dada una creciente visualización del impacto del habla en la calidad de vida de los seres humanos y el desafío de profundizar en la biofísica de los sonidos nasales, el análisis de la relación de la geometría nasal con las características acústicas de consonantes nasales y vocales nasalizadas constituye un aspecto de considerable interés. Por esto se propuso realizar un estudio de estos factores en adultos chilenos, mediante rinometría y una evaluación acústica de la amplitud y de la nasalidad de sonidos del habla.

## 2.- MARCO TEÓRICO

### 2.1.- Mecanismo de producción de sonidos y emisiones nasalizadas.

El mecanismo de producción de sonidos en humanos (Figura 1), así como en otros mamíferos involucra a tres sistemas: un sistema respiratorio, que proporciona un flujo de aire bajo presión, un sistema fonatorio compuesto por el aparato de producción de sonido (laringe), y un sistema de filtro, que incluye todas las estructuras supra-laríngeas del tracto vocal (3,4,7).

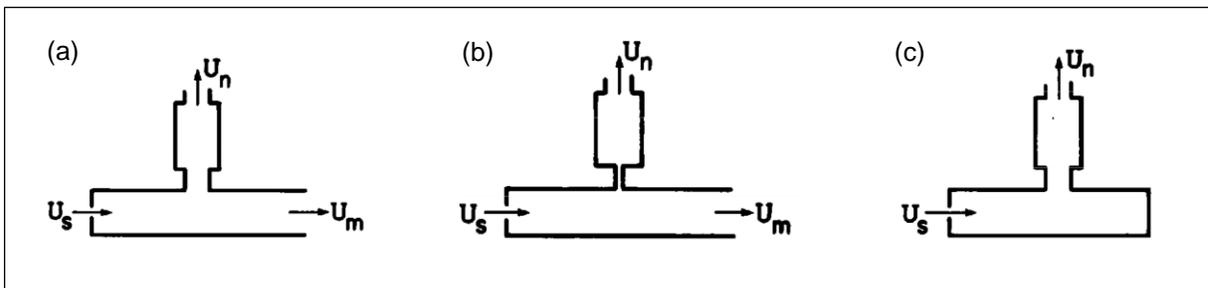


**Figura 1.** Órganos vocales humanos y una representación de sus principales características acústicas. Modificado de Suther (2016, 90).

La forma del tracto vocal cambia durante la articulación de los sonidos del habla, en tanto que los labios y la lengua modifican a través de constricciones el área de sección transversal a lo largo del tracto (2). Por otra parte, el acoplamiento nasal depende de la anatomía y fisiología del mecanismo velofaríngeo (MVF), que consiste en una válvula muscular que se extiende desde la superficie posterior del paladar duro hasta la pared faríngea posterior e incluye el paladar blando, las paredes laterales de la faringe y la pared faríngea posterior (8). La función del MVF es de fundamental importancia en la separación de las cavidades oral y nasal durante la ejecución de funciones como el habla, la deglución y el soplo (9).

La actividad del MVF durante el habla permite diferenciar un parámetro acústico denominado nasalidad, que corresponde a la percepción auditiva del componente nasal del habla (10). La acción sinérgica del velo del paladar y las paredes faríngeas es esencial para obtener una resonancia oro-nasal equilibrada y para la generación de una presión aérea intraoral en niveles adecuados durante la producción de sonidos orales (11).

Durante la emisión de vocales nasalizadas o consonantes nasales, el acoplamiento nasal comunica las cavidades oral y nasal a nivel faríngeo (Figura 2). La energía se distribuye en ambas cavidades simultáneamente, por lo que la señal adquiere diferentes componentes acústicos que son percibidos por el oyente como nasalidad (12). En la literatura se reporta que las señales acústicas de los sonidos con acoplamiento nasal se caracterizan por la introducción de formantes adicionales, aumento de los anchos de banda de los formantes y presencia de antiformantes (2,9,13).



**Figura 2.** Modelos de tracto vocal con rama lateral desde la fuente sonora ( $U_s$ ) hasta la salida del sonido en las narinas ( $U_n$ ) y/o los labios ( $U_m$ ). (a) y (b) Modelos para vocales nasalizadas con diferentes grados de acoplamiento nasal. (c) Modelo para consonante nasal. Modificado de Stevens (1998, 13).

El componente nasal del habla ha sido ampliamente estudiado. Se han descrito las características acústicas de vocales nasalizadas en diferentes idiomas como el chino (14), inglés americano (15) y francés (16). También, se ha reportado la influencia de la nasalidad en la percepción de estereotipos sexuales en adultos (17) y en la preferencia de adultos por vocalizaciones infantiles (18). La atención a estos

fenómenos ha sido principalmente motivada por cambios de nasalidad secundarios a fisura palatina (19), cáncer de cabeza y cuello (20), accidentes cerebrovasculares (21), disfunción de los ganglios basales (22) y alteraciones en la permeabilidad nasal (23). En los últimos años sin embargo, ha habido un interés manifiesto en el estudio de los fenómenos biomecánicos, acústicos y perceptivos del componente nasal del habla en condiciones de normalidad y disfunción (15,23,36).

Los fenómenos acústicos asociados al acoplamiento nasal ocurrido durante la producción de vocales nasalizadas han sido reportados en la literatura, identificándose como principales características de la nasalización a cambios en la regiones de baja frecuencia del espectro del habla (24,25), relacionados a tres frecuencias armónicas denominadas A1, P0 y P1, analizadas mediante la diferencia de amplitud en dB entre A1-P0 y A1-P1 (39,40).

## 2.2.- Análisis acústico de emisiones nasalizadas y geometría nasal.

El análisis acústico aplicado a consonantes nasales y vocales nasalizadas en hablantes normales ha caracterizado principalmente la amplitud y los componentes espectrales de ambos grupos de sonidos. Sin embargo, a pesar del conocimiento respecto a la relación entre la señal acústica y la forma del tracto nasal planteado desde 1956 por House & Stevens mediante modelos análogos del tracto nasal (49), pocos estudios relacionan la forma de las fosas nasales con el nivel de presión sonora y las características espectrales durante la producción de consonantes nasales y vocales nasalizadas en adultos hablantes sanos.

Un estudio en mamíferos no humanos, investigó el impacto de la morfología del tracto vocal en los formantes (F1-4) de llamadas nasales en tres especies de lémures. Los autores demostraron que en estos mamíferos la morfología de las vías respiratorias nasales es relevante para determinar las diferencias en la posición de los formantes y su espaciamiento, mostrando que los valores de formantes disminuyeron a medida que aumentó la longitud del tracto nasal (26).

En humanos existen algunos estudios que describen las características acústicas luego de intervenciones quirúrgicas en la cavidad nasal donde es posible observar la relación entre la geometría nasal y la señal acústica filtrada. Liapi et al. (2015), demostraron que la corrección quirúrgica de la desviación septal aumenta significativamente el promedio total de energía acústica durante la producción de la consonante nasal /m/ (23). Además, Koo et al. (2016) demostraron que la septoplastía con turbinectomía genera en la consonante nasal /m/ un aumento significativo en la intensidad y una tendencia al incremento de la frecuencia de los formantes, con una diferencia significativa en F1 (29). En el mismo estudio se reporta una tendencia a la disminución de los formantes en la vocal /a/ nasalizada, con diferencias significativas en F1 y F2 (29). En relación las medidas de nasalidad A1, P0 y P1, Chen & Metson (1997) publicaron un estudio de 5 casos sometidos a cirugías nasales (turbinectomía, septoplastía, sinusotomía frontal y esfenoidal) que generaron en vocales nasalizadas un incremento de A1-P1 y una reducción de A1-P0 (28). Adicionalmente Behrman et al. (2002), también reportaron luego de cirugías de vía aérea superior (septoplastía, turbinectomía, uvulopalatofaringoplastía y tonsilectomía) un incremento significativo de A1-P1 y una reducción significativa de A1-P0 en vocales nasalizadas (27).

La dificultad de objetivar la morfología nasal puede ser una de las razones de la escasez de estudios que analicen su relación con la señal acústica. Sin embargo, la rinometría acústica introducida por Sondhi & Gopinath (1971) permite evaluar las dimensiones internas de la cavidad nasal de forma objetiva, ambulatoria, rápida y no invasiva (30). Esta posibilidad de evaluar las dimensiones internas de la cavidad nasal y determinar las características acústicas de consonantes nasales y vocales nasalizadas, permite preguntarse cómo se relaciona la geometría nasal con el filtraje que afecta a las señales acústicas en el habla.

En el tracto nasal, la válvula nasal tiene el área de sección transversal más pequeña de esta cavidad, siendo responsable de aproximadamente el 50% de la resistencia total del tracto respiratorio superior (46,47). Las obstrucciones que aumentan la resistencia y hacen que el sonido se dirija hacia la cavidad oral disminuyen o eliminan el efecto de la cavidad nasal en la producción de los sonidos

nasales (48). Por esto, las medidas de geometría nasal (volúmenes nasales y áreas de menor sección transversal) determinadas con rinometría acústica se relacionan directamente con los niveles de presión sonora en sonidos nasales (23,29). Por su parte, la frecuencia de los formantes de consonantes nasales tienden a relacionarse directamente con los volúmenes nasales y las áreas de menor sección transversal, a diferencia de los formantes en vocales nasalizadas que tienden a relacionarse de forma inversa con estas medidas (29), al igual que los anchos de banda respectivos (69). En relación a las medidas de nasalidad en vocales nasalizadas, los volúmenes nasales y áreas de menor sección transversal se relacionan directamente con A1-P1 e inversamente con A1-P0 (27,28).

Estos antecedentes permiten proponer la hipótesis de que los volúmenes nasales y las áreas de menor sección transversal se relacionan de forma directa con el nivel de presión sonora de todas las emisiones, el valor A1-P1 de vocales nasalizadas y la frecuencia de los formantes de las consonantes nasales, e inversamente con el valor A1-P0, la frecuencia y los anchos de banda de los formantes de vocales nasalizadas.

### **3.- OBJETIVOS**

#### 3.1.- Objetivo general.

Estudiar la relación entre la geometría nasal determinada por rinometría acústica y el espectro y nivel de presión sonora (NPS) de la señal acústica generada durante la emisión de consonantes nasales y vocales nasalizadas en adultos sanos, hablantes de español chileno.

#### 3.2.- Objetivos específicos.

3.2.1.- Determinar las características espectrales y el NPS de las señales acústicas durante la emisión de vocales nasalizadas.

3.2.2.- Determinar las características espectrales y el NPS de las señales acústicas durante la emisión de consonantes nasales.

3.2.3.- Determinar las áreas de menor sección transversal y el volumen nasal del tracto nasal.

3.2.4.- Asociar la geometría nasal con las diferencias presentes entre las características espectrales y el NPS de las señales acústicas durante la emisión de vocales nasalizadas y consonantes nasales.

## 4.- METODOLOGÍA

### 4.1.- Sujetos.

Fueron evaluados 30 adultos, de nacionalidad chilena, residentes en la región Metropolitana de Santiago, con edad entre 21 y 30 años. Se incluyeron por conveniencia participantes sin historia clínica de: respirador oral, trauma nasal severo, obstrucción nasal aguda o permanente, enfermedad sistémica, enfermedad atópica, sinusitis recurrente, poliposis nasosinusal, cirugía rinosinusal, uso de drogas descongestionantes, malformaciones cráneo-faciales, alteraciones en audición, habla, voz y lenguaje. Fueron excluidos sujetos con septodesviación o hipertrofia de cornetes moderada-severa determinado por un examen físico realizado por un médico otorrinolaringólogo en dependencias del Servicio de Otorrinolaringología del Hospital Clínico de la Universidad de Chile, utilizándose un protocolo previamente publicado (31).

El presente estudio fue aprobado por el Comité de Ética de Investigaciones en Seres Humanos de la Facultad de Medicina de la Universidad de Chile, con el N° 207-2018 y por el Comité de Ética Científico o de Investigación del Hospital Clínico de la Universidad de Chile, con el N° 037. Se utilizaron dos consentimientos informados para el ingreso de los participantes.

### 4.2.- Materiales y procedimientos.

#### 4.2.1.- Evaluación acústica.

Todos los participantes fueron sometidos a una evaluación acústica, realizada en dos instancias diferentes: una evaluación pre-vasoconstrictor y una post-vasoconstrictor (Oximetazolina Clorhidrato al 0,05%). Cada evaluación tuvo una duración aproximada de 15 minutos. El vasoconstrictor fue aplicado con el objeto de explorar su efecto en las señales acústicas, debido a los cambios que produce en la geometría del tracto nasal.

#### 4.2.1.1.- Equipamiento.

Las voces fueron grabadas simultáneamente con dos micrófonos de condensador Lavalier Rode Lapel, patrón omnidireccional, con frecuencia de respuesta entre 60Hz a 18KHz, y sensibilidad de -33.5 dB re 1 V/Pa (21mV @ 94 dB SPL)  $\pm$  3dB @ 1 kHz (Figura 3). Los micrófonos fueron conectados con adaptadores Rode Micon-5 a una grabadora TASCAM modelo DR100MKIII (Figura 4).

Un micrófono conectado al canal derecho fue posicionado a 0.5 cm frente a la nariz derecha, montado en una placa diseñada en AutoCAD®, impresa en plancha acrílica transparente de 5 mm de espesor y armada con soldadura plástica transparente, colocada arriba del labio superior del individuo, y asegurada por un casco montado en la cabeza del participante. Un micrófono conectado al canal izquierdo se ubicó en un atril a 20 cm de distancia de las fosas nasales del participante (Figura 2).

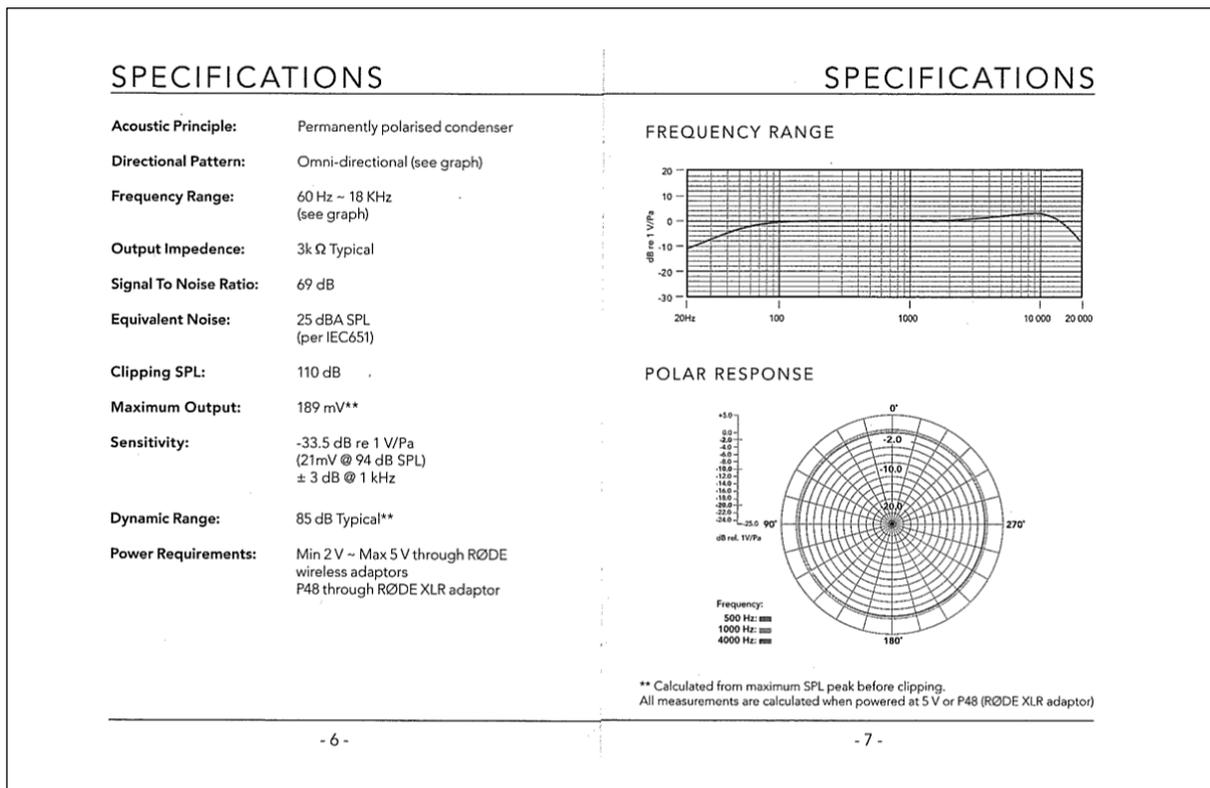
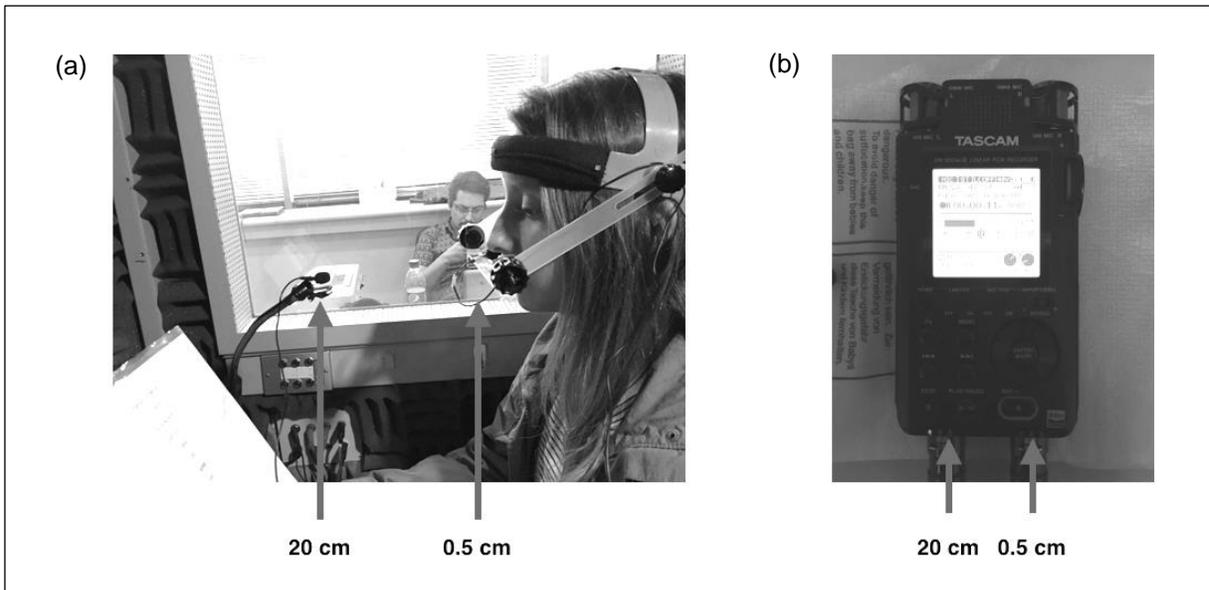


Figura 3. Especificaciones Micrófono Lavalier Rode Lapel.

El micrófono del canal derecho fue limitado digitalmente en el nivel 2 de amplificación de entrada de la grabadora, mientras que el micrófono conectado al canal izquierdo fue limitado digitalmente en el nivel 20 de amplificación de entrada de la grabadora. Todos los registros fueron almacenados en formato WAV., con una frecuencia de muestreo de 44100Hz, en una tarjeta de memoria SD, Kingston, de 32 GB.



**Figura 4.** (a) Micrófono en placa acrílica a 0.5 cm frente a narina derecha y micrófono en un atril a 20 cm de las fosas nasales. (b) Grabadora TASCAM modelo DR100MKIII con adaptadores Rode Micon-5.

#### 4.2.1.2.- Sonidos de habla.

Los sonidos de habla corresponden a un conjunto de 4 sílabas (Tabla 1), adaptadas del MacKay-Kummer SNAP Test-R(32) y a un grupo de palabras (Tabla 2) con las vocales estudiadas (/a/ e /i/) obtenidas de Pino et al. (2018) (33).

La repetición de sílabas y palabras permite analizar las emisiones en diferentes contextos fonéticos (Tablas 1 y 2): oral (CVC), nasal (VtN y CVtN) e hipernasal (NVN, NVaN, NVtN y VNV) (36).

**Tabla 1. Repetición de sílabas.**

Segmento analizado	Emisión	Contexto fonético
VNV: consonante sonora bilabial nasal /m/ entre dos vocales /a/ sin contraste por tonicidad	/ma <u>m</u> amama.../	Hipernasal
VNV: consonante sonora bilabial nasal /m/ entre dos vocales /i/ sin contraste por tonicidad	/mi <u>m</u> imimi.../	Hipernasal
NVN: vocal /a/ sin contraste por tonicidad entre dos consonantes nasales	/mam <u>a</u> mama.../	Hipernasal
NVN: vocal /i/ sin contraste por tonicidad entre dos consonantes nasales	/mim <u>i</u> mimi.../	Hipernasal
CVC: vocal /a/ sin contraste por tonicidad entre dos consonantes oclusivas	/pap <u>a</u> papa.../	Oral
CVC: vocal /i/ sin contraste por tonicidad entre dos consonantes oclusivas	/pip <u>i</u> pipi.../	Oral

**Tabla 2. Repetición de palabras.**

Segmento analizado	Emisión		Contexto fonético
	/a/	/i/	
VtN: vocal tónica al inicio absoluto de cadena fónica seguida de una consonante nasal en posición de coda	<u>á</u> nta	<u>í</u> nti	Nasal
CVtN: vocal tónica entre fricativa inicial y consonante nasal en posición de coda	s <u>á</u> nte	s <u>í</u> nti	Nasal
NVtN: vocal tónica entre dos consonantes nasales	m <u>á</u> nta	m <u>í</u> nti	Hipernasal
NVaN: vocal átona entre dos consonantes nasales	m <u>a</u> náda	m <u>i</u> néro	Hipernasal

Las vocales utilizadas corresponden a los sonidos /a/ e /i/, debido a sus diferencias respecto a la posición lingual en los planos vertical y sagital dentro de la cavidad oral. La vocal /a/ se caracteriza por una lengua en posición más inferior y posterior, a diferencia de la vocal /i/ donde la lengua se ubica en un nivel más superior y anterior en la cavidad oral(12), además ambos sonidos vocálicos han sido ampliamente utilizados en el estudio de la resonancia nasal del habla (34,35,69).

La consonante sorda bilabial oral de alta presión /p/ presente en la repetición de sílabas, permite determinar las características acústicas de las vocales orales /a/ e /i/ presentes entre la consonantes /p/ (CVC).

La consonante sonora bilabial nasal /m/ presente en la repetición de sílabas, permite determinar las características acústicas del sonido nasal /m/ (VNV, co-articulado con las vocales /a/ e /i/), y de las vocales nasalizadas /a/ e /i/ presentes entre los sonidos /m/ (NVN), que debido al acoplamiento entre las cavidades oral nasal y oral, permite analizar la relación entre los sonidos nasales y la geometría nasal.

#### 4.2.1.3.- Procedimiento.

Las grabaciones pre y post-vasoconstrictor se realizaron en una cámara sonoamortiguada del Hospital Clínico de la Universidad de Chile, Clínica Quilín, antes y luego de 5 minutos de la aplicación nasal del vasoconstrictor en spray Oximetazolina Clorhidrato al 0,05% (Iliadin®). Los sujetos permanecieron sentados durante todas las evaluaciones.

Antes de cada evaluación se grabó una señal de calibración en cada micrófono, utilizándose un calibrador Brüel & Kjaer, modelo 4231, que entrega un tono de 93.8 dB SPL.

La prueba aplicada consistió en la repetición de las emisiones a una velocidad, tono e intensidad de uso habitual. Las sílabas fueron repetidas durante 2 segundos, con un mínimo de 5 emisiones. Las palabras fueron repetidas dos veces cada una.

#### 4.2.1.4.- Análisis acústico - Nivel de presión sonora (NPS).

El primer análisis acústico corresponde al nivel de presión sonora (NPS) de las emisiones. Si bien el término intensidad del sonido se usa comúnmente, desde un punto de vista estricto, es diferente de la presión acústica y del NPS. La presión acústica se expresa en pascal (Pa), y el NPS correspondiente en decibeles (dB). Por el contrario, para medir la intensidad del sonido (en W/m<sup>2</sup>) y el nivel de intensidad del sonido correspondiente (en dB), se necesita de una sonda de intensidad de sonido. Debido a que en este estudio se utilizaron micrófonos calibrados, el término más adecuado y utilizado corresponde al de nivel de presión sonora (57).

El NPS se obtuvo a partir del análisis de amplitud RMS de las señales con el *software* Raven Pro 1.4. Los datos obtenidos fueron exportados en formato .txt a archivos Excel mediante un *Script* diseñado para el proyecto en el *software* R (37).

Se obtuvo la amplitud media cuadrática (en inglés: *root mean square*, RMS) del tono de calibración y de todas las emisiones seleccionadas (/m/, /a/ e /i/) frente a la nariz derecha y a los 20 cms de las fosas nasales. En la repetición de sílabas se utilizó el valor RMS de dos emisiones, para cada consonante nasal, vocal nasalizada y vocal oral por separado (ver Tabla 1). En el análisis de la repetición de palabras se obtuvo el valor RMS de cada emisión vocálica de interés (ver Tabla 2).

Los valores de amplitud RMS se convirtieron en niveles de presión sonora (NPS o SPL, dB re. 20 µPa), después del ajuste en función del tono de calibración grabado, mediante la fórmula:  $93.8 - 20 \cdot 10 \log(\text{RMS\_Amp\_cal}/\text{RMS\_Amp\_select})$ , aplicada a los datos exportados a Excel, mediante un *Script* diseñado para el proyecto en el *software* R (37).

Luego con los NPS de cada emisión se obtuvo la diferencia de NPS en dB SPL entre las emisiones nasales (ánta, sánte, ínti, sínti) e hipernasales (mamama, mananáda, manta, mamama, mimimi, minéro, minti, mimimi) y las emisiones orales (papapa, pipipi) (54).

El análisis se realizó en el Laboratorio de Neurootología de la Facultad de Medicina de la Universidad de Chile.

#### 4.2.1.5.- Análisis acústico - Formantes.

Los formantes se obtuvieron mediante un análisis de codificación predictiva lineal (LPC, *linear predictive coding*). Las mediciones se realizaron con el *software* PRAAT (versión 4.6, Boersma, 2001) (38).

El análisis LPC aplica un modelo de habla físicamente sensible y simplificado, que involucra una fuente de sonido y un filtro de varias resonancias. Debido a estas propiedades, el análisis LPC es una forma útil de determinar automáticamente la ubicación y ancho de los picos de amplitud (formantes) en el espectro del habla (9).

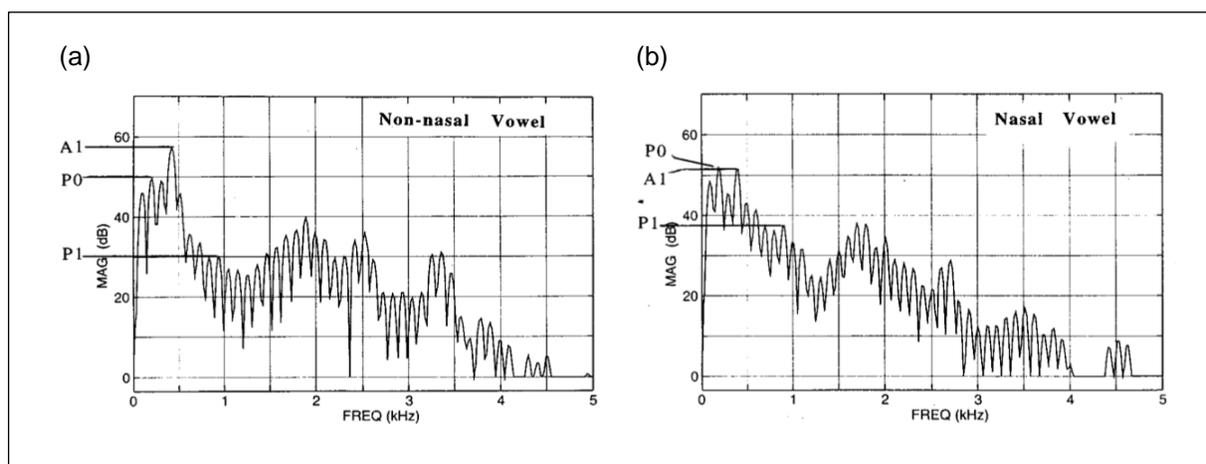
Para esto, cada sonido (frente a la nariz derecha y a 20 cm. de las fosas nasales) fue anotado en archivos TextGrid, mediante etiquetas de punto en la porción central de las consonantes /m/ y las vocales /a/ e /i/ de cada repetición (sílabas y palabras). Por medio de un *Script* en PRAAT se calculó el valor medio y desviación estándar del centro de frecuencia (Hz) y ancho de banda respectivo (Hz) en los cuatro primeros formantes (F1-4). Los datos obtenidos en formato .Table fueron exportados a archivos Excel mediante un *Script* diseñado para el proyecto en el *software* R (37).

#### 4.2.1.6.- Análisis acústico - Nasalidad.

Las características espectrales se obtuvieron mediante un *Script* de medición automatizada de nasalidad (*Nasality AutoMeasurement Script*, versión 5.9). Las mediciones se realizaron con el *software* PRAAT (versión 4.6, Boersma, 2001) (38).

La medición automatizada de nasalidad determina los valores de tres frecuencias armónicas: A1, P0 y P1. A1 es la amplitud del armónico más alto en F1, su cálculo se realiza determinando la frecuencia de F1 por LPC, a partir del cual se crea un espacio de búsqueda, donde se determina el pico de mayor amplitud, siendo su amplitud y frecuencia el que corresponde a A1. P0 es un pico o polo nasal de baja frecuencia, entre los 250 y 450 Hz. Se considera como P0 el primero de los armónicos (H1 o H2) con mayor amplitud. P1 es una segunda resonancia nasal, descrita en un rango de frecuencia de 790 a 1100 Hz, con un promedio de 950 Hz y

que ofrece un ancho de banda de aproximadamente 250 Hz. Se considera como P1 la amplitud armónica más alta en el rango de 1150-1350 Hz. Ambos picos o polos nasales (P0 y P1) diferencian el espectro de una vocal nasalizada, respecto de una vocal oral (Figura 5). Estas resonancias no se miden de forma independiente, si no que se obtiene la diferencia A1-P0 (la amplitud del armónico más alto en F1 menos la amplitud del pico nasal, en dB) y la diferencia A1-P1 (la amplitud del armónico más alto en F1 menos la amplitud del segundo pico nasal, en dB) (39,40).



**Figura 5.** (a) Análisis de banda estrecha de vocal no nasal (/e/ de la palabra /bed/). (b) Análisis de banda estrecha de vocal nasal (/e/ de la palabra /men/) (40).

En este análisis, cada sonido vocálico (/a/ e /i/) y repetición (sílabas y palabras) fue anotado en archivos TextGrid, mediante etiquetas de intervalos. Luego, las diferencias A1-P0 y A1-P1 fueron obtenidas con el *Nasality AutoMeasurement Script*, versión 5.9 de Styler y Scarborough (2017) (41). Los datos obtenidos en formato .Table fueron exportados a archivos Excel.

Los análisis se realizaron con asesoría del Laboratorio de Fonética Experimental de la Universidad de Santiago de Chile y del Laboratorio de Voz y Fonética del Departamento de Fonoaudiología de la Universidad de Chile.

#### 4.2.2.- Evaluación geométrica de las fosas nasales.

Todos los participantes fueron sometidos a una rinometría acústica, realizada por un tecnólogo médico, en el Hospital Clínico de la Universidad de Chile, Clínica Quilín. Cada sesión tuvo una duración aproximada de 15 minutos.

##### 4.2.2.1.- Equipamiento y principio de la técnica.

La evaluación rinométrica se realizó con el Sistema Eccovision Acoustic Rhinometer (HOOD Laboratories).

La rinometría acústica (RA) es un método que se basa en una medida de ondas sonoras reflejadas (ecos) que emergen de la cavidad nasal en respuesta a una onda sonora incidente. El equipamiento consiste en una fuente sonora ubicada en la porción distal de un tubo de 24 cm que tiene en su porción proximal un micrófono de registro (42).

La onda sonora producida por la fuente sonora se propaga por el tubo, pasa por el micrófono e ingresa a la cavidad nasal. Variaciones del área de sección transversal causan la reflexión de la onda sonora de vuelta para el tubo del rinómetro. Esas reflexiones son detectadas por el micrófono presente en la porción proximal del tubo (43).

El área de sección transversal nasal es calculada a partir de la intensidad del eco. Los datos son analizados gráficamente, representando la distancia (cm) en el eje x, y el área (cm<sup>2</sup>) en el eje y. La RA permite medir independientemente las dimensiones de las fosas nasales derecha e izquierda y la nasofaringe.

##### 4.2.2.2.- Procedimiento.

Las grabaciones se realizaron con los sujetos sentados durante toda la evaluación en una sala silenciosa, solicitando al participante que suspendiera voluntariamente la respiración, al final de una expiración de reposo. Se obtuvieron dos curvas para cada fosa nasal, una antes y otra luego de 5 minutos de la

aplicación nasal del vasoconstrictor en spray Oximetazolina Clorhidrato al 0,05% (Iliadin®). Se descartaron curvas cuyas medidas indicaran artefactos debido a deglución, movimiento del sujeto o escape de aire.

#### 4.2.2.3.- Análisis geométrico de cavidades nasales.

A partir de los gráficos de área-distancia fueron calculadas las áreas de menor sección transversal nasal en  $\text{cm}^2$  (centímetros cuadrados) y el volumen nasal en  $\text{cm}^3$  (centímetros cúbicos) a partir de la integración de la curva área-distancia (44,45) (Tabla 3).

**Tabla 3.** Evaluación geométrica de las fosas nasales.

Medidas	Unidad	Descripción
MCA1	$\text{cm}^2$	Primera área de menor sección transversal nasal desde las narinas (10 a 32 mm).
MCA2	$\text{cm}^2$	Segunda área de menor sección transversal nasal desde las narinas (32 a 64 mm)
Volumen nasal total	$\text{cm}^3$	Volumen correspondiente a la región de la válvula nasal y los cornetes nasales (10 a 64 mm).

#### 4.3.- Análisis estadísticos.

El análisis estadístico de los datos obtenidos, tanto para la geometría nasal como para las señales acústicas, se realizó utilizando el *software* R (37), con asesoría del estadístico Camilo Quezada del Departamento de Fonoaudiología de la Universidad de Chile.

El cálculo de tamaño de muestra fue realizado con el *software* R (37), considerando un poder estadístico de 0.8, una significancia ( $\alpha$ ) de 0.05, y un tamaño de efecto medio para pruebas de correlación ( $r= 0.35$ ).

Primero se obtuvo el promedio y desviación estándar de la geometría nasal y de las características acústicas de las emisiones a los 0.5 cm de la fosa nasal derecha y 20 cm de las fosas nasales, antes y después de la aplicación del vasoconstrictor. El efecto del vasoconstrictor fue comparado para todas las variables con el Test de Wilcoxon para datos pareados. En tanto que las variables acústicas fueron comparadas entre hombres y mujeres mediante el Test de la *U* de Mann-Whitney.

Luego, para determinar la asociación entre la geometría nasal y las características de la señal acústica de cada emisión, se efectuaron análisis de regresión lineal.

Tomando como variables dependientes el nivel de presión sonora (en dB SPL), la frecuencia de cada uno de los formantes (centro de frecuencia y ancho de banda respectivo, en Hz) y las diferencias A1-P0 y A1-P1 (en dB), se observó el efecto que tienen las variables independientes seleccionadas para el estudio: áreas de menor sección transversal (MCA1 y MCA2, en  $\text{cm}^2$ ) y el volumen total (en  $\text{cm}^3$ ) de cada fosa nasal (derecha e izquierda).

Mediante modelos de regresión lineal simple y múltiple se determinó cuál(es) predictor(es) tiene(n) mayor impacto sobre las variables dependientes. En el caso de las emisiones registradas a los 0.5 cm de la nariz derecha, los predictores utilizados corresponden a MCA1 derecha, MCA2 derecha y el volumen total derecho. Mientras que para las emisiones registradas a los 20 cm de las fosas nasales, los predictores utilizados corresponden a todas las variables independientes.

## 5.- RESULTADOS

Los datos obtenidos a través de la rinometría acústica y los análisis acústicos a 0.5 cm de la narina derecha y a 20 cm de las fosas nasales, previo y posterior a la aplicación del vasoconstrictor, son presentados a continuación de la siguiente manera:

- Caracterización y selección de los sujetos.
- Datos descriptivos de geometría de las fosas nasales.
- Datos descriptivos de análisis acústico: nivel de presión sonora.
- Datos descriptivos de análisis acústico: formantes.
- Datos descriptivos de análisis acústico: nasalidad.
- Modelos de regresión lineal considerando las medidas de geometría nasal como predictores de la diferencia de nivel de presión sonora entre las emisiones nasales, hipernasales y las orales.
- Modelos de regresión lineal considerando las medidas de geometría nasal como predictores de los formantes y anchos de banda para cada una de las emisiones nasales e hipernasales.
- Modelos de regresión lineal considerando las medidas de geometría nasal como predictores de las diferencias A1-P0 y A1-P1 para cada una de las emisiones vocálicas nasales e hipernasales.

### 5.1.- Características y selección de los sujetos.

En una primera fase del estudio, 36 adultos con edad entre 21 y 30 años fueron entrevistados y examinados físicamente por un médico otorrinolaringólogo en dependencias del Servicio de Otorrinolaringología del Hospital Clínico de la Universidad de Chile. A partir de esta evaluación 6 sujetos fueron excluidos por presentar septodesviación o hipertrofia de cornetes moderada-severa. El resto de los sujetos participó de la evaluación geométrica de las fosas nasales y acústica de las emisiones.

En total, 30 adultos con edad promedio de  $23.4 \pm 2.8$  años fueron evaluados en esta investigación. 16 participantes de sexo biológico femenino y 14 masculino. Los sujetos incluidos cumplieron con los criterios de inclusión previamente establecidos para el estudio.

### 5.2.- Geometría de las fosas nasales.

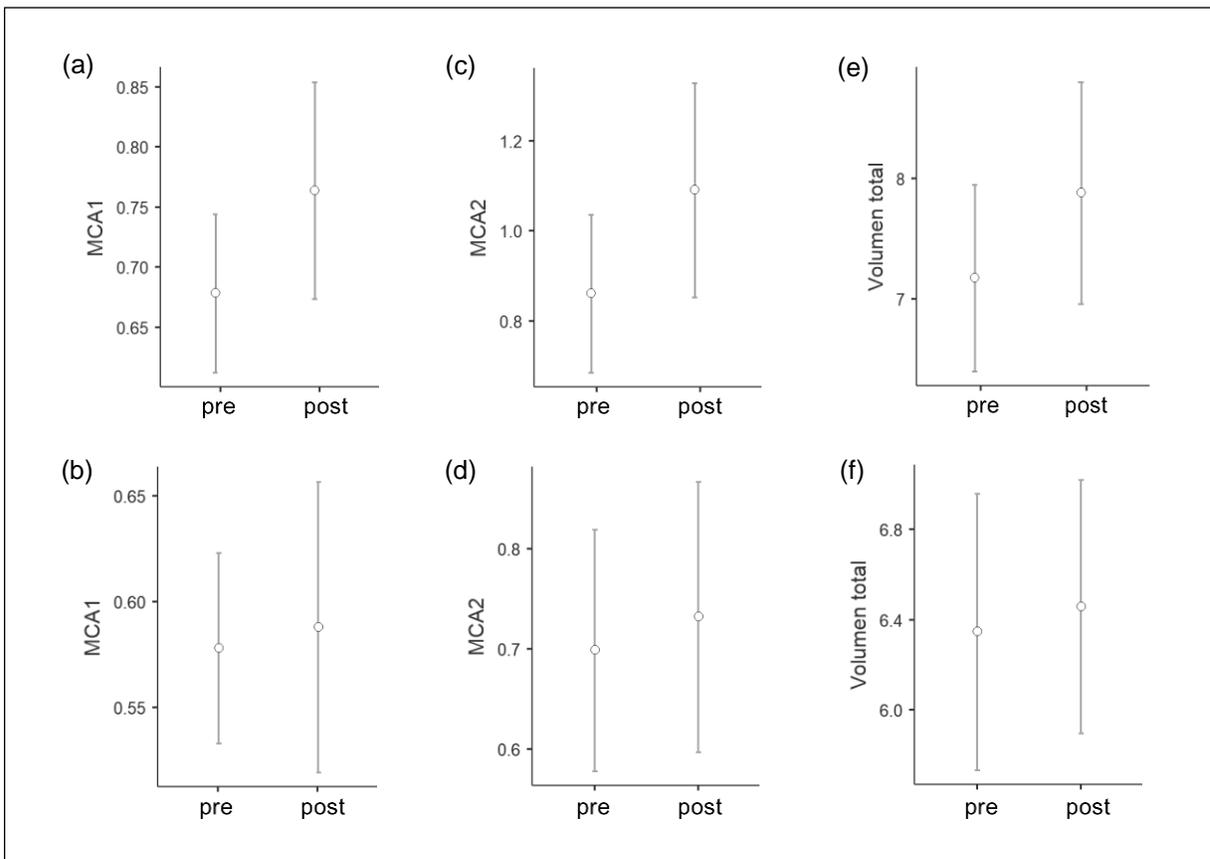
A todos los participantes incluidos en este estudio ( $n=30$ ) se les realizó una rinometría acústica en ausencia de signos y síntomas de obstrucción nasal aguda y enfermedad respiratoria.

El promedio (prom) y desviación estándar (D.E.) obtenido para cada medida en ambas fosas nasales se presenta en la Tabla 4 y Figura 6. Si bien durante el examen físico los participantes no presentaron septodesviación o hipertrofia de cornetes moderada-severa, los resultados obtenidos en cada fosa nasal tienden a ser diferentes, antes y después de la aplicación del vasoconstrictor.

Luego de 5 a 10 minutos, la Oximetazolina Clorhidrato al 0,05% genera aumentos significativos ( $p<0.05$ ) en las medidas en la fosa nasal derecha (Test de Wilcoxon para datos pareados, MCA1,  $p=0.005$ ; MCA2,  $p=< .001$ ; volumen total=0.017), en tanto que en la fosa nasal izquierda produce tendencias al aumento que no alcanzan a ser significativas. Lo cual sugiere un cambio en la geometría nasal, que luego será relacionado con el resultado obtenido en las medidas acústicas.

**Tabla 4.** Evaluación geométrica de las fosas nasales, antes y después de la aplicación de vasoconstrictor (n=30). Las comparaciones que dan valores significativamente diferentes se destacan en negritas.

Fosa nasal	Medidas	Pre	Post	valor p
		Prom(D.E.)	Prom(D.E.)	
Derecha	MCA1 (cm <sup>2</sup> )	0.67(0.18)	0.76(0.25)	<b>0.005</b>
	MCA2 (cm <sup>2</sup> )	0.86(0.48)	1.09(0.66)	<b>&lt; .001</b>
	Volumen total (cm <sup>3</sup> )	7.17(2.17)	7.88(2.59)	<b>0.017</b>
Izquierda	MCA1 (cm <sup>2</sup> )	0.57(0.12)	0.58(0.19)	0.933
	MCA2 (cm <sup>2</sup> )	0.69(0.33)	0.73(0.37)	0.183
	Volumen total (cm <sup>3</sup> )	6.35(1.7)	6.46(1.57)	0.265



**Figura 6.** Graficos de evaluación geométrica de fosa nasal derecha (a,c,e) y fosa nasal izquierda (b,d,f), antes (pre) y después (post) de la aplicación de vasoconstrictor (n=30).

### 5.3.- Nivel de presión sonora (NPS) en vocales y consonantes.

Para describir la amplitud general de las vocales nasalizadas y consonantes nasales, se obtuvieron los NPS de 168 emisiones a partir del análisis de amplitud RMS de las señales.

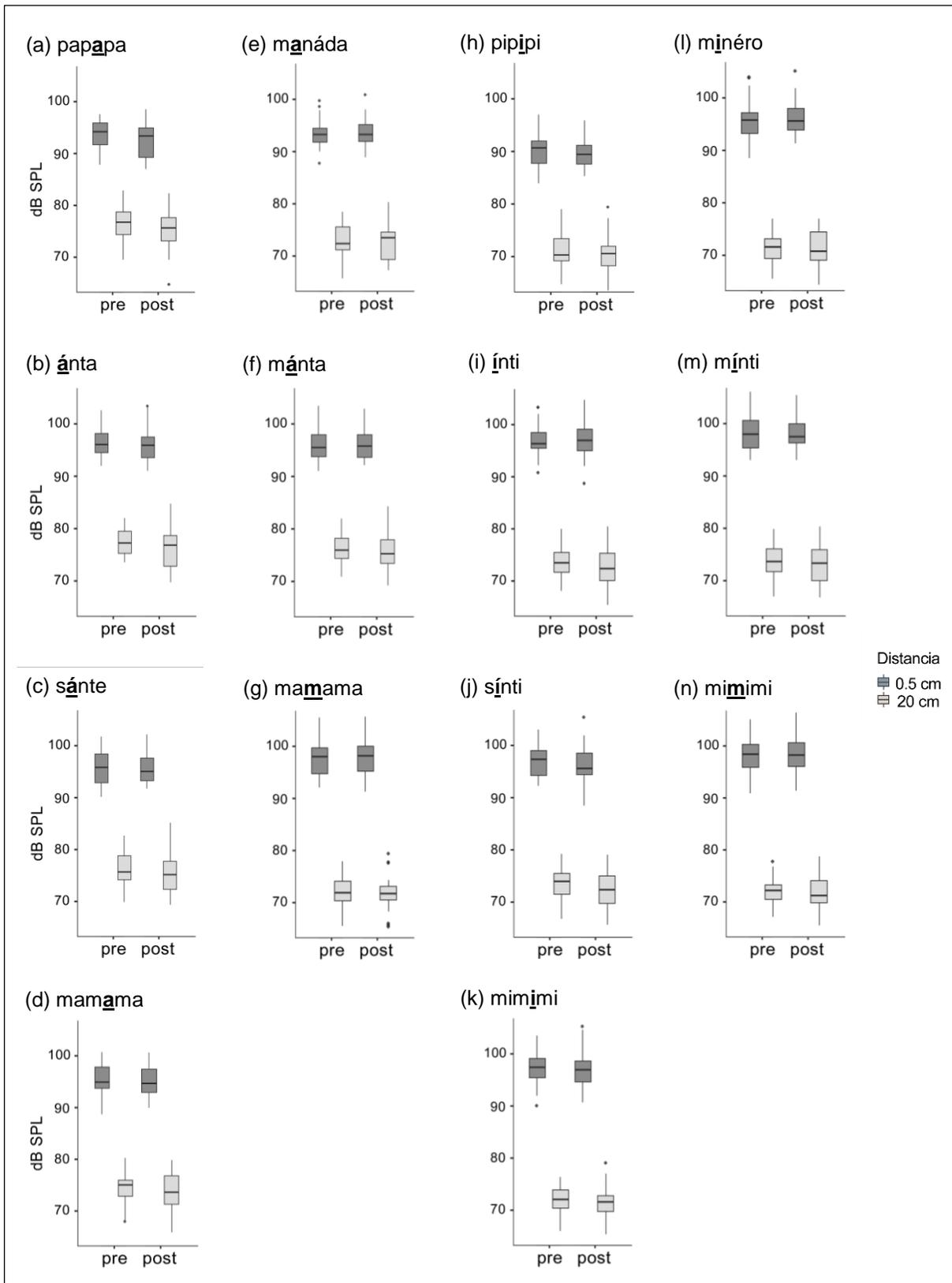
Primero, el sexo no diferenció el NPS en ninguna de las emisiones (Test de la *U* de Mann-Whitney,  $p < 0.05$ ), lo cual muestra que hombres y mujeres producen emisiones orales, nasales e hipernasales con amplitudes similares. Debido a esto, los resultados se analizan para el total de los sujetos.

La Tabla 5 presenta el promedio (prom) y desviación estándar (D.E.) del NPS en dB SPL de las emisiones a 0.5 cm de la nariz derecha y a 20 cm de las fosas nasales, antes y luego de la aplicación del vasoconstrictor. En la Figura 7 es posible observar el efecto de la distancia en los dB SPL, mayores frente a la nariz derecha, lo cual evidencia el efecto de la distancia en la atenuación del sonido. Además es posible observar que el NPS es una propiedad biofísica diferente en vocales orales, vocales nasalizadas y consonantes nasales.

En relación a la aplicación del vasoconstrictor, se observan diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) en un NPS a los 0.5 cm (Test de Wilcoxon para datos pareados, *papapa*,  $p = 0.013$ ) y en cuatro NPS a los 20 cm (Test de Wilcoxon para datos pareados, *papapa*,  $p = 0.009$ ; *anta*,  $p = 0.006$ ; *sinti*,  $p = 0.021$ ; *minti*,  $p = 0.038$ ), sugiriendo una tendencia a la disminución del NPS luego de la aplicación del vasoconstrictor.

**Tabla 5.** Niveles de presión sonora en dB SPL de las emisiones orales, nasales e hipernasales (indicadas en **negrita y subrayadas**) a 0.5 y 20 cm, antes (pre) y después (post) de la aplicación del vasoconstrictor (n=30). Las comparaciones que dan valores significativamente diferentes se destacan en **negritas**.

Emisión	0.5 cm			20 cm		
	Pre	Post	valor p	Pre	Post	valor p
	Prom(D.E.)	Prom(D.E.)		Prom(D.E.)	Prom(D.E.)	
<b>pap<u>a</u></b>	93.68(2.94)	92.49(3.37)	<b>0.013</b>	76.82(3.13)	75.36(3.88)	<b>0.009</b>
<b>á<u>n</u>ta</b>	96.45(2.85)	95.87(3.25)	0.205	77.46(2.53)	76.16(3.63)	<b>0.006</b>
<b>sá<u>n</u>te</b>	95.99(3.18)	95.78(3.03)	0.984	76.21(3.2)	75.52(3.79)	0.152
<b>mam<u>a</u></b>	95.26(2.98)	95.27(3.06)	0.730	74.65(2.94)	73.93(3.58)	0.184
<b>man<u>a</u>da</b>	93.45(2.73)	93.79(2.72)	0.349	73.35(3.01)	72.94(3.33)	0.404
<b>má<u>n</u>ta</b>	96.1(2.93)	96.13(3.01)	0.700	76.12(2.86)	75.77(3.76)	0.416
<b>pip<u>i</u>pi</b>	90.13(3.03)	89.63(2.79)	0.360	70.95(3.29)	70.26(3.47)	0.213
<b>í<u>n</u>ti</b>	97.1(3.05)	97.15(3.54)	0.746	73.7(2.87)	72.77(3.57)	0.100
<b>sí<u>n</u>ti</b>	96.93(3.27)	96.28(3.6)	0.171	73.86(3.29)	72.69(3.73)	<b>0.021</b>
<b>mim<u>i</u>mi</b>	97.16(3.11)	97.15(3.4)	0.968	71.98(2.72)	71.7(3.3)	0.440
<b>mí<u>n</u>éro</b>	95.95(3.55)	96.23(3.11)	0.465	71.56(2.66)	71.43(3.33)	0.761
<b>mí<u>n</u>ti</b>	98.4(3.54)	98.23(3.12)	0.570	74.12(3.15)	73.23(3.73)	<b>0.038</b>
<b>ma<u>m</u>ama</b>	97.9(3.43)	97.97(3.36)	0.935	72.21(2.9)	71.83(3.23)	0.393
<b>mim<u>i</u>mi</b>	98.27(3.34)	98.48(3.62)	0.777	72.12(2.55)	72.05(3.3)	0.808



**Figura 7.** Gráficos de niveles de presión sonora en dB SPL de las emisiones a 0.5 y 20 cm, antes (pre) y después (post) de la aplicación de vasoconstrictor ( $n=30$ ).

Sin embargo, debido a que en la exploración inicial de los datos, las medidas de geometría de cada fosa nasal (MCA1, MCA2 y volumen total) no predijeron el NPS de ninguna de las emisiones, se decidió obtener un nuevo valor de NPS, de acuerdo a lo propuesto por Bressman y colaboradores (2000, 54).

Este valor, denominado “diferencia de NPS”, corresponde a la resta (en dB SPL) de cada emisión nasal/hipernasal (minuyendo: /a/, /i/, /m/) menos (-) la emisión oral (sustraendo: /a/ e /i/) correspondiente. La Tabla 6 presenta el promedio (prom) y desviación estándar (D.E.) de la diferencia de NPS en dB SPL entre las emisiones nasales (ánta, sánte, ínti, sínti), hipernasales (mamama, manáda, mánta, mammama, mimimi, minéro, mínti, mimimi) y las emisiones orales (papapa, pipipi) respectivas, a 0.5 cm de la narina derecha y a 20 cm de ambas fosas nasales.

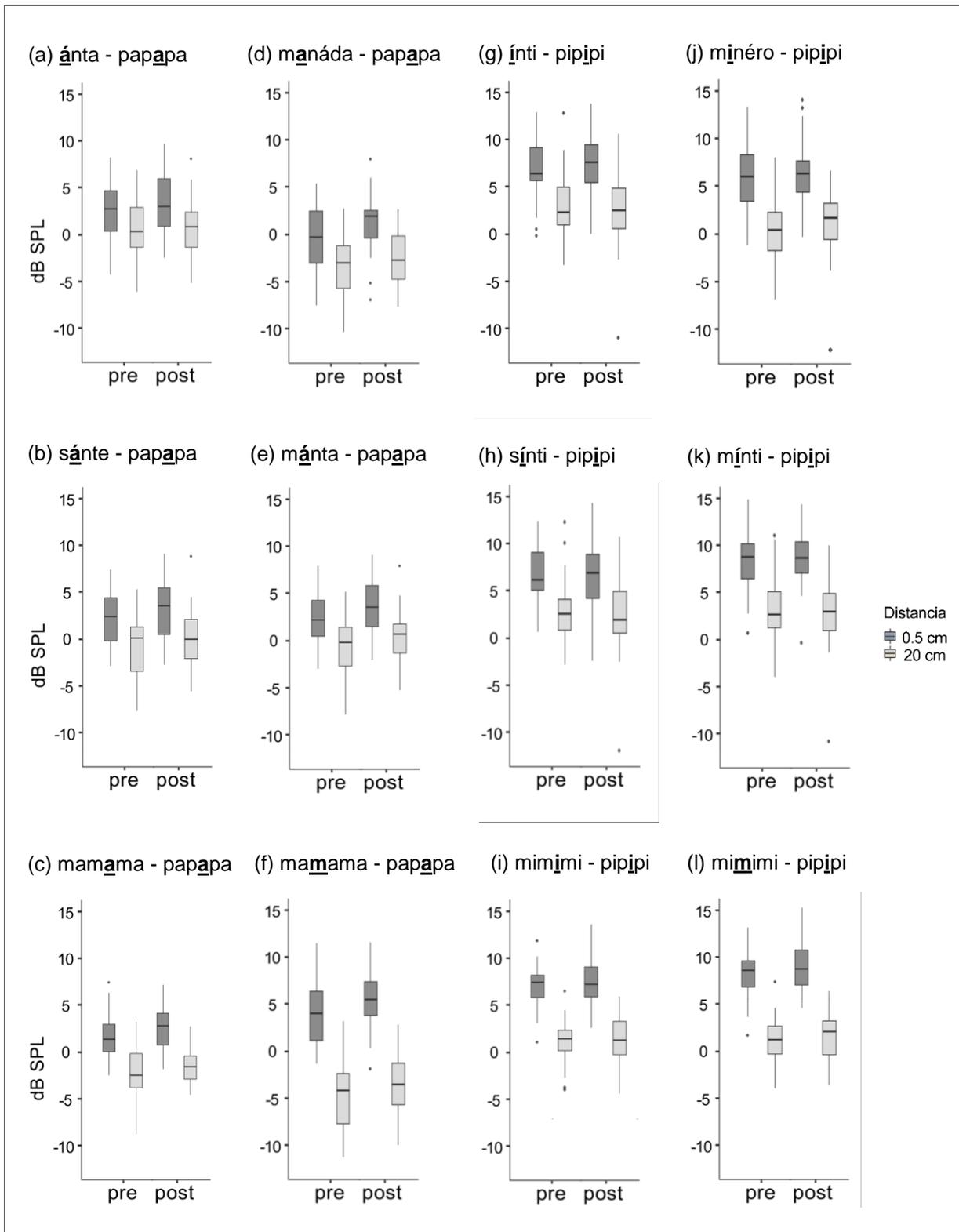
En la Figura 8 se observa que los resultados obtenidos a 0.5 cm de la narina derecha muestran una tendencia a valores positivos, es decir el NPS de las emisiones nasales/hipernasales es mayor que lo registrado durante emisiones orales. Esto difiere de lo observado a 20 cm, donde los valores tienden a ser negativos para la vocal /a/ o próximos a 0 dB SPL para la vocal /i/, lo que indica que a distancia las emisiones nasales/hipernasales se proyectan con un NPS similar o inferior a las de las emisiones orales. Esto sugiere una mayor pérdida de amplitud de los sonidos nasales respecto de los orales con la distancia.

El vasoconstrictor generó aumentos significativos ( $p < 0.05$ ) en las diferencias de NPS principalmente a 0.5 cm de la fosa nasal derecha (Test de Wilcoxon para datos pareados, sánte - papapa,  $p=0.021$ ; mamama - papapa,  $p=0.003$ ; manáda - papapa,  $p=0.001$ ; mánta - papapa,  $p=0.015$ ; mammama - papapa,  $p=0.004$ ; minéro - pipipi,  $p=0.035$ ; mimimi - pipipi,  $p=0.036$ ) pero también en algunos casos a 20 cm de las fosas nasales (Test de Wilcoxon para datos pareados, manáda - papapa,  $p=0.050$ ; mánta - papapa,  $p=0.029$ ; mammama - papapa,  $p=0.014$ ) (Tabla 6). Esto muestra un considerable impacto del vasoconstrictor en este valor, que puede estar relacionado con la mayor sensibilidad de esta medida respecto a las NPS para detectar la nasalidad de las emisiones.

**Tabla 6.** Diferencias de NPS en dB SPL entre emisiones nasales/hipernasales y emisiones orales (negrita y subrayado) a 0.5 y 20 cm, antes (pre) y después (post) de la aplicación de vasoconstrictor (n=30). Las comparaciones que dan valores significativamente diferentes se destacan en negritas.

Diferencia de NPS (emisiones)	0.5 cm			20 cm		
	Pre	Post	valor p	Pre	Post	valor p
	Prom(D.E.)	Prom(D.E.)		Prom(D.E.)	Prom(D.E.)	
á <u>nta</u> - pap <u>apa</u>	2.89(3.01)	3.51(3.26)	0.253	0.62(2.91)	0.79(3.25)	0.700
sá <u>nte</u> - pap <u>apa</u>	2.49(2.82)	3.58(3.07)	<b>0.021</b>	-0.48(3.13)	0.34(3.11)	0.135
mam <u>ama</u> - pap <u>apa</u>	1.7(2.35)	2.87(2.3)	<b>0.003</b>	-2.12(2.7)	-1.49(1.89)	0.077
ma <u>náda</u> - pap <u>apa</u>	0.16(2.91)	1.64(2.78)	<b>0.001</b>	-3.12(2.74)	-2.14(2.56)	<b>0.050</b>
má <u>nta</u> - pap <u>apa</u>	2.72(2.75)	3.93(2.86)	<b>0.015</b>	-0.49(2.93)	0.65(2.79)	<b>0.029</b>
ma <u>mama</u> - pap <u>apa</u>	4.39(3.66)	5.49(3.17)	<b>0.004</b>	-4.53(3.59)	-3.68(3.5)	<b>0.014</b>
í <u>nti</u> - pip <u>ipi</u>	7.25(3.25)	7.75(3.27)	0.271	2.87(3.57)	2.89(3.25)	0.984
sí <u>nti</u> - pip <u>ipi</u>	7.02(2.75)	7.04(3.11)	0.730	2.95(3.48)	2.97(3.04)	0.670
mim <u>imi</u> - pip <u>ipi</u>	7.31(2.23)	7.75(2.61)	0.135	1.22(2.36)	1.64(2.27)	0.328
m <u>in</u> éro - pip <u>ipi</u>	6.12(3.28)	6.95(3.05)	<b>0.035</b>	0.91(3.44)	1.66(2.92)	0.262
m <u>in</u> ti - pip <u>ipi</u>	8.46(2.69)	8.88(2.63)	0.529	3.27(3.51)	3.37(2.98)	0.984
mim <u>imi</u> - pip <u>ipi</u>	8.38(2.69)	9.01(2.84)	<b>0.036</b>	1.36(2.54)	1.97(2.32)	0.158

Por otra parte, 13 (27%) de las 48 diferencias de NPS fueron significativamente diferentes ( $p < 0.05$ ) entre hombres y mujeres: cinco a los 0.5 cm de la fosa nasal derecha pre-vasoconstrictor (Test de la  $U$  de Mann-Whitney, ínti – pipipi,  $p = 0.009$ ; mimimi – pipipi,  $p = 0.002$ ; minéro – pipipi,  $p < .001$ ; minti – pipipi,  $p = 0.025$ ; mimimi – pipipi,  $p < .001$ ) y 4 post-vasoconstrictor (Test de la  $U$  de Mann-Whitney, ínti – pipipi,  $p = 0.047$ ; mimimi – pipipi,  $p = 0.003$ ; minéro – pipipi,  $p = 0.002$ ; mimimi – pipipi,  $p = 0.003$ ); junto con 3 diferencias de NPS a los 20 cm pre-vasoconstrictor (Test de la  $U$  de Mann-Whitney, mimimi – pipipi,  $p = 0.001$ ; minéro – pipipi,  $p = 0.047$ ; mimimi – pipipi,  $p < .001$ ) y una post-vasoconstrictor (Test de la  $U$  de Mann-Whitney, mimimi – pipipi,  $p = 0.028$ ). Lo que indica una baja tendencia a diferencias dependientes del sexo, y que están restringidas a las emisiones que contienen la vocal /i/.



**Figura 8.** Gráficos de diferencias de NPS en dB SPL entre emisiones nasales/hipernasales y emisiones orales a 0.5 y 20 cm de la narina derecha, antes (pre) y después (post) de la aplicación de vasoconstrictor (n=30).

#### 5.4.- Formantes y anchos de banda en vocales y consonantes.

El espectro de las emisiones nasales fue obtenido de 80 señales de vocales nasalizadas y 16 señales de consonantes nasales.

Al respecto, los formantes se diferenciaron significativamente ( $p < 0.05$ ) entre hombres y mujeres (Test de la  $U$  de Mann-Whitney) en 102 (53.1%) de los 192 valores obtenidos. En tanto que sólo 14 (7.2%) de los 192 anchos de banda se diferenciaron significativamente ( $p < 0.05$ , Test de la  $U$  de Mann-Whitney), señalando un importante efecto del sexo principalmente en los formantes de las emisiones.

No obstante, debido al objetivo del estudio los resultados descriptivos se exponen para la totalidad de los sujetos. Las Tablas 7 y 8 presentan el promedio (prom) y desviación estándar (D.E.) de los formantes (Hz) y anchos de banda (Hz), para cada una de las emisiones nasales e hipernasales, a 0.5 cm de la nariz derecha y a 20 cm de las fosas nasales antes de la aplicación de vasoconstrictor. Mientras, las Tablas 9 y 10 presentan los valores correspondientes después de la aplicación de vasoconstrictor, que en general son similares a los observados en la condición previa (Tabla 11).

Las Figura 9 y 10 grafican los valores de los formantes antes y después de la aplicación de vasoconstrictor, en tanto que las Figuras 11 y 12 los correspondientes anchos de banda, antes y después de la aplicación de vasoconstrictor. Los gráficos muestran que los cuatro primeros formantes y sus respectivos anchos de banda son semejantes a 0.5 y 20 cm. Se aprecia una tendencia a valores más altos a 20 que a 0.5 cm para F1 de la vocal /a/ (Figura 9) y para F2 de la vocal /i/ (Figura 10). Por otra parte, los anchos de banda de F1-3 en la vocal /a/ a los 0.5 cm tienden a aumentar de manera lineal (Figura 11).

Finalmente, la Tabla 11 compara el efecto del vasoconstrictor en los formantes y anchos de banda de todos los participantes. Se observan diferencias significativas en 16 (8.3%) de los 192 resultados obtenidos mediante el Test de Wilcoxon para datos pareados ( $p < 0.05$ ), destaca una tendencia al aumento de F1 y disminución de F2 luego del medicamento. Lo que indica un bajo efecto del vasoconstrictor sobre el espectro de los sonidos nasales.

**Tabla 7.** Evaluación previa a la aplicación de vasoconstrictor. Formantes 1-4 (prom y D.E. en Hz) y respectivos anchos de banda (prom y D.E. en Hz) de emisiones nasales e hipernasales a 0.5 cm de la narina derecha (n=30).

Emisión	F1	F2	F3	F4
á <u>nta</u>	772.34(134.02)	1423.39(180.7)	2445.26(394.69)	3526.39(440.34)
sá <u>nte</u>	747.76(116.44)	1465.36(170.41)	2520.26(315.69)	3638.43(421.12)
mam <u>ama</u>	700.89(119.87)	1326.94(162.83)	2542.14(405.08)	3552.33(348.47)
ma <u>na</u> da	718.36(118.88)	1552.02(199.21)	2571.81(262.36)	3682.27(422.76)
ma <u>nta</u>	743.09(122.05)	1458.96(175.55)	2480.51(336.99)	3543.38(473.17)
í <u>nti</u>	361.31(78.31)	1826.89(638.89)	3004.02(433.64)	3843.22(386.36)
sí <u>nti</u>	374.39(83.19)	1884.09(622.02)	2958.17(396.93)	3886.23(409.95)
mim <u>i</u> mi	364.97(83)	1749.81(636.86)	2884.64(463.28)	3757.66(405.73)
mi <u>n</u> éro	374.77(73.29)	1443.16(544.74)	2794.72(319.03)	3633.9(300.8)
mí <u>nti</u>	383.65(75.13)	1569.32(553.79)	2829.27(389.78)	3742.87(330.41)
ma <u>m</u> ama	321.88(168.1)	1336.6(189.52)	2449.29(279.78)	3504.59(446.27)
mim <u>i</u> mi	305.74(49.83)	1339.05(308.65)	2448.25(253.06)	3451.56(556.65)

Emisión	abF1	abF2	abF3	abF4
á <u>nta</u>	338.33(313.65)	397(310.26)	906.01(693.22)	747.78(627.12)
sá <u>nte</u>	352.44(559.98)	562.36(679.57)	671.4(474.6)	821.93(807.76)
mam <u>ama</u>	305.84(192.13)	411.44(505.47)	751.72(546.44)	904.57(710.34)
ma <u>na</u> da	263.87(142.94)	460.33(461.55)	692.23(652.82)	719.21(638.17)
ma <u>nta</u>	302.74(183.8)	397.82(296.85)	842.5(610.57)	707.56(504.38)
í <u>nti</u>	183.58(171.78)	797.09(740.14)	338.38(194.99)	525.5(379.09)
sí <u>nti</u>	255.01(441.12)	600.97(510.16)	369.44(214.85)	397.51(338.99)
mim <u>i</u> mi	179.9(90.22)	740.52(558.11)	484.89(444.6)	441.44(233.72)
mi <u>n</u> éro	221.31(137.47)	894.05(455.29)	394.32(244.01)	565.02(346.85)
mí <u>nti</u>	247.15(220.98)	822.68(505.41)	360(275.14)	449.52(219.91)
ma <u>m</u> ama	257.55(149.92)	349.69(247.57)	408.52(282.9)	609.49(424.92)
mim <u>i</u> mi	137.96(76.86)	753.38(384.64)	306.36(486.1)	831.64(656.05)

**Tabla 8.** Evaluación previa a la aplicación de vasoconstrictor. Formantes 1-4 (prom y D.E. en Hz) y respectivos anchos de banda (prom y D.E. en Hz) de emisiones nasales e hipernasales a 20 cm de las fosas nasales (n=30).

Emisión	F1	F2	F3	F4
á <u>nta</u>	865.43(149.52)	1487.98(123.54)	2541.98(376.41)	3644.03(437.07)
sá <u>nte</u>	805.06(151.19)	1545.05(154)	2590.65(407.83)	3592.61(539.49)
mam <u>a</u> ma	765.78(140.48)	1370.07(157.64)	2630.01(384.04)	3642.24(289.39)
ma <u>n</u> áda	771.15(137.23)	1558.81(156.06)	2513.11(277.26)	3524.64(317.85)
ma <u>nta</u>	787.32(132.51)	1478.83(139.57)	2453.98(320.74)	3493.22(406.45)
í <u>nti</u>	404.84(114.54)	2067.44(634.1)	3129.06(329.28)	3906.48(286.99)
sí <u>nti</u>	442.17(163.88)	2247.45(566.55)	3048.56(287.8)	3945.31(360.17)
mim <u>i</u> mi	423.53(133.97)	2049.81(649.23)	3069.98(354.06)	3877.7(349.64)
mi <u>n</u> éro	434.54(125.95)	2033.67(523.04)	3017.27(248.83)	3837.41(304.06)
mí <u>nti</u>	427.03(151.31)	2080.01(571.12)	3085.83(306.61)	3900.26(359.7)
ma <u>m</u> ama	440.07(282.09)	1383.19(276.04)	2465.47(295.56)	3700.83(465.68)
mi <u>m</u> imi	346.45(107.08)	1432.79(429.43)	2562.22(380.59)	3756.24(457.13)

Emisión	abF1	abF2	abF3	abF4
á <u>nta</u>	283.06(202.92)	215.55(209.17)	706.84(481.34)	518.46(423.16)
sá <u>nte</u>	225(90.16)	180.03(107.45)	985.81(904.67)	740.95(646.28)
mam <u>a</u> ma	249.84(144.31)	205.67(208.07)	776.07(619.31)	510.86(271.85)
ma <u>n</u> áda	291.7(153.56)	211.7(137.52)	809.79(514.33)	678.71(581.48)
ma <u>nta</u>	310.65(212.32)	209.71(244.51)	921.46(595.09)	653.33(627.2)
í <u>nti</u>	289.85(311.85)	598.27(429.58)	502.78(765.38)	416.55(364.43)
sí <u>nti</u>	199.09(173.53)	614.41(662.66)	340.3(288.01)	578.87(452.36)
mim <u>i</u> mi	242.39(168.11)	599.25(627.52)	331.59(199.8)	425.98(342.94)
mi <u>n</u> éro	299.67(239.02)	906.29(935.42)	436.37(341.22)	444.39(265.76)
mí <u>nti</u>	265.3(163.9)	638.72(484.72)	323.6(205.98)	405.26(322.27)
ma <u>m</u> ama	395.14(384.8)	361.23(373.1)	434.29(338.31)	793.26(476.84)
mi <u>m</u> imi	182.67(145.77)	583.67(363.01)	201.57(215.47)	903.97(479.43)

**Tabla 9.** Evaluación posterior a la aplicación de vasoconstrictor. Formantes 1-4 (prom y D.E. en Hz) y respectivos anchos de banda (prom y D.E. en Hz) de emisiones nasales e hipernasales a 0.5 cm de la narina derecha (n=30).

Emisión	F1	F2	F3	F4
á <u>nta</u>	768.18(110.59)	1442.32(201.71)	2500.05(288.42)	3648.26(356.17)
sá <u>nte</u>	718.13(122.41)	1477.03(199.51)	2473.38(353.87)	3729.8(454.18)
mam <u>ama</u>	649.91(151.8)	1273.66(180.98)	2468.15(226.04)	3632.49(219.48)
man <u>áda</u>	695.05(106.16)	1514.92(189.06)	2485.94(321.23)	3642.74(302.95)
má <u>nta</u>	724.17(124.5)	1412.03(192.55)	2385.93(279.16)	3541.11(356.08)
í <u>nti</u>	387.18(84.02)	1776.84(698.44)	3018.24(411.06)	3897.18(342.81)
sí <u>nti</u>	385.59(80.7)	1832.28(651.72)	2909.68(399.93)	3867.66(384.47)
mim <u>imi</u>	381.21(79.29)	1639.23(642.28)	2927.22(424.02)	3821.74(337.98)
mi <u>néro</u>	395.31(74.49)	1438.07(505.56)	2821.19(282.84)	3768.8(341.7)
mí <u>nti</u>	395.18(83.82)	1393.07(472.26)	2798.07(277.81)	3697.18(222)
mam <u>ama</u>	334.27(195.5)	1294.21(282.17)	2432.65(281.35)	3471.8(455.59)
mim <u>imi</u>	324.24(62.14)	1283.61(364.04)	2459.77(206.28)	3452.48(483.66)

Emisión	abF1	abF2	abF3	abF4
á <u>nta</u>	400.35(611.4)	406.9(326.75)	678.29(556.53)	778.61(757.08)
sá <u>nte</u>	346.8(486.13)	479.97(405.38)	743.09(500)	513.71(358.95)
mam <u>ama</u>	342.64(250.7)	346.26(187.27)	526.19(470.28)	814.55(743.51)
man <u>áda</u>	319.88(255.37)	451.8(254.87)	757.02(620.94)	731.22(549.28)
má <u>nta</u>	336.83(313.36)	467.21(346.05)	747.11(612.82)	634(372.78)
í <u>nti</u>	198.98(166.11)	615.71(535.43)	331.49(193)	535.8(387.63)
sí <u>nti</u>	189.23(149.51)	633.85(413.65)	429.84(272.05)	692.09(620.43)
mim <u>imi</u>	187.05(101.03)	681.43(386.11)	389.04(179.35)	484.43(271.33)
mi <u>néro</u>	198.13(128.24)	893.77(455.98)	401.31(273.59)	540.75(375.72)
mí <u>nti</u>	226.54(126.47)	895.65(500.44)	428.93(278.3)	571.14(287.12)
mam <u>ama</u>	293.82(169.79)	307.61(237.15)	291.07(219.41)	797.52(590.3)
mim <u>imi</u>	155.35(94.91)	778.4(376.36)	357.94(714.78)	792.59(595.44)

**Tabla 10.** Evaluación posterior a la aplicación de vasoconstrictor. Formantes 1-4 (prom y D.E. en Hz) y respectivos anchos de banda (prom y D.E. en Hz) de emisiones nasales e hipernasales a 20 cm de las fosas nasales (n=30).

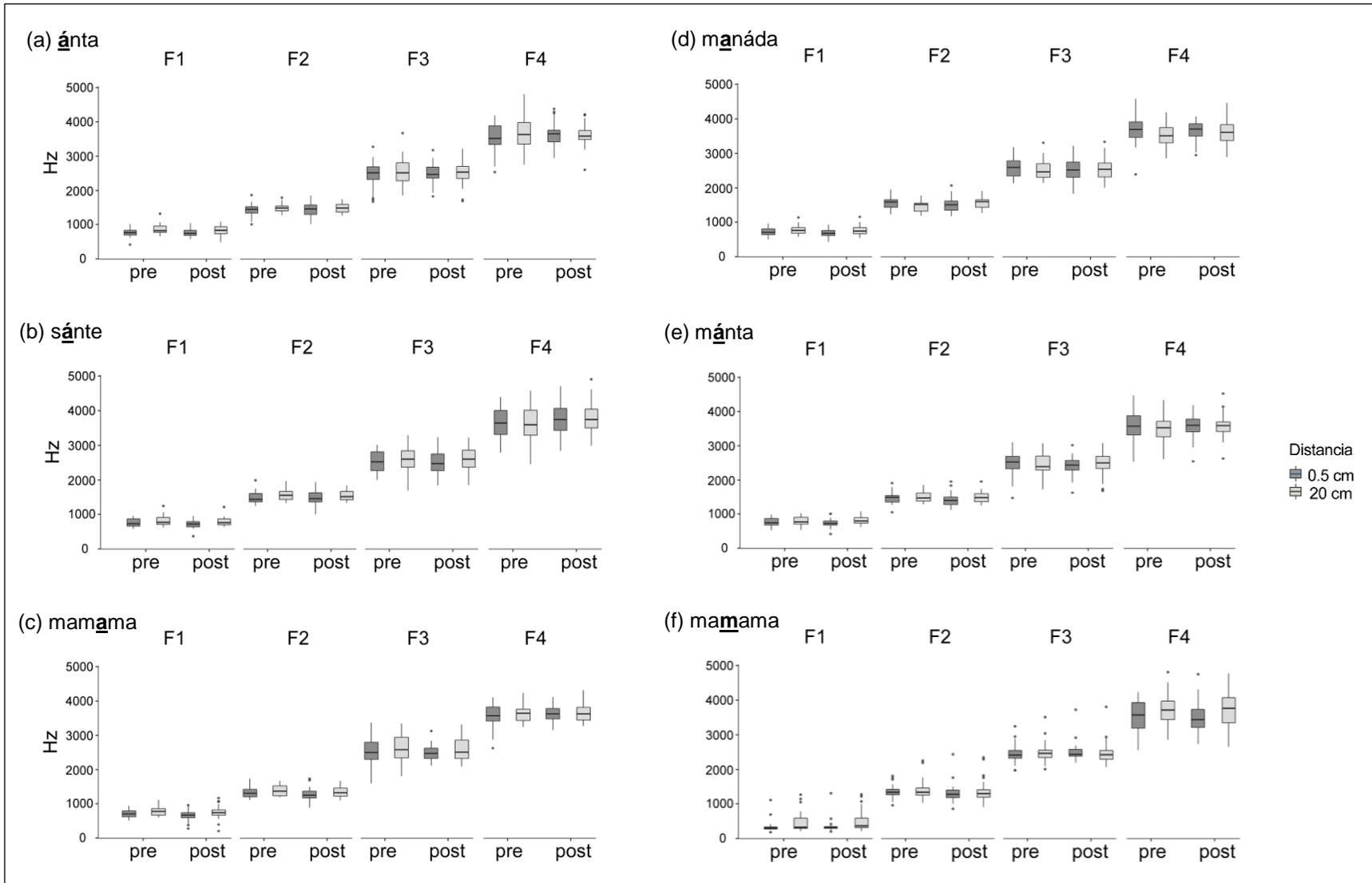
Emisión	F1	F2	F3	F4
ánta	844.34(142.81)	1483.06(139.94)	2497(363.02)	3605.47(328.1)
sánte	785.91(125.02)	1528.79(145.35)	2587.75(353.8)	3795.24(455.3)
mamáma	740.09(192.84)	1345.02(173.45)	2557.62(344.44)	3668.32(281.07)
manáda	770.25(137.31)	1573.03(153.63)	2560.26(338.45)	3618(339.68)
mánta	806.68(126.26)	1488.36(159.92)	2449.57(345.82)	3594.24(344.23)
ínti	411.49(114.59)	2151.85(646.4)	3141.26(399.99)	3938.85(360.21)
sínti	448.68(125.33)	2092.24(501.92)	2965.63(288.52)	3912.62(346.62)
mimími	416.9(126.74)	2069.87(665.63)	3099.35(339.58)	3939.85(347.19)
mínéro	465.47(136.48)	2117.01(558.41)	3054.48(327.43)	3958.12(285.2)
mínti	458.8(141.63)	1914.84(638.33)	3042.61(301.16)	3885.73(263.57)
mamáma	492.76(305.82)	1365.64(327.14)	2474.1(323.1)	3672.04(481.59)
mimími	337.33(75.76)	1342.88(260.48)	2519.24(269.11)	3587.49(360.58)

Emisión	abF1	abF2	abF3	abF4
ánta	298.6(384.55)	347.54(460.45)	777.3(695.27)	674.18(550.82)
sánte	193.55(178.78)	197.51(248.18)	756.13(593.8)	792.66(740.48)
mamáma	266.42(186.98)	242.99(217.71)	633.07(516.73)	721.33(1041.64)
manáda	247.99(157.74)	266.46(333.81)	721.08(534.3)	592.78(361.31)
mánta	227.33(144.54)	305.93(463.76)	782.09(550.09)	446.48(192.82)
ínti	206.19(151.62)	632.23(798.06)	349.22(205.72)	575.31(548.21)
sínti	249.29(228)	552.86(474.12)	403.43(259.51)	592.07(443.83)
mimími	259.47(207.15)	679.6(657.36)	362.05(235.04)	393.95(280.06)
mínéro	243.14(124)	637.49(586.04)	375.19(252.01)	356.56(206.18)
mínti	304.1(201.99)	718.25(583.09)	317.32(169.08)	472.19(401.83)
mamáma	436.63(262.82)	376.09(396.1)	377.48(380.01)	828.03(632)
mimími	186.33(163.95)	658.7(402.98)	237.38(252.67)	783.68(488.93)

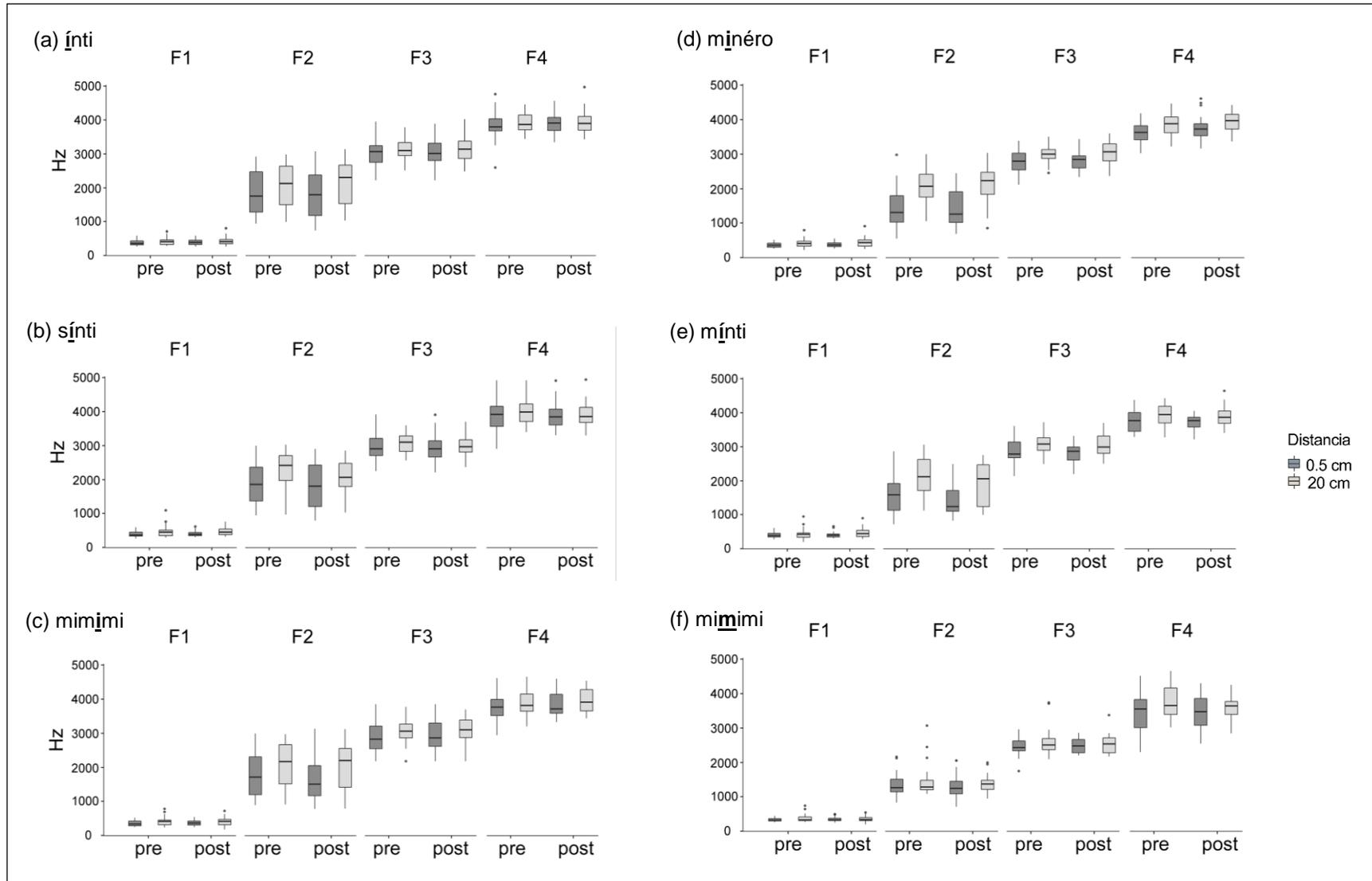
**Tabla 11.** Comparación (valor *p*, Test de Wilcoxon para datos pareados) de formantes 1-4 y respectivos anchos de banda, entre valores obtenidos antes y después de la aplicación de vasoconstrictor (*n*=30). Las comparaciones que dan valores significativamente diferentes se destacan en negritas.

Emisión	F1		F2		F3		F4	
	0.5 cm	20 cm	0.5 cm	20 cm	0.5 cm	20 cm	0.5 cm	20 cm
á <u>n</u> ta	0.475	0.226	0.713	0.399	0.424	0.746	0.475	0.517
sá <u>n</u> te	0.173	0.096	0.795	0.462	0.517	0.665	0.289	0.226
ma <u>m</u> ama	0.341	0.931	0.084	0.088	0.387	0.517	0.280	0.436
ma <u>n</u> áda	0.096	0.697	0.289	0.795	0.364	0.846	0.424	0.746
ma <u>n</u> ta	0.226	0.462	<b>0.042</b>	0.449	0.180	0.948	0.931	0.779
í <u>n</u> ti	0.034	0.299	0.880	0.436	0.619	0.449	0.746	0.299
sí <u>n</u> ti	0.180	0.697	0.341	<b>0.008</b>	0.052	<b>0.004</b>	0.604	0.341
mi <u>m</u> imi	<b>0.027</b>	0.746	0.411	1.000	0.475	0.983	0.210	0.331
mi <u>n</u> éro	0.088	0.331	0.931	0.194	0.650	0.280	0.088	<b>0.023</b>
mi <u>n</u> ti	0.120	<b>0.040</b>	<b>0.040</b>	0.105	0.681	0.462	0.309	0.545
ma <u>m</u> ama	0.462	0.545	0.110	0.261	0.812	0.983	0.795	1.000
mi <u>m</u> imi	<b>0.011</b>	0.559	0.187	0.411	0.436	0.983	0.650	0.148

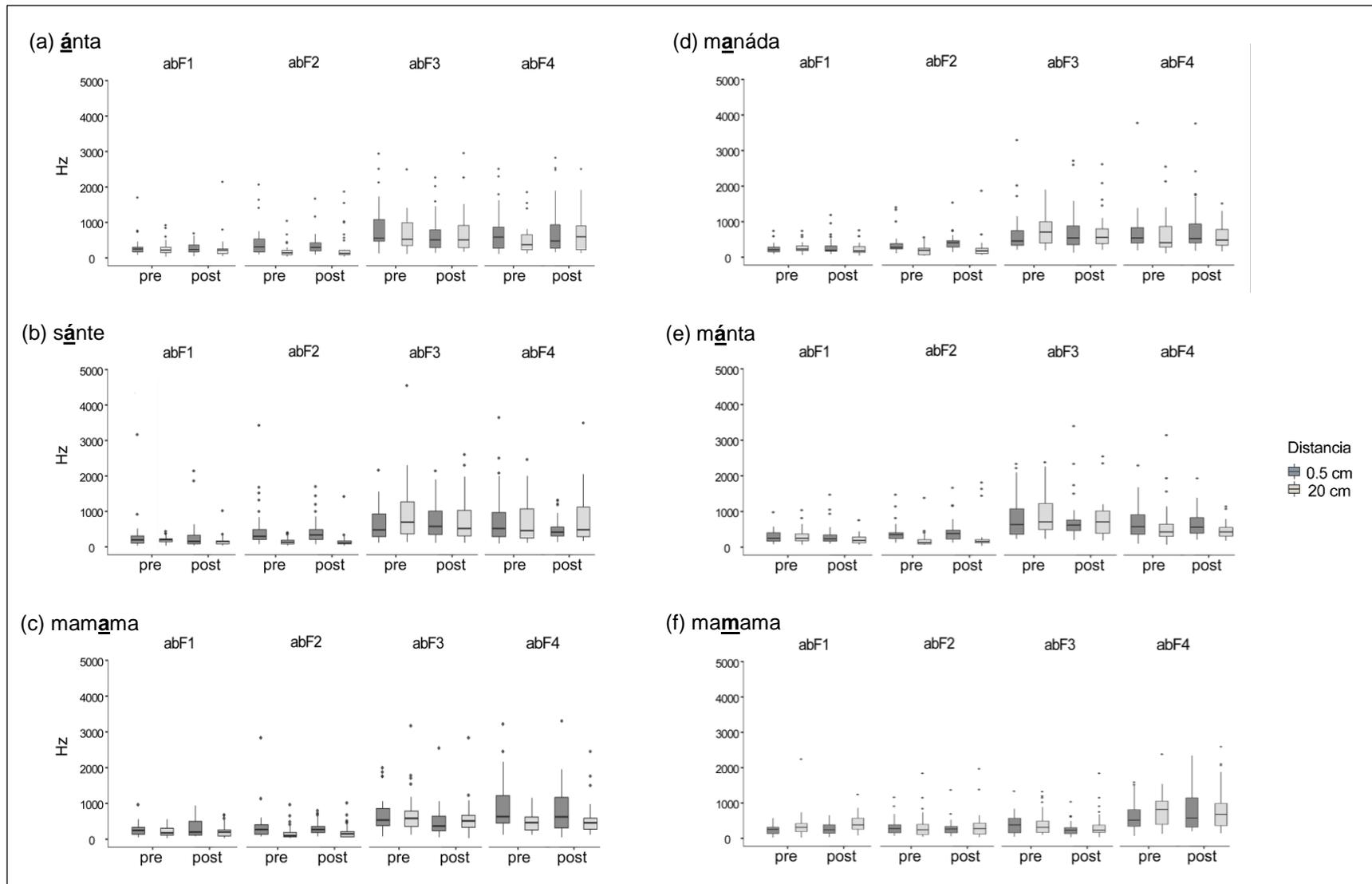
Emisión	abF1		abF2		abF3		abF4	
	0.5 cm	20 cm	0.5 cm	20 cm	0.5 cm	20 cm	0.5 cm	20 cm
á <u>n</u> ta	0.331	0.424	0.846	0.309	0.052	0.795	0.931	0.154
sá <u>n</u> te	0.252	<b>0.018</b>	0.375	0.897	0.846	0.931	0.187	0.846
ma <u>m</u> ama	0.650	0.897	0.983	0.289	0.202	0.154	0.517	0.387
ma <u>n</u> áda	0.604	<b>0.010</b>	<b>0.042</b>	0.966	0.604	0.531	0.320	0.462
ma <u>n</u> ta	0.665	<b>0.016</b>	0.320	0.270	0.462	0.173	0.914	0.187
í <u>n</u> ti	0.574	0.289	0.261	0.462	0.931	0.713	0.729	0.136
sí <u>n</u> ti	0.364	0.187	0.531	0.863	0.289	0.531	<b>0.021</b>	0.762
mi <u>m</u> imi	0.863	0.779	0.948	0.665	0.829	0.931	0.462	0.795
mi <u>n</u> éro	0.289	0.154	0.729	0.180	0.812	0.665	0.863	0.180
mi <u>n</u> ti	0.914	0.243	0.489	0.948	<b>0.044</b>	0.436	<b>0.036</b>	0.309
ma <u>m</u> ama	0.154	0.341	0.352	0.966	<b>0.013</b>	0.252	0.187	0.897
mi <u>m</u> imi	0.252	0.846	0.948	0.210	0.846	0.517	0.387	0.119



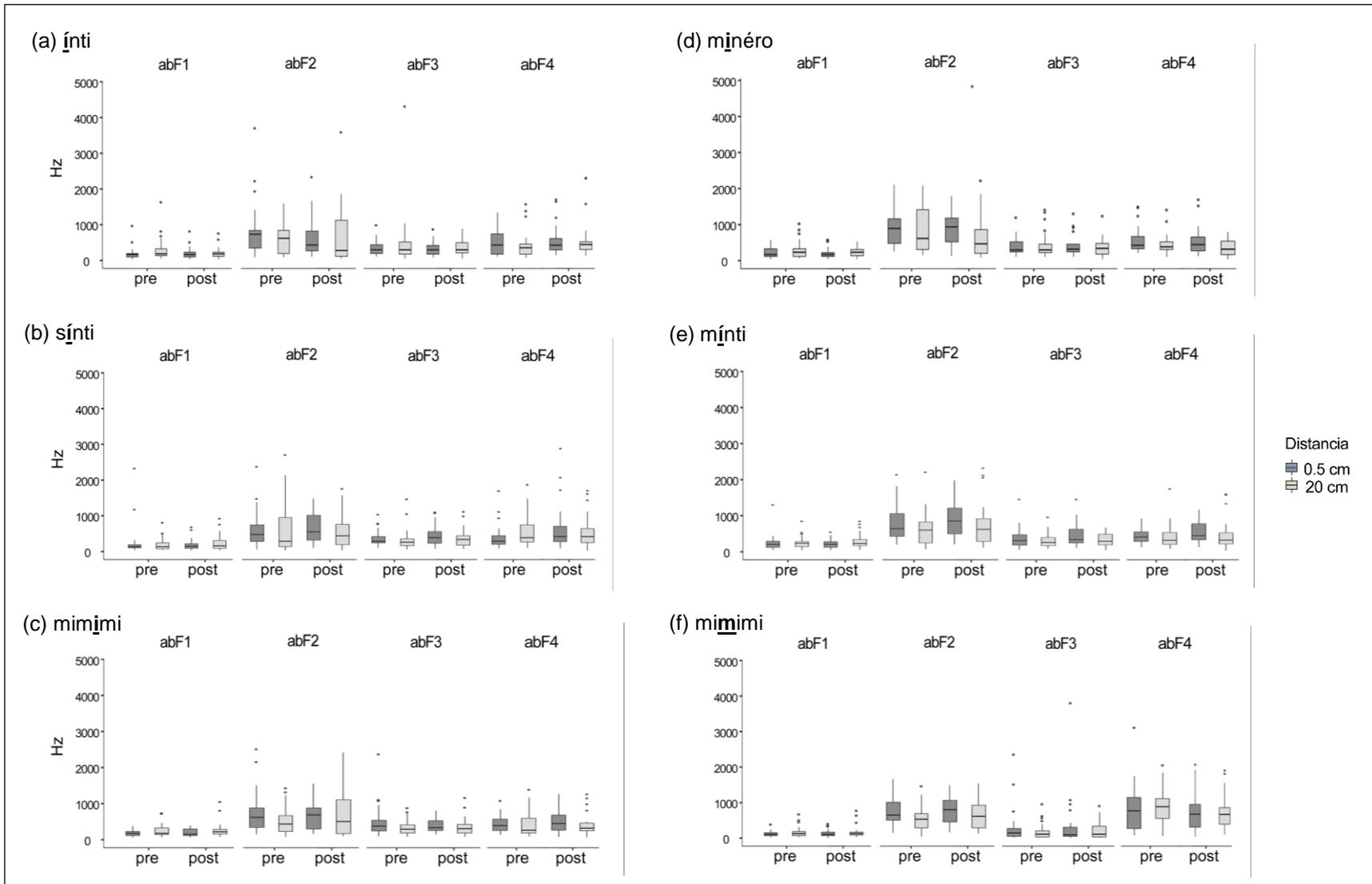
**Figura 9.** Gráficos de formantes 1-4 en emisiones nasales e hipernasales (asociados a la vocal /a/) medidos a 0.5 y 20 cm de la nariz derecha, antes (pre) y después (post) de la aplicación de vasoconstrictor (n=30).



**Figura 10.** Gráficos de formantes 1-4 en emisiones nasales e hipernasales (asociados a la vocal /i/) medidos a 0.5 y 20 cm de la nariz derecha, antes (pre) y después (post) de la aplicación de vasoconstrictor (n=30).



**Figura 11.** Gráficos de anchos de banda 1-4 en emisiones nasales e hipernasales (asociados a la vocal /a/) medidos a 0.5 y 20 cm de la narina derecha, antes (pre) y después (post) de la aplicación de vasoconstrictor (n=30).



**Figura 12.** Gráficos de anchos de banda 1-4 en emisiones nasales e hipernasales (asociados a la vocal /i/) medidos a 0.5 y 20 cm de la nariz derecha, antes (pre) y después (post) de la aplicación de vasoconstrictor (n=30).

### 5.5.- Nasalidad a través de A1-P0 y A1-P1 en vocales.

Las características espectrales de nasalidad fueron obtenidas de 16 señales de vocales orales y 80 señales de vocales nasalizadas.

Primero, al observar el efecto del sexo en la medida de nasalidad A1-P0, sólo 2 (4%) de las 48 diferencias A1-P0 obtenidas fueron significativamente diferentes ( $p < 0.05$ ) entre hombres y mujeres, correspondiente a dos emisiones grabadas a 20 cm de las fosas nasales previo a la aplicación del vasoconstrictor (Test de la *U* de Mann-Whitney, papapa,  $p = 0.006$ ; manada,  $p = < .001$ ), lo que sugiere que no existen diferencias en A1-P0 mediadas por el sexo de los sujetos. Por esta razón, los resultados se analizan y presentan para el total de participantes (Tabla 12).

La Tabla 12 presenta el promedio (prom) y desviación estándar (D.E.) de la medida de nasalidad A1-P0 (en dB) para cada una de las emisiones vocálicas orales, nasales e hipernasales, a 0.5 cm de la narina derecha y a 20 cm de las fosas nasales. En la Figura 13 se observa que A1-P0 de la emisión oral de la vocal /a/ (papa) presenta valores mayores que los registrados en las emisiones nasalizadas de la misma vocal, a diferencia de las vocales /i/ oral y nasalizadas que tienden a tener valores similares (Figura 14).

En relación al efecto del vasoconstrictor en las medidas de nasalidad A1-P0 (Tabla 12) no se observaron diferencias significativas ( $p < 0.05$ , Test de Wilcoxon para datos pareados) después de su aplicación, lo que indica que el efecto del medicamento no modifica las amplitudes de A1 y P0.

Por otra parte, la baja cantidad de individuos analizados para algunas emisiones se debe a dificultades en la ejecución del *Nasality AutoMeasurement Script* que no entregó todos los resultados esperados, debido a que P0 en la vocal /i/ no puede identificarse ni medirse fácilmente por la interferencia de F1. Además, varias medidas obtenidas a los 20 cm fueron afectadas por el vasoconstrictor, que impactó significativamente en algunos anchos de banda de F1 (Tabla 11), lo cual también sugiere las dificultades en el cálculo de P0 y P1.

**Tabla 12.** Diferencia A1-P0 (en dB) de las emisiones vocálicas orales, nasales e hipernasales a 0.5 y 20 cm, antes (pre) y después (post) de la aplicación de vasoconstrictor.

Emisión	0.5 cm				valor p	20 cm				
	Pre		Post			Pre		Post		
	n	Prom(D.E.)	n	Prom(D.E.)		n	Prom(D.E.)	n	Prom(D.E.)	
pap <u>a</u> pa	30	7.27(3.3)	30	5.84(3.7)	0.22	30	9.27(5.2)	11	8.91(4.2)	0.24
á <u>n</u> ta	30	-0.39(6.6)	29	0.51(5.3)	0.62	30	2.29(8.0)	11	4.08(4.6)	0.89
sá <u>n</u> te	30	1.17(5.0)	29	0.92(7.4)	0.86	30	3.86(5.5)	11	7.17(4.3)	0.32
mam <u>a</u> ma	30	-1.07(3.9)	30	-1.31(5.9)	0.94	30	2.29(4.4)	11	2.47(4.6)	0.96
ma <u>n</u> áda	30	-2.21(5.0)	29	-1.02(5.1)	0.16	30	-0.25(6.6)	11	2.58(5.9)	0.41
ma <u>n</u> ta	30	0.23(4.8)	29	-0.69(5.5)	0.63	30	3.15(5.0)	11	4.91(4.4)	0.96
pip <u>i</u> pi	4	-4.37(2.7)	8	-2.95(2.7)	1.00	15	-0.96(3.3)	9	0.15(3.0)	0.73
í <u>n</u> ti	16	-3.64(6.3)	22	-2.96(5.5)	0.58	21	-3.4(6.7)	8	-2.76(5.6)	0.74
sí <u>n</u> ti	16	-1.6(3.4)	19	-3.08(4.9)	0.73	20	-1.8(5.4)	9	-2.23(5.1)	0.84
mim <u>i</u> mi	13	-3.58(2.8)	16	-3.64(4.0)	0.56	17	-4.32(6.0)	11	-5.89(8.8)	1.00
m <u>i</u> néro	20	-1.83(4.9)	24	-1.94(5.4)	0.92	27	-3.69(8.9)	11	-2.30(8.3)	0.62
m <u>i</u> nti	19	-2.93(3.6)	21	-2.52(4.0)	0.94	21	-2.26(4.6)	10	-6.05(8.5)	0.57

Abreviación: n, número de sujetos analizados.

Luego, al analizar el efecto del sexo en las diferencias A1-P1, 17 (35%) de las 48 medidas fueron significativamente diferentes ( $p < 0.05$ ) entre hombres y mujeres. Nueve grabadas a los 0.5 cm de la fosa nasal derecha previo al vasoconstrictor (Test de la *U* de Mann-Whitney, mamama,  $p=0.029$ ; papapa,  $p < .001$ ; ánta,  $p=0.029$ ; sánte,  $p=0.016$ ; sínti,  $p=0.008$ ; pipipi,  $p=0.001$ ; ínti,  $p=0.034$ ; manáda,  $p=0.002$ ; mínti,  $p=0.017$ ) y dos posterior al vasoconstrictor (Test de la *U* de Mann-Whitney, sánte,  $p=0.039$ ; pipipi,  $p=0.014$ ). Mientras que a los 20 cm de las fosas nasales pre-vasoconstrictor 5 emisiones se diferenciaron significativamente (Test de la *U* de Mann-Whitney, sínti,  $p=0.019$ ; pipipi,  $p < .001$ ; ínti,  $p=0.006$ ; minéro,  $p=0.022$ ; mínti,  $p=0.012$ ) y una posterior al vasoconstrictor (Test de la *U* de Mann-Whitney, sínti,  $p=0.036$ ). Esto sugiere que la diferencia de amplitud A1-P1 se diferencia más que A1-P0 entre hombres y mujeres, sin embargo el porcentaje aún es bajo. Además, el efecto de sexo en las medidas A1-P1 es variable a los 0.5 y 20 cm previo y posterior a la aplicación del vasoconstrictor. Por esto los resultados descriptivos de A1-P1 se analizan y exponen para el total de participantes (Tabla 13).

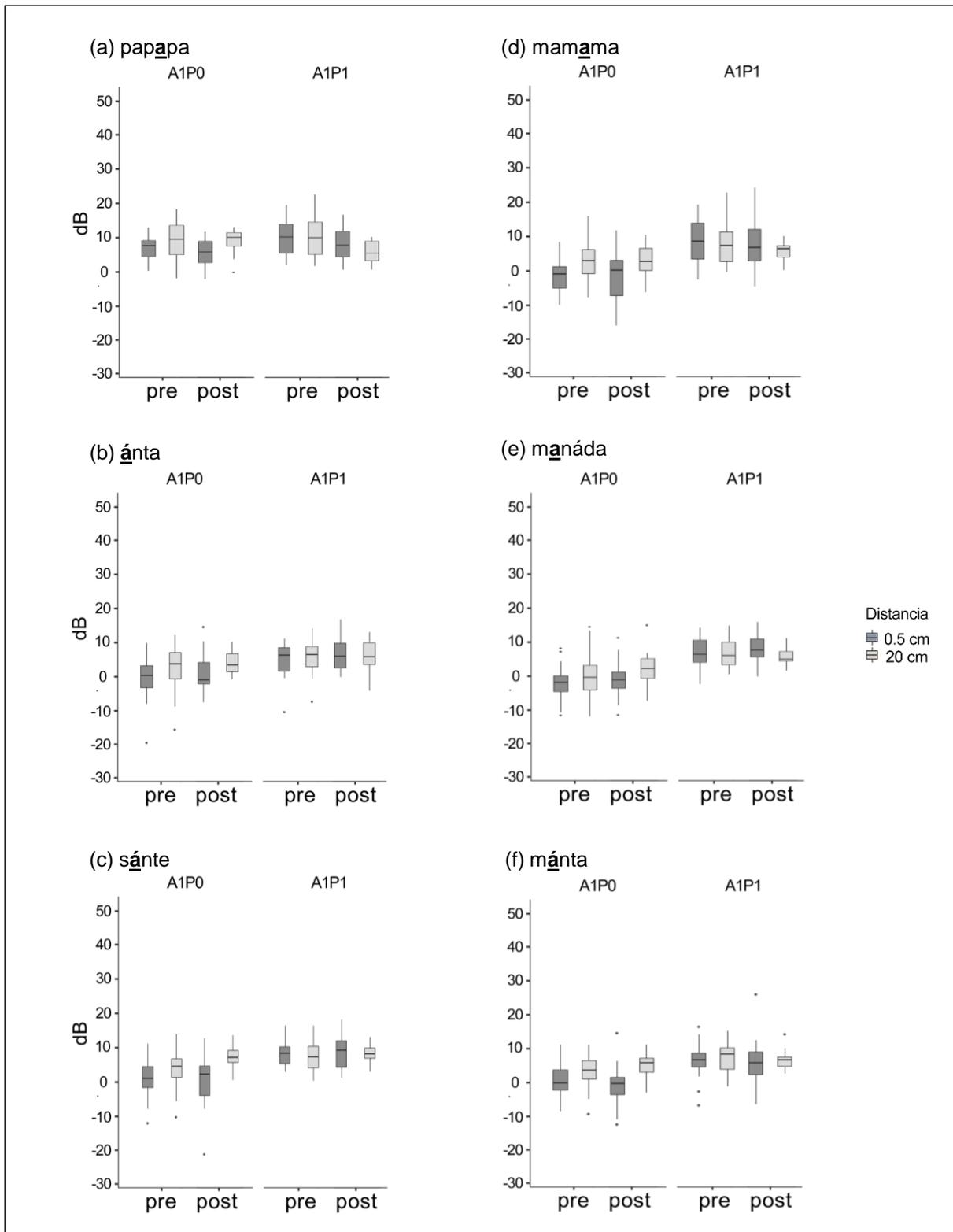
La Tabla 13 presenta el promedio (prom) y desviación estándar (D.E.) de la medida de nasalidad A1-P1 (en dB) para las mismas emisiones que en la Tabla 12. En este caso sólo se observa una diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) a los 20 cm entre las mediciones realizadas antes y después de la aplicación del vasoconstrictor (Test de Wilcoxon para datos pareados, mimimi,  $p=0.007$ ). Este hallazgo indica un bajo efecto del medicamento en la amplitud de A1 y P1, al igual que lo observado previamente en A1 y P0.

Por último, en las Figuras 13 y 14 se muestra que la diferencia A1-P1 de las vocales orales /a/ e /i/ a los 0.5 y 20 cm, antes como después de aplicar el vasoconstrictor corresponde a valores superiores a los registrados en las vocales /a/ e /i/ nasalizadas.

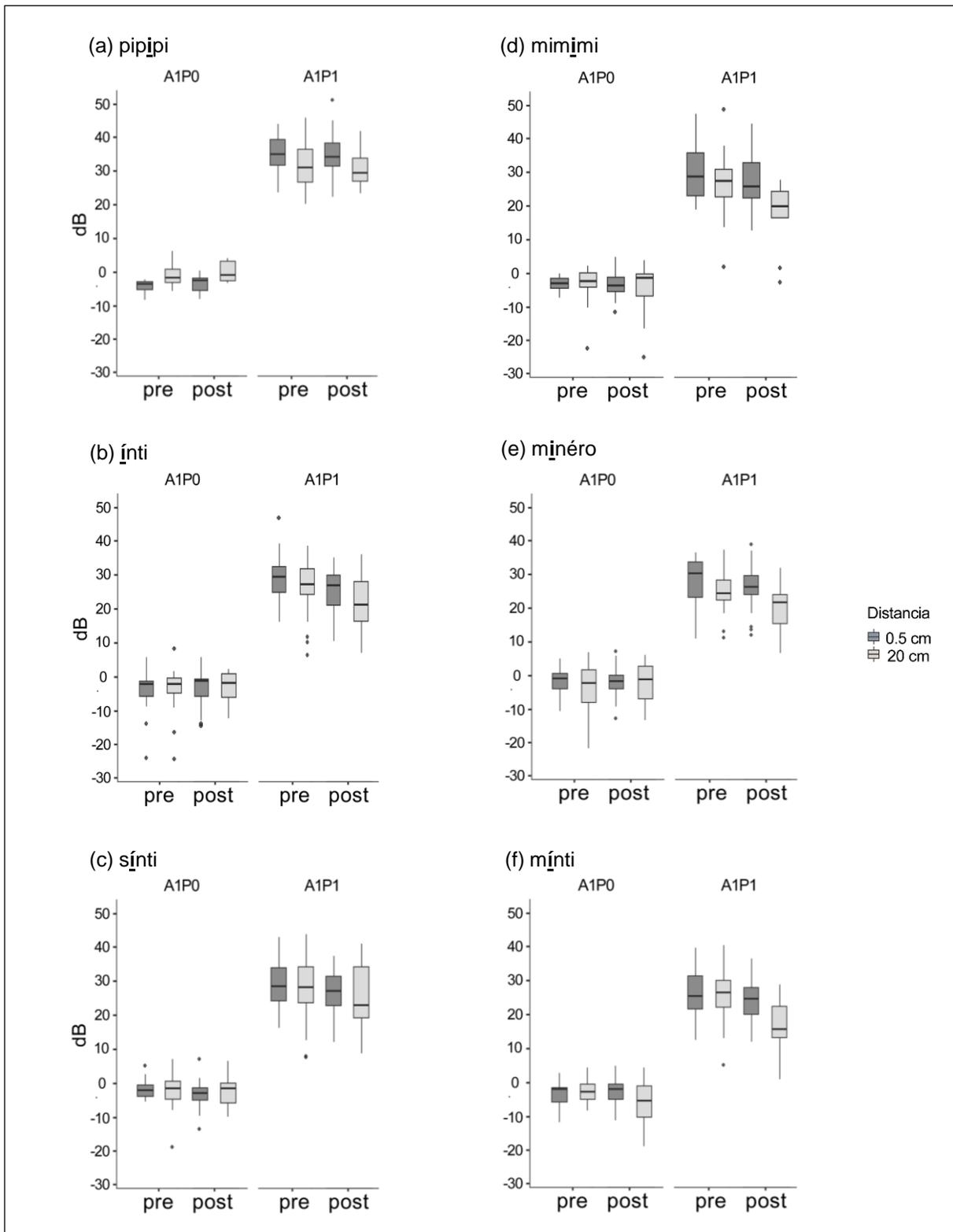
**Tabla 13.** Diferencia A1-P1 (en dB) de las emisiones vocálicas orales, nasales e hipernasales a 0.5 y 20 cm, antes (pre) y después (post) de la aplicación de vasoconstrictor. Las comparaciones que dan valores significativamente diferentes se destacan en negritas.

Emisión	0.5 cm					20 cm				
	Pre		Post		valor p	Pre		Post		valor p
	n	Prom(D.E.)	n	Prom(D.E.)		n	Prom(D.E.)	n	Prom(D.E.)	
pap <u>a</u> pa	25	9.70(5.0)	26	8.67(4.8)	0.46	24	10.69(6.0)	8	6.24(3.7)	0.84
á <u>n</u> ta	25	5.23(4.6)	26	6.44(4.8)	0.17	25	5.61(5.5)	8	6.8(6.0)	0.68
sá <u>n</u> te	24	8.3(4.0)	28	8.90(5.0)	0.38	26	7.7(5.2)	10	8.52(3.5)	0.74
mam <u>a</u> ma	27	8.08(5.4)	27	7.62(6.5)	0.69	29	8.16(5.5)	8	5.57(3.0)	0.54
ma <u>n</u> áda	29	6.84(4.8)	27	8.29(4.8)	0.20	29	6.87(4.7)	9	6.22(3.3)	0.73
ma <u>n</u> ta	27	6.61(4.5)	28	5.56(7.3)	0.94	25	7.45(4.6)	10	6.63(3.3)	0.49
pip <u>i</u> pi	30	34.75(5.6)	29	35.12(6.7)	0.89	30	31.6(6.9)	11	30.78(6.1)	0.06
í <u>n</u> ti	30	29.2(9.0)	29	25.82(8.6)	0.12	30	26.52(9.0)	11	22.13(9.3)	0.70
sí <u>n</u> ti	30	28.56(7.6)	29	27.55(6.7)	0.76	30	28.01(10.3)	11	25.82(11.0)	0.46
mim <u>i</u> mi	30	29.65(7.5)	30	27.42(7.7)	0.32	30	27.09(7.8)	11	18.54(8.9)	<b>0.00</b>
m <u>i</u> néro	30	28.21(7.3)	29	26.40(7.2)	0.16	30	24.82(7.1)	11	20.54(8.1)	0.05
m <u>i</u> nti	30	26.46(7.3)	29	25.09(6.8)	0.49	30	26.21(8.2)	11	17.29(8.8)	0.17

Abreviación: n, número de sujetos analizados.



**Figura 13.** Gráficos de diferencias A1-P0 y A1-P1 (en dB) de las emisiones vocálicas /a/ orales, nasales e hipernasales medidas a 0.5 y 20 cm de la nariz derecha, antes (pre) y después (post) de la aplicación de vasoconstrictor.



**Figura 14.** Gráficos de diferencias A1-P0 y A1-P1 (en dB) de las emisiones vocálicas /i/ orales, nasales e hipernasales medidas a 0.5 y 20 cm de la narina derecha, antes (pre) y después (post) de la aplicación de vasoconstrictor.

5.6.- Medidas de geometría nasal como predictores de las diferencias de NPS entre las emisiones nasales/hipernasales y las orales.

Como se indicó previamente, los modelos de regresión lineal diseñados para esta etapa de la investigación utilizan como variables dependientes las diferencias de NPS entre las emisiones nasales/hipernasales y orales respectivas: sánte - papapa, mamama - papapa, manáda - papapa, mánta - papapa, ánta - papapa, sínti - pipipi, mimimi - pipipi, minéro - pipipi, mimimi - pipipi, mínti - pipipi, ínti - pipipi.

Los modelos incluyen las diferencias de NPS obtenidas antes y después de la aplicación del vasoconstrictor, debido a que al comparar las emisiones, aproximadamente un 42% de éstas se diferencian significativamente (Tabla 6). Además, como menos del 30% de las medidas se diferenció significativamente entre mujeres y hombres, los modelos se analizaron sin considerar la variable sexo.

5.6.1.- Volumen nasal total como predictor de las diferencias de NPS entre las emisiones nasales/hipernasales y las orales.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos en los análisis de regresión simple considerando el volumen nasal total derecho como predictor de las emisiones a los 0.5 cm y ambos volúmenes nasales totales (derecho e izquierdo) como predictores independientes de las emisiones a los 20 cm, previo y posterior a la aplicación del vasoconstrictor.

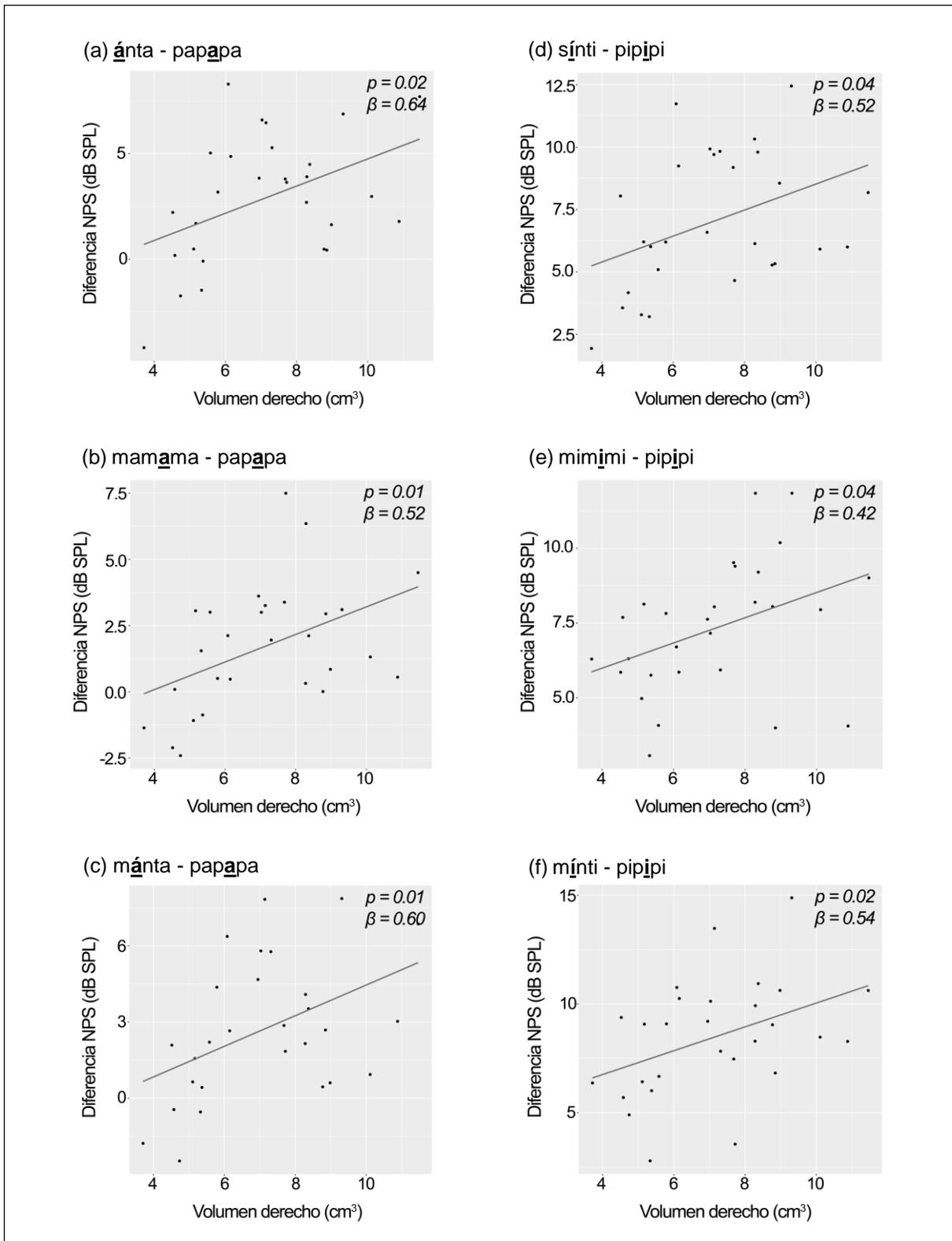
La Tabla 14 muestra el valor p de las regresiones entre el volumen total derecho como predictor de la diferencia de NPS a los 0.5 cm, pre y post-vasoconstrictor. Como se observa en la tabla, el volumen derecho pre-vasoconstrictor influye en seis diferencias de NPS (ánta - papapa,  $R^2=0.189$ ,  $R^2$  ajustado=0.158; mamama - papapa,  $R^2=0.203$ ,  $R^2$  ajustado=0.173; mánta - papapa,  $R^2=0.199$ ,  $R^2$  ajustado=0.168; sínti - pipipi,  $R^2=0.149$ ,  $R^2$  ajustado=0.116; mimimi - pipipi,  $R^2=0.147$ ,  $R^2$  ajustado=0.114; mínti - pipipi,  $R^2=0.170$ ,  $R^2$  ajustado=0.138). Sin embargo, el volumen derecho no predice diferencias de NPS luego de la aplicación del vasoconstrictor. Lo que nos sugiere que el medicamento afecta las diferencias de

NPS y el volumen nasal derecho determinando que las relaciones observadas previo al vasoconstrictor desaparecen.

En las rectas de regresión ( $\beta$ ) de los gráficos de dispersión de la Figura 15 se observa la relación directa entre las variables (gráficos a-f). Lo que nos indica que a 0.5 cm previo al vasoconstrictor, un mayor volumen nasal total derecho aumenta la diferencia de NPS entre las emisiones nasales y orales, debido a la mayor amplitud de las consonantes nasales y vocales nasalizadas.

**Tabla 14.** Modelos de regresión lineal simple (valor  $p$ ) entre el volumen nasal derecho como predictor de las diferencias de NPS, a los 0.5 cm antes (pre) y después (post) de la aplicación de vasoconstrictor ( $n=30$ ). Los modelos que dan valores significativos se destacan en negritas.

Diferencia de NPS (emisiones)	Pre	Post
	Volumen derecho	Volumen derecho
<b>á</b> nta - pap <u>a</u> pa	<b>0.020</b>	0.291
s <b>á</b> nte - pap <u>a</u> pa	0.060	0.302
mam <u>a</u> ma - pap <u>a</u> pa	<b>0.015</b>	0.227
ma <u>n</u> áda - pap <u>a</u> pa	0.090	0.186
m <b>á</b> nta - pap <u>a</u> pa	<b>0.017</b>	0.191
ma <u>m</u> ama - pap <u>a</u> pa	0.073	0.436
<b>í</b> nti - pip <u>i</u> pi	0.289	0.876
s <b>í</b> nti - pip <u>i</u> pi	<b>0.042</b>	0.332
mim <u>i</u> mi - pip <u>i</u> pi	<b>0.043</b>	0.532
mi <u>n</u> éro - pip <u>i</u> pi	0.331	0.886
m <b>í</b> nti - pip <u>i</u> pi	<b>0.028</b>	0.241
mi <u>m</u> imi - pip <u>i</u> pi	0.103	0.516



**Figura 15.** Gráficos de dispersión con rectas de regresión (a-f), de las diferencias de NPS influenciadas significativamente por el predictor (volumen derecho), a los 0.5 cm antes de la aplicación de vasoconstrictor.

Las regresiones realizadas entre los volúmenes nasales totales (derecho e izquierdo) como predictores de las diferencias de NPS a los 20 cm, no muestran relaciones estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ) entre las variables, previo y posterior a la aplicación del vasoconstrictor (Tabla 15). Lo que descarta una relación entre el volumen nasal y los NPS a los 20 cm. Estos resultados no coinciden con lo observado a 0.5 cm previo al vasoconstrictor.

**Tabla 15.** Modelos de regresión lineal simple (valor  $p$ ) entre el volumen nasal total (derecho e izquierdo) como predictor de las diferencias de NPS, a los 20 cm antes (pre) y después (post) de la aplicación de vasoconstrictor ( $n=30$ ).

Diferencia de NPS (emisiones)	Pre		Post	
	Volumen der	Volumen izq	Volumen der	Volumen izq
ánta - papapa	0.228	0.355	0.548	0.086
sánte - papapa	0.354	0.063	0.604	0.053
mamáma - papapa	0.266	0.301	0.454	0.365
manáda - papapa	0.574	0.951	0.367	0.873
mánta - papapa	0.217	0.146	0.450	0.092
mamáma - papapa	0.747	0.066	0.728	0.303
ínti - pipipi	0.796	0.542	0.810	0.310
sínti - pipipi	0.825	0.653	0.712	0.092
mimími - pipipi	0.594	0.089	0.817	0.089
minéro - pipipi	0.714	0.530	0.789	0.994
mínti - pipipi	0.894	0.816	0.372	0.250
mimími - pipipi	0.653	0.301	0.663	0.357

Abreviaciones: der, derecho; izq, izquierdo.

### 5.6.2.- Áreas de menor sección transversal como predictores de las diferencias de NPS entre las emisiones nasales/hipernasales y las orales.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos en los análisis de regresión múltiple considerando las áreas de menor sección transversal de la fosa nasal derecha (MCA1 derecho y MCA2 derecho) como predictores de las emisiones a los 0.5 cm, y las áreas de menor sección transversal de cada fosa nasal (MCA1 derecho y MCA2 derecho; MCA1 izquierdo y MCA2 izquierdo) como predictores de las emisiones a los 20 cm, previo y posterior a la aplicación del vasoconstrictor.

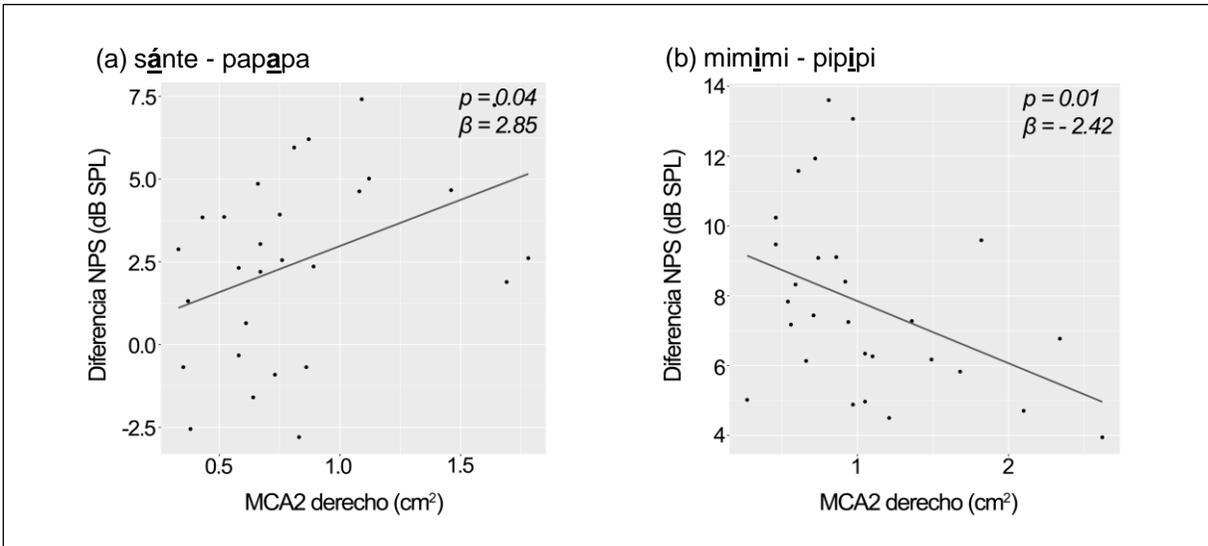
La Tabla 16 muestra el valor p de las regresiones entre MCA1 derecho y MCA2 derecho como predictores de la diferencia de NPS, a los 0.5 cm pre y post-vasoconstrictor. Como se observa, previo a la aplicación del vasoconstrictor MCA2 derecho solo predice una diferencia de NPS (sánte - papapa,  $R^2=0.159$ ,  $R^2$  ajustado=0.092), mientras que luego de la aplicación de vasoconstrictor MCA2 derecho predice una diferencia de NPS (mimimi - pipipi,  $R^2=0.211$ ,  $R^2$  ajustado=0.148). Estos resultados muestran que MCA1 no se relaciona con el NPS de las emisiones y sugieren una débil relación entre MCA2 y los NPS.

Al respecto, en las rectas de regresión ( $\beta$ ) de los gráficos de dispersión de la Figura 16 se observa la relación directa entre MCA2 derecho y una diferencia de NPS pre-vasoconstrictor (gráfico a), y la relación inversa entre MCA2 derecho y una diferencia de NPS post-vasoconstrictor (gráfico b). Esta información nos indica que las dos únicas relaciones observadas, además de ocurrir en vocales diferentes, una previo y otra posterior al vasoconstrictor, también se relacionan de forma contraria, una directa y otra inversa. Este hallazgo complementa la conclusión de que las áreas de menor sección transversal nasal no tendrían relación con los NPS de las emisiones.

**Tabla 16.** Modelos de regresión lineal múltiple (valor p) entre áreas de menor sección transversal (MCA1\_der y MCA2\_der) como predictores de las diferencias de NPS, a los 0.5 cm antes (pre) y después (post) de la aplicación de vasoconstrictor (n=30). Los modelos que dan valores significativos se destacan en negritas.

Diferencia de NPS (emisiones)	Pre		Post	
	MCA1 der	MCA2 der	MCA1 der	MCA2 der
ánta - papapa	0.533	0.086	0.833	0.864
sánte - papapa	0.882	<b>0.044</b>	0.578	0.414
mamáma - papapa	0.754	0.407	0.709	0.880
manáda - papapa	0.826	0.992	0.713	0.749
mánta - papapa	0.982	0.069	0.973	0.847
mamáma - papapa	0.561	0.839	0.894	0.331
ínti - pipipi	0.537	0.153	0.342	0.860
sínti - pipipi	0.737	0.207	0.562	0.701
mimími - pipipi	0.643	0.088	0.220	<b>0.016</b>
mínéro - pipipi	0.424	0.313	0.836	0.281
mínti - pipipi	0.610	0.666	0.790	0.756
mimími - pipipi	0.304	0.122	0.589	0.050

Abreviación: der, derecho.



**Figura 16.** Gráficos de dispersión con rectas de regresión, de predictor (MCA2 derecho) que impacta significativamente en las diferencias de NPS, a los 0.5 cm antes (a) y después de la aplicación de vasoconstrictor (b).

Luego, las Tablas 17 y 18 muestran el valor p de las regresiones entre MCA1 derecho, MCA2 derecho, MCA1 izquierdo y MCA2 izquierdo como predictores de las diferencias de NPS, a los 20 cm pre y post-vasoconstrictor respectivamente.

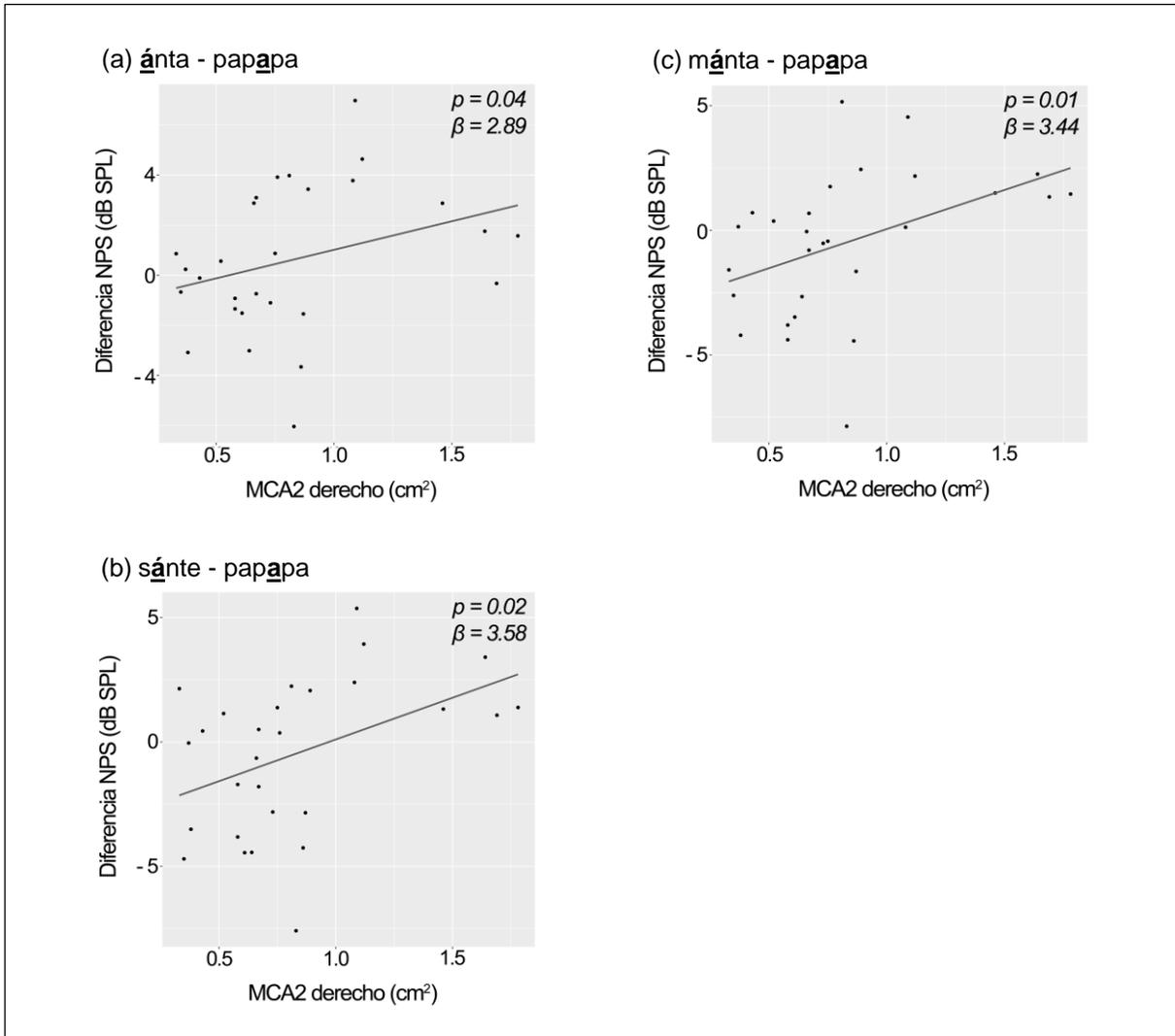
Como se observa en la Tabla 17, previo al vasoconstrictor solo MCA2 derecho es un predictor de tres diferencias de NPS (ánta - papapa,  $R^2=0.168$ ,  $R^2$  ajustado=0.101; sánte - papapa,  $R^2=0.194$ ,  $R^2$  ajustado=0.129; mánta - papapa,  $R^2=0.202$ ,  $R^2$  ajustado=0.138). Esta información señala que las primeras áreas de menor sección transversal (MCA1 derecho y MCA1 izquierdo) no se relacionan con el NPS de las emisiones, en tanto que sugieren una débil relación entre MCA2 derecho y las diferencias de NPS.

Al respecto, en las rectas de regresión ( $\beta$ ) de los gráficos de dispersión de la Figura 17 se observa la relación directa entre las variables (gráficos a-c). Estos resultados son similares al hallazgo observado en el gráfico a de la figura anterior.

**Tabla 17.** Modelos de regresión lineal múltiple (valor p) entre áreas de menor sección transversal (MCA1 derecho y MCA2 derecho; MCA1 izquierdo y MCA2 izquierdo) como predictores de las diferencias de NPS, a los 20 cm antes de la aplicación de vasoconstrictor (n=30). Los modelos que dan valores significativos se destacan en negritas.

Diferencia de NPS (emisiones)	MCA1 der	MCA2 der	MCA1 izq	MCA2 izq
á <u>nta</u> - pap <u>a</u> pa	0.162	<b>0.046</b>	0.333	0.573
sá <u>nte</u> - pap <u>a</u> pa	0.620	<b>0.022</b>	0.238	0.696
ma <u>m</u> ama - pap <u>a</u> pa	0.268	0.120	0.304	0.829
ma <u>n</u> áda - pap <u>a</u> pa	0.276	0.772	0.938	0.456
ma <u>á</u> nta - pap <u>a</u> pa	0.483	<b>0.018</b>	0.213	0.896
ma <u>m</u> ama - pap <u>a</u> pa	0.746	0.574	0.772	0.529
í <u>n</u> ti - pip <u>i</u> pi	0.259	0.146	0.349	0.600
sí <u>n</u> ti - pip <u>i</u> pi	0.395	0.156	0.694	0.894
mi <u>m</u> imi - pip <u>i</u> pi	0.976	0.122	0.701	0.916
mi <u>n</u> éro - pip <u>i</u> pi	0.129	0.742	0.245	0.213
mi <u>n</u> ti - pip <u>i</u> pi	0.411	0.391	0.375	0.797
mi <u>m</u> imi - pip <u>i</u> pi	0.878	0.175	0.875	0.608

Abreviaciones: der, derecho; izq, izquierdo.



**Figura 17.** Gráficos de dispersión con rectas de regresión (a-c), de predictor (MCA2 derecho) que impacta significativamente en las diferencias de NPS, a los 20 cm antes de la aplicación de vasoconstrictor.

Por último, ningún área de menor sección transversal predice diferencias de NPS, a los 20 cm posterior a la aplicación del vasoconstrictor (Tabla 18).

**Tabla 18.** Modelos de regresión lineal múltiple (valor p) entre áreas de menor sección transversal (MCA1 derecho y MCA2 derecho; MCA1 izquierdo y MCA2 izquierdo) como predictores de las diferencias de NPS, a los 20 cm posterior a la aplicación de vasoconstrictor.

Diferencia de NPS (emisiones)	MCA1 der	MCA2 der	MCA1 izq	MCA2 izq
á <u>nta</u> - pap <u>a</u> pa	0.684	0.572	0.454	0.069
sá <u>nte</u> - pap <u>a</u> pa	0.166	0.172	0.174	0.314
mam <u>a</u> ma - pap <u>a</u> pa	0.088	0.254	0.112	0.417
ma <u>n</u> áda - pap <u>a</u> pa	0.649	0.612	0.439	0.251
má <u>a</u> nta - pap <u>a</u> pa	0.175	0.337	0.113	0.167
ma <u>m</u> ama - pap <u>a</u> pa	0.462	0.980	0.427	0.241
í <u>n</u> ti - pip <u>i</u> pi	0.145	0.454	0.852	0.800
sí <u>n</u> ti - pip <u>i</u> pi	0.245	0.217	0.924	0.793
mim <u>i</u> mi - pip <u>i</u> pi	0.425	0.067	0.220	0.226
mi <u>n</u> éro - pip <u>i</u> pi	0.168	0.384	0.696	0.864
mí <u>n</u> ti - pip <u>i</u> pi	0.197	0.298	0.256	0.403
mim <u>i</u> mi - pip <u>i</u> pi	0.793	0.164	0.226	0.100

Abreviaciones: der, derecho; izq, izquierdo.

La Tabla 19 muestra el resumen de las variables geométricas y las diferencias de NPS, indicando una baja proporción de correlaciones significativas del 5,09% (10 positivas y una negativa). Como se observa, los resultados presentados sugieren que los volúmenes nasales se relacionan de forma directa con el NPS.

**Tabla 19.** Resumen de relaciones directas (+) e inversas (-) entre la variables geométricas y las diferencias de NPS.

Lado	Der	Der	Der	Der	Der	Der	Der	Der	Der	Izq	Izq	Izq	Der	Der	Der	Izq	Izq	Izq
Predictor	Vol	MCA1	MCA2	Vol	MCA1	MCA2	Vol	MCA1	MCA2	Vol	MCA1	MCA2	Vol	MCA1	MCA2	Vol	MCA1	MCA2
Variable	NPS	NPS	NPS	NPS	NPS	NPS	NPS	NPS	NPS	NPS	NPS	NPS	NPS	NPS	NPS	NPS	NPS	NPS
Distancia	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Vaso	Pre	Pre	Pre	Post	Post	Post	Pre	Pre	Pre	Pre	Pre	Pre	Post	Post	Post	Post	Post	Post
ánta - papapa	+								+									
sánte - papapa			+						+									
mamáma - papapa	+																	
manáda - papapa																		
mánta - papapa	+								+									
mamáma - papapa																		
ínti - pipipi																		
sínti - pipipi	+																	
mimími - pipipi	+					-												
mínéro - pipipi																		
mínti - pipipi	+																	
mimími - pipipi																		

Abreviaciones: Der, derecho; Izq, izquierdo; Vol, volumen nasal; Vaso, vasoconstrictor.

5.7.- Medidas de geometría nasal como predictores de los formantes y anchos de banda para cada una de las emisiones nasales e hipernasales.

Los modelos diseñados para esta etapa de la investigación utilizan como variables dependientes los formantes y anchos de banda respectivos para cada una de las emisiones nasales e hipernasales a 0.5 cm de la narina derecha y a 20 cm de las fosas nasales, previo a la aplicación del vasoconstrictor, que es la condición de fonación natural. Para estos análisis no se consideraron los datos obtenidos después de aplicar el vasoconstrictor, ya que en la gran mayoría de los casos los resultados obtenidos antes y después de la aplicación del fármaco fueron similares (Tabla 11).

Debido a que existen diferencias significativas entre hombres y mujeres en un 53.1% de los formantes y un 7.2% de los anchos de banda obtenidos en los participantes, los resultados del ítem 5.7.- reportan solo aquellos predictores que afectan las variables dependientes controlando la variable sexo. Para ello, en cada análisis se comparó un modelo base que solo contiene sexo como predictor con el modelo correspondiente que incluye los predictores geométricos de interés. Por lo tanto, solo se grafican las variables de aquellos modelos en los que la comparación entre el modelo base y el modelo con predictores de interés resultó estadísticamente significativo.

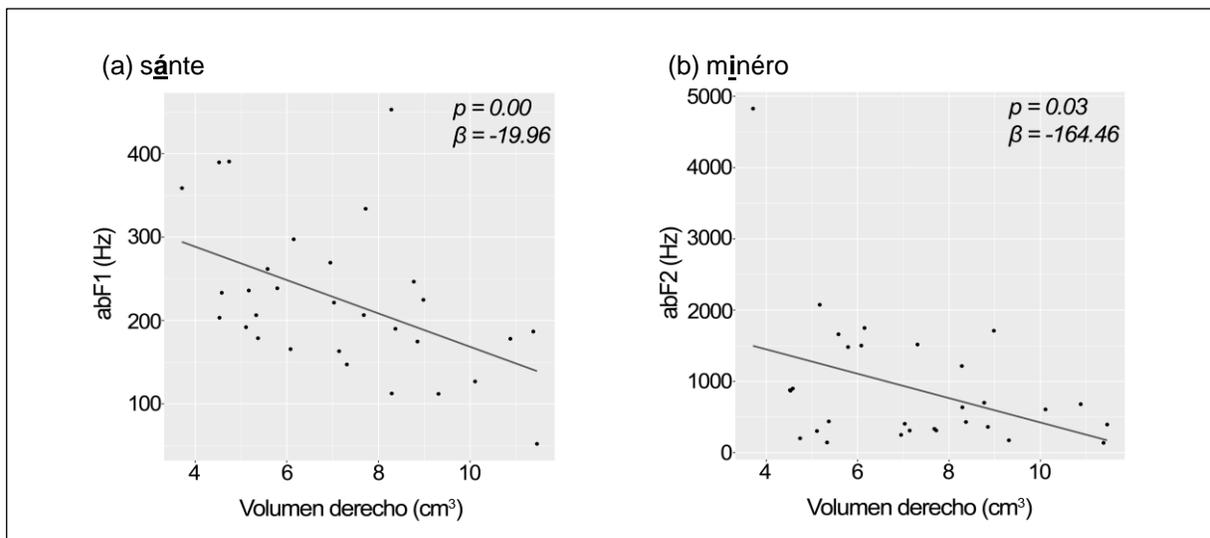
5.7.1.- Volumen nasal total como predictor de los formantes y anchos de banda para cada una de las emisiones nasales e hipernasales.

A continuación se muestran los resultados obtenidos en los análisis de regresión simple considerando el volumen nasal total derecho (volumen derecho) como predictor de las emisiones a los 0.5 cm y ambos volúmenes nasales totales (derecho e izquierdo) como predictores independientes de las emisiones a los 20 cm, previo a la aplicación del vasoconstrictor.

Como se observa en los gráficos de dispersión (a y b) de la Figura 18, a los 0.5 cm pre-vasoconstrictor, el volumen total derecho solo influye en los anchos de

banda de dos emisiones (abF1 de sánte,  $R^2=0.231$ ,  $R^2$  ajustado=0.174; abF2 de mínéro,  $R^2=0.182$ ,  $R^2$  ajustado=0.122). Estos resultados indican que los volúmenes nasales no se relacionan con los formantes de la vocales nasalizadas y sugieren una débil relación entre el volumen total derecho y los anchos de banda de las emisiones.

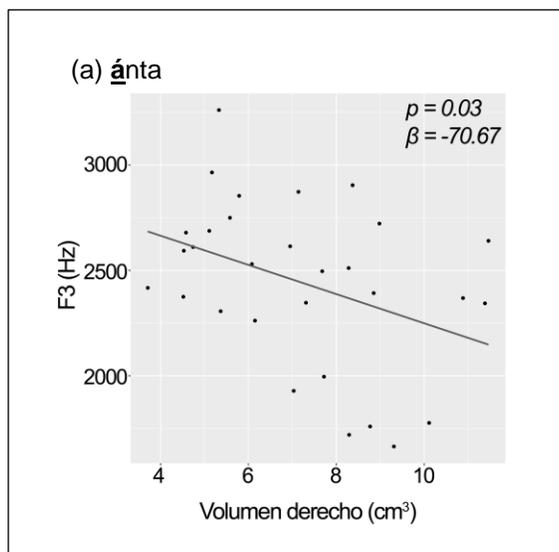
Al respecto, en las rectas de regresión ( $\beta$ ) de los gráficos de la Figura 18 se observa la relación inversa del volumen nasal derecho con el abF1 de la vocal /a/ nasal (gráfico a) y el abF2 de la vocal /i/ hipernasal (gráfico b). Lo que nos indica que a 0.5 cm, un mayor volumen nasal total derecho disminuye el ancho de banda de dos vocales nasalizadas. Este hallazgo muestra que los volúmenes nasales tienden a relacionarse de forma inversa con el ancho de banda de las emisiones. Sin embargo, el número de correlaciones significativas es considerablemente bajo.



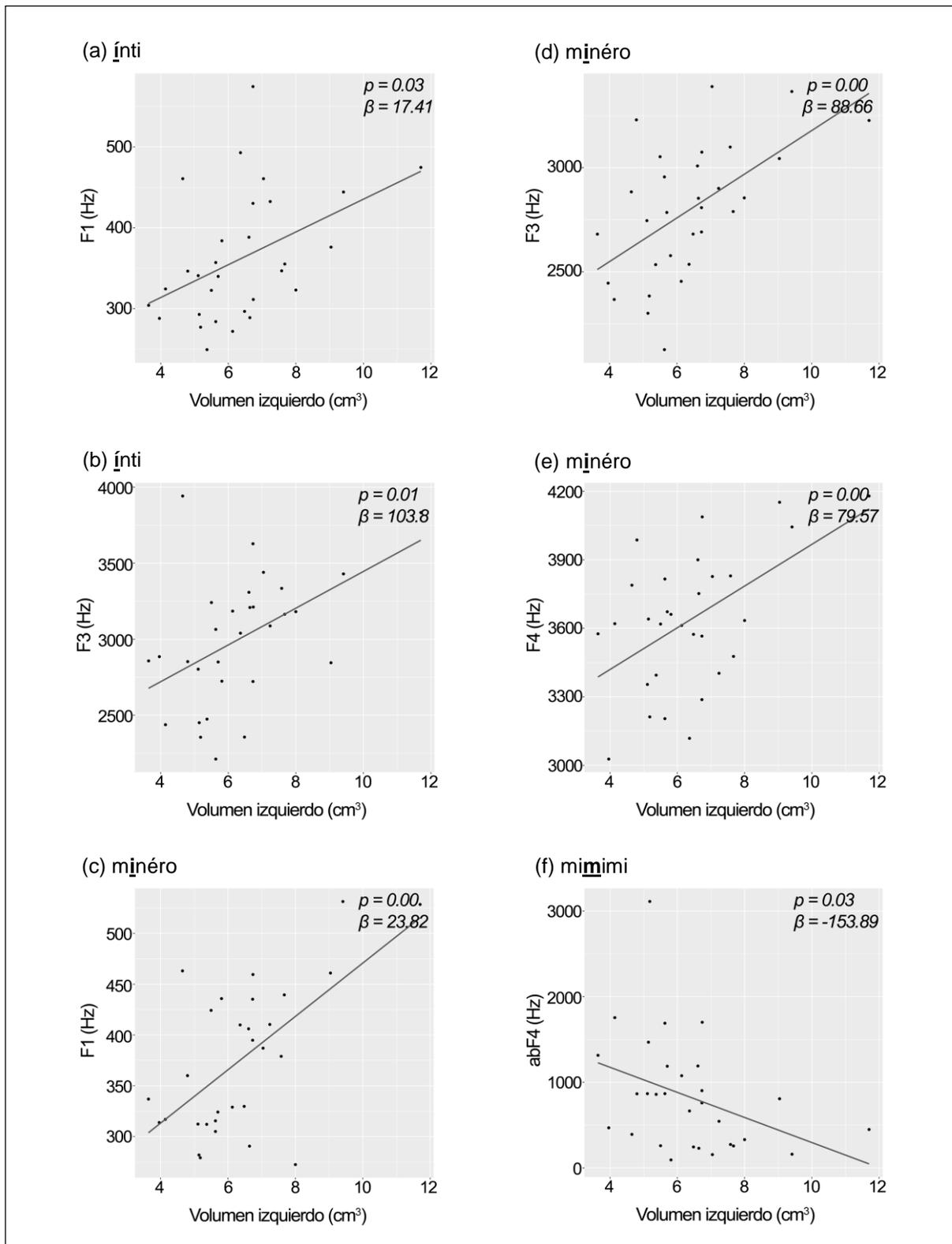
**Figura 18.** Gráficos de dispersión con rectas de regresión (a y b), de anchos de banda influenciados significativamente por el predictor (volumen derecho), a los 0.5 cm antes de la aplicación de vasoconstrictor.

Luego, como se observa en el gráfico de dispersión de la Figura 19. A los 20 cm pre-vasoconstrictor, el volumen total derecho solo influye en el formante de una vocal /a/ (F3 de ánta,  $R^2=0.151$ ,  $R^2$  ajustado=0.088). Mientras que en la Figura 20 observamos que el volumen total izquierdo predice formantes en dos vocales /i/ (F1 de ínti,  $R^2=0.274$ ,  $R^2$  ajustado=0.220; F3 de ínti,  $R^2=0.318$ ,  $R^2$  ajustado=0.267; F1 de mínéro,  $R^2=0.441$ ,  $R^2$  ajustado=0.4; F3 de mínéro,  $R^2=0.471$ ,  $R^2$  ajustado=0.432; F4 de mínéro,  $R^2=0.359$ ,  $R^2$  ajustado=0.312) y el ancho de banda en una consonante nasal asociada a la vocal /i/ (abF4 de mímimi,  $R^2=0.152$ ,  $R^2$  ajustado=0.089). Estos resultados, a diferencia de los obtenidos a 0.5 cm, sugieren una débil relación entre los volúmenes nasales y los formantes de las emisiones, principalmente relacionados a la vocal /i/.

En la recta de regresión ( $\beta$ ) del gráfico (a) de la Figura 19 se observa la relación inversa entre el volumen total derecho y F3 de una vocal /a/. En tanto que en las rectas de regresión ( $\beta$ ) de los gráficos de la Figura 20 se observa una relación directa entre el volumen total izquierdo y los formantes de las vocales /i/ nasal e hipernasal (gráficos a-e). Mientras que el gráfico (f) muestra la relación inversa entre el volumen total izquierdo y el abF4 de la consonante nasal. Este resultado indica que los volúmenes nasales se relacionan en una baja proporción con los formantes y anchos de banda de las vocales nasalizadas y consonantes nasales.



**Figura 19.** Gráfico de dispersión con recta de regresión (a), de formante influenciado significativamente por el predictor (volumen derecho), a los 20 cm antes de la aplicación de vasoconstrictor.



**Figura 20.** Gráficos de dispersión con rectas de regresión, de predictor (volumen izquierdo) que impacta significativamente en los formantes (a-e) y anchos de banda (f), a los 20 cm antes de la aplicación de vasoconstrictor.

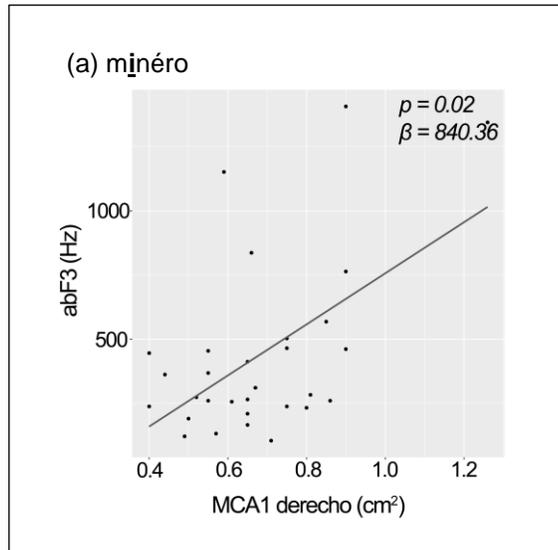
5.7.2.- Áreas de menor sección transversal como predictores de los formantes y anchos de banda para cada una de las emisiones nasales e hipernasales.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos en los análisis de regresión múltiple. Primero, considerando las áreas de menor sección transversal de la fosa nasal derecha (MCA1 derecho y MCA2 derecho) como predictores de los formantes (F1, F2, F3, F4) y anchos de banda (abF1, abF2, abF3, abF4) para cada una de las emisiones nasales e hipernasales a los 0.5 cm. Y segundo, modelando las áreas de menor sección transversal de cada fosa nasal (MCA1 derecho y MCA2 derecho; MCA1 izquierdo y MCA2 izquierdo) como predictores de las mismas variables dependientes (formantes y anchos de banda) pero a los 20 cm. Ambos previo a la aplicación del vasoconstrictor.

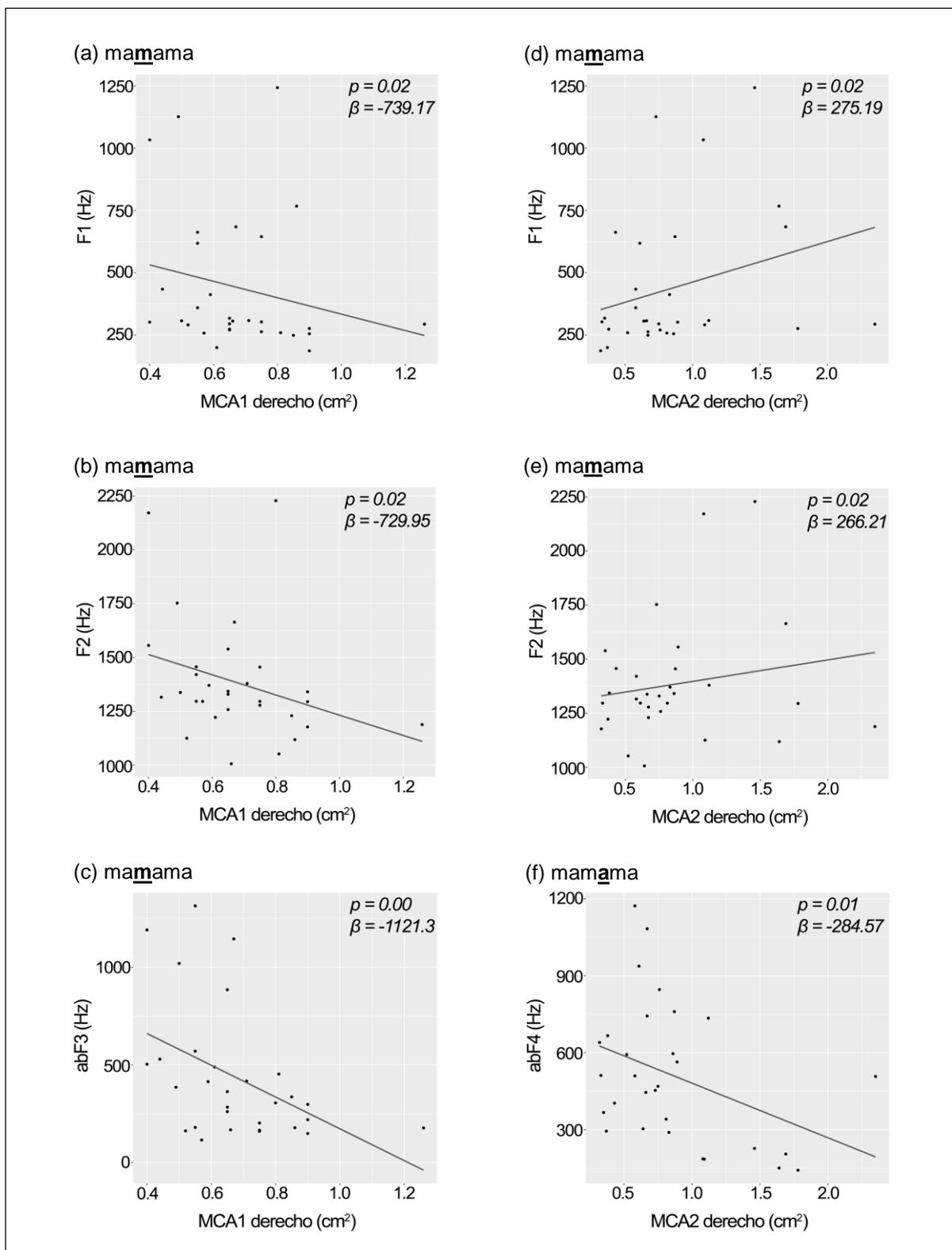
Como se observa en los gráficos de dispersión de las Figura 21 y 22. A los 0.5 cm pre-vasoconstrictor, MCA1 derecho predice formantes y anchos de banda en dos emisiones diferentes (F1 de mammama,  $R^2=0.249$ ,  $R^2$  ajustado=0.162; F2 de mammama,  $R^2=0.258$ ,  $R^2$  ajustado=0.173; abF3 de mammama,  $R^2=0.285$ ,  $R^2$  ajustado=0.202; abF3 de minéro,  $R^2=0.315$ ,  $R^2$  ajustado=0.236), similar a MCA2 derecho que influye en formantes y anchos de banda de dos emisiones (F1 de mammama,  $R^2=0.249$ ,  $R^2$  ajustado=0.162; F2 de mammama,  $R^2=0.258$ ,  $R^2$  ajustado=0.173; abF4 de mamaama,  $R^2=0.234$ ,  $R^2$  ajustado=0.146). Lo que sugiere que ambas áreas de menor sección trasnversal de la fosa nasal derecha se relacionan con el espectro de las emisiones.

En la recta de regresión ( $\beta$ ) del gráfico (a) de la Figura 21 se observa que el abF3 de la vocal /i/ presenta una relación directa con MCA1 derecho. En tanto, las rectas de regresión ( $\beta$ ) de los gráficos de dispersión de la Figura 22, muestran una relación inversa entre MCA1 derecho y F1 (gráfico a), F2 (gráfico b) y abF3 (gráfico c) de la consonante nasal /m/, además de una relación directa de MCA2 derecho con F1 y F2 de la consonante nasal /m/ (gráficos d y e), contrario del abF4 de la vocal /a/ hipernasal que presenta una relación inversa con MCA2 derecho (gráfico f). Los resultados muestran una tendencia a la relación directa de MCA2 derecho con los formantes de la consonante nasal, contrario a lo observado con MCA1 derecho. Por

otra parte, no se obtuvieron hallazgos que relacionen las áreas de menor sección transversal con los formantes de vocales nasalizadas.



**Figura 21.** Gráfico de dispersión con recta de regresión (a), de ancho de banda influenciado significativamente por el predictor (MCA1 derecho), a los 0.5 cm antes de la aplicación de vasoconstrictor.



**Figura 22.** Gráficos de dispersión con rectas de regresión, de predictores (MCA1 derecho y MCA2 derecho) que impactan significativamente en los formantes (a,b,d,e) y anchos de banda (c,f), a los 0.5 cm antes de la aplicación de vasoconstrictor.

Finalmente, a los 20 cm pre-vasoconstrictor no se registró influencia de los predictores (MCA1 derecho, MCA2 derecho y MCA1 izquierdo, MCA2 izquierdo) en los formantes (F1, F2, F3, F4) y anchos de banda (abF1, abF2, abF3, abF4) para cada una de las emisiones nasales e hipernasales. La ausencia de resultados a 20 cm rechaza una relación entre las áreas de menor sección transversal nasal y los formantes y anchos de banda de vocales nasalizadas y consonantes nasales

La Tabla 20 muestra el resumen de las variables geométricas y las formantes F1-4, indicando una baja proporción de correlaciones significativas (2.3%, 7 positivas y 3 negativas). Como se observa, los resultados obtenidos en esta etapa del estudio no apoyan una relación entre las variables analizadas.

**Tabla 20.** Resumen de relaciones directas (+) e inversas (-) entre las variables geométricas y los formantes.

Lado	Der	Izq	Izq	Izq	Der	Der	Der	Der
Predictor	Vol	Vol	Vol	Vol	MCA1	MCA1	MCA2	MCA2
Variable	F3	F1	F3	F4	F1	F2	F1	F2
Distancia	20	20	20	20	0.5	0.5	0.5	0.5
Vaso	Pre	Pre	Pre	Pre	Pre	Pre	Pre	Pre
á <u>nta</u>	-							
sá <u>nte</u>								
mam <u>a</u> ma								
ma <u>n</u> áda								
má <u>nta</u>								
í <u>nti</u>		+	+					
sí <u>nti</u>								
mim <u>i</u> mi								
m <u>i</u> néro		+	+	+				
m <u>i</u> nti								
ma <u>m</u> ama					-	-	+	+
mim <u>m</u> imi								

Abreviaciones: Der, derecho; Izq, izquierdo; Vol, volumen nasal; Vaso, vasoconstric

La Tabla 21 muestra el resumen de las variables geométricas y los anchos de banda abF1-4, indicando una baja proporción de correlaciones significativas (1.4%, una positiva y 5 negativas). De igual manera, a pesar de las relaciones inversas entre la geometría nasal y las vocales, los resultados presentados no apoyan una relación entre las variables analizadas.

**Tabla 21.** Resumen de relaciones directas (+) e inversas (-) entre las variables geométricas y los anchos de banda.

Lado	Der	Der	Izq	Der	Der
Predictor	Vol	Vol	Vol	MCA1	MCA2
Variable	abF1	abF2	abF4	abF3	AbF4
Distancia	0.5	0.5	20	0.5	0.5
Vaso	Pre	Pre	Pre	Pre	Pre
<u>á</u> nta					
s <u>á</u> nte	-				
mam <u>a</u> ma					-
m <u>a</u> náda					
m <u>á</u> nta					
<u>í</u> nti					
s <u>í</u> nti					
mim <u>i</u> mi					
m <u>i</u> néro		-		+	
m <u>í</u> nti					
mam <u>m</u> ama				-	
mim <u>m</u> imi			-		

Abreviaciones: Der, derecho; Izq, izquierdo; Vol, volumen nasal; Vaso, vasoconstrictor.

5.8.- Medidas de geometría nasal como predictores de las diferencias A1-P0 y A1-P1 para cada una de las emisiones vocálicas nasales e hipernasales.

Debido a la ausencia de diferencias significativas en las medidas de nasalidad (Tablas 12 y 13) asociadas a la aplicación del vasoconstrictor en las fosas nasales, además del bajo porcentaje de medidas acústicas diferencias significativamente entre hombres y mujeres (4% en A1-P0 y 35% en A1-P1), los modelos diseñados para esta última etapa de la investigación utilizan como variables dependientes los resultados obtenidos en la totalidad de los participantes previo a la aplicación del vasoconstrictor.

Las variables dependientes utilizadas en los siguientes modelos corresponden a las diferencias A1-P0 y A1-P1 en dB, registradas a 0.5 cm de la nariz derecha y a 20 cm de las fosas nasales, previo a la aplicación del vasoconstrictor. En relación a la diferencia A1-P0, son analizadas solamente las emisiones nasales e hipernasales de la vocal /a/ (ánta, sánte, mamama, manáda, mánta). Los resultados obtenidos en la diferencia A1-P0 de la vocal /i/ no son confiables debido a que los valores de las emisiones nasales e hipernasales no son mayores a los de las vocales orales, como se esperaba según la teoría (40). Por otra parte, la diferencia A1-P1 es analizada en todas las emisiones vocálicas nasales e hipernasales (ánta, sánte, mamama, manáda, mánta, ínti, sínti, mimiími, minéro, mínti).

5.8.1.- Volumen nasal total como predictor de las diferencias A1-P0 y A1-P1 para cada una de las emisiones vocálicas nasales e hipernasales.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos en los análisis de regresión simple considerando el volumen nasal total derecho como predictor de las emisiones a los 0.5 cm y ambos volúmenes nasales totales (derecho e izquierdo) como predictores independientes de las emisiones a los 20 cm, previo a la aplicación del vasoconstrictor.

Como se observa en la Tabla 22, previo a la aplicación del vasoconstrictor el volumen nasal total no predice las diferencias A1-P0 y A1-P1 para cada una de las emisiones vocálicas nasales e hipernasales ( $p < 0.05$ ). Este resultado no muestra relaciones entre el volumen nasal y los valores A1-P0 y A1-P1.

**Tabla 22.** Modelos de regresión lineal simple (valor  $p$ ) entre volumen nasal total derecho como predictor de las diferencias A1-P0 y A1-P1 a los 0.5 cm y ambos volúmenes nasales totales (derecho e izquierdo) como predictores independientes de las diferencias A1-P0 y A1-P1 a los 20 cm, antes de la aplicación de vasoconstrictor.

Emisión	0.5 cm		20 cm			
	Volumen derecho		Volumen derecho		Volumen izquierdo	
	A1-P0	A1-P1	A1-P0	A1-P1	A1-P0	A1-P1
ánta	0.724	0.728	0.723	0.882	0.301	0.182
sánte	0.177	0.695	0.216	0.726	0.779	0.181
mamáma	0.344	0.554	0.643	0.717	0.109	0.244
manáda	0.526	0.960	0.194	0.200	0.167	0.515
mánta	0.237	0.558	0.536	0.141	0.912	0.428
ínti	X	0.756	X	0.945	X	0.39
sínti	X	0.366	X	0.420	X	0.625
mimími	X	0.741	X	0.948	X	0.792
mínéro	X	0.204	X	0.132	X	0.956
mínti	X	0.583	X	0.869	X	0.991

Abreviación: X, valores que no se pudieron comparar debido a problemas técnicos (ver texto).

5.8.2.- Áreas de menor sección transversal como predictores de las diferencias A1-P0 y A1-P1 para cada una de las emisiones vocálicas nasales e hipernasales.

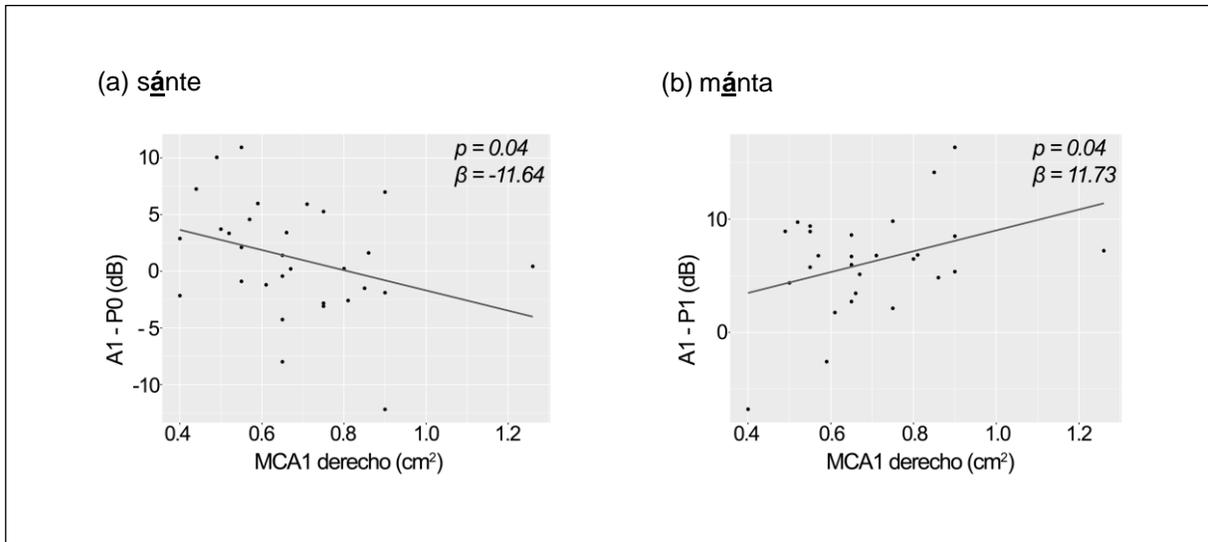
La Tabla 23 muestra el valor p de las regresiones múltiples entre las áreas de menor sección transversal de la fosa nasal derecha (MCA1 derecho y MCA2 derecho) como predictores de las diferencias A1-P0 y A1-P1, a los 0.5 cm pre-vasoconstrictor. Se observa que MCA1 derecho predice la diferencia A1-P0 de una emisión /a/ nasal (sánte,  $R^2=0.140$ ,  $R^2$  ajustado=0.076), y la diferencia A1-P1 de una emisión /a/ hipernasal (mánta,  $R^2=0.155$ ,  $R^2$  ajustado=0.085). Los datos sugieren una débil relación entre las áreas de menor sección transversal y las medidas de nasalidad.

**Tabla 23.** Modelos de regresión lineal múltiple (valor p) entre áreas de menor sección transversal (MCA1 derecho y MCA2 derecho) como predictores de las diferencias A1-P0 y A1-P1, a los 0.5 cm antes de la aplicación de vasoconstrictor. Los modelos que dan valores significativos se destacan en negritas.

Emisión	A1-P0		A1-P1	
	MCA1 derecho	MCA2 derecho	MCA1 derecho	MCA2 derecho
ánta	0.079	0.201	0.524	0.653
sánte	<b>0.045</b>	0.317	0.306	0.386
mamáma	0.836	0.996	0.266	0.809
manáda	0.165	0.373	0.059	0.833
mánta	0.633	0.938	<b>0.048</b>	0.409
ínti	X	X	0.377	0.327
sínti	X	X	0.468	0.763
mimími	X	X	0.685	0.986
mínéro	X	X	0.352	0.242
mínti	X	X	0.927	0.516

Abreviación: X, valores que no se pudieron comparar debido a problemas técnicos (ver texto).

En las rectas de regresión ( $\beta$ ) de los gráficos de dispersión de la Figura 23 se observa la relación inversa entre MCA1 derecho y la diferencia A1-P0 (gráfico a), y la relación directa entre MCA1 derecho y la diferencia A1-P1 (gráfico b). Estos resultados indican una tendencia a que las áreas de menor sección transversal se relacionan inversamente con A1-P0 y directamente con A1-P1.



**Figura 23.** Gráficos de dispersión con rectas de regresión, de predictor (MCA1 derecho) que impacta significativamente en las diferencias A1-P0 (a) y A1-P1 (b), a los 0.5 cm antes de la aplicación de vasoconstrictor.

Finalmente, la Tabla 24 muestra el valor p de las regresiones múltiples entre las áreas de menor sección transversal de cada fosa nasal (MCA1 derecho y MCA2 derecho; MCA1 izquierdo y MCA2 izquierdo) como predictores de la diferencias A1-P0 y A1-P1, a los 20 cm previo a la aplicación del vasoconstrictor.

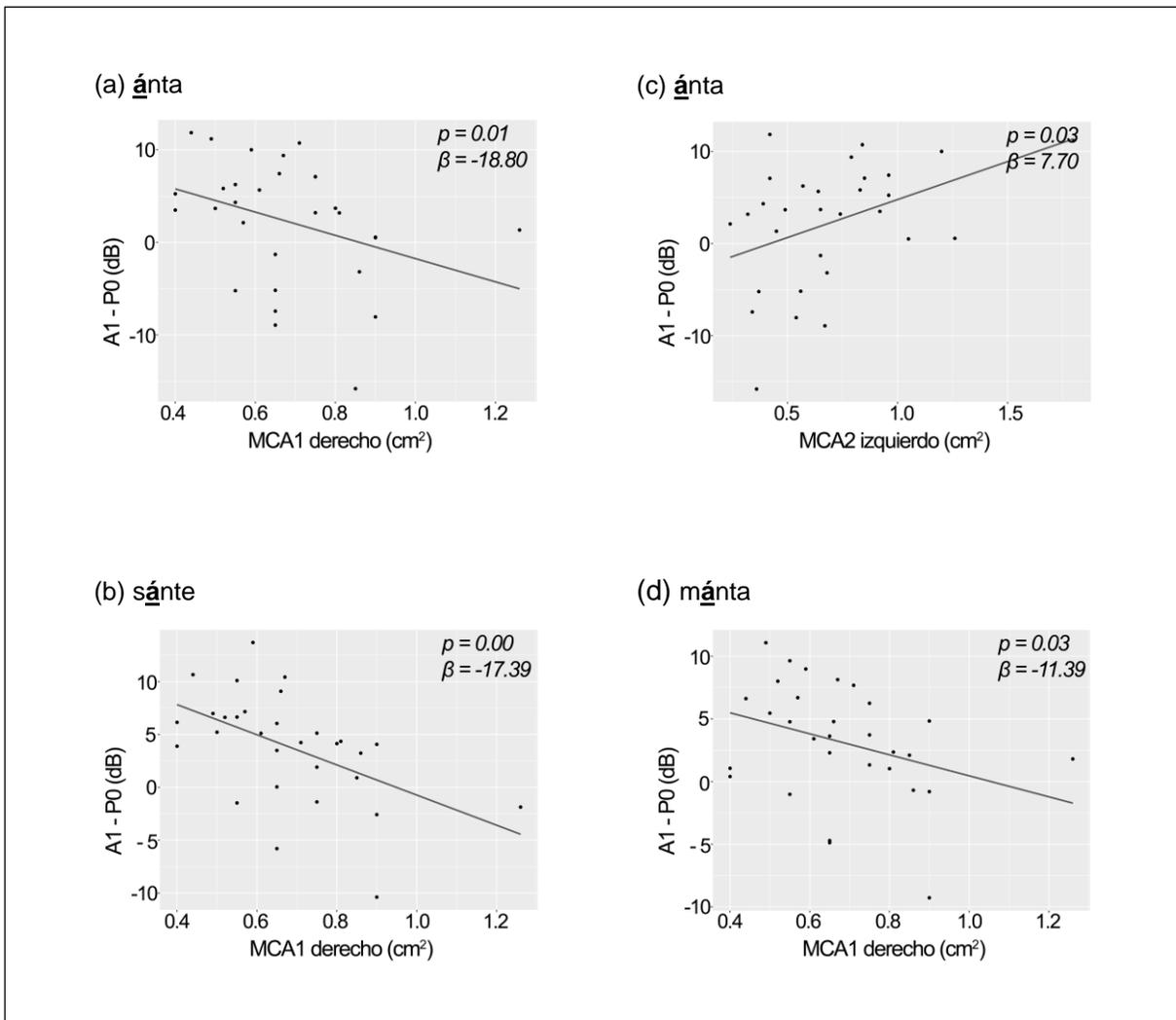
En la Tabla 24 se observa que MCA1 derecho predice la diferencia A1-P0 de tres emisiones /a/ (ánta,  $R^2=0.214$ ,  $R^2$  ajustado=0.155; sánte,  $R^2=0.303$ ,  $R^2$  ajustado=0.251; mánta,  $R^2=0.160$ ,  $R^2$  ajustado=0.098), y la diferencia A1-P1 de dos emisiones /i/ (ínti,  $R^2=0.150$ ,  $R^2$  ajustado=0.087; mínéro,  $R^2=0.236$ ,  $R^2$  ajustado=0.179). Por otra parte, MCA2 izquierdo predice la diferencia A1-P0 de una emisión /a/ (ánta,  $R^2=0.184$ ,  $R^2$  ajustado=0.124). Y por último, MCA2 derecho predice la diferencia A1-P1 de una emisión /i/ (mínéro,  $R^2=0.236$ ,  $R^2$  ajustado=0.179).

En las rectas de regresión ( $\beta$ ) de los gráficos de dispersión de la Figura 24 se observa la relación inversa entre MCA1 derecho y la diferencia A1-P0 de tres vocales /a/ (gráficos a, b y d), además de la relación directa entre MCA2 izquierdo y la diferencia A1-P0 de una emisión /a/ (gráfico c). Por otra parte, en las rectas de regresión ( $\beta$ ) de los gráficos de dispersión de la Figura 25 se observa la relación directa entre MCA1 derecho y la diferencia A1-P1 de dos vocales /i/ (gráfico a y b), y la relación inversa entre MCA2 derecho y la diferencia A1-P1 de una emisión /i/ (gráfico c). Los resultados indican una tendencia a que la primer área de menor sección transversal se relaciona directamente con el valor A1-P1 e inversamente con la medida A1-P0.

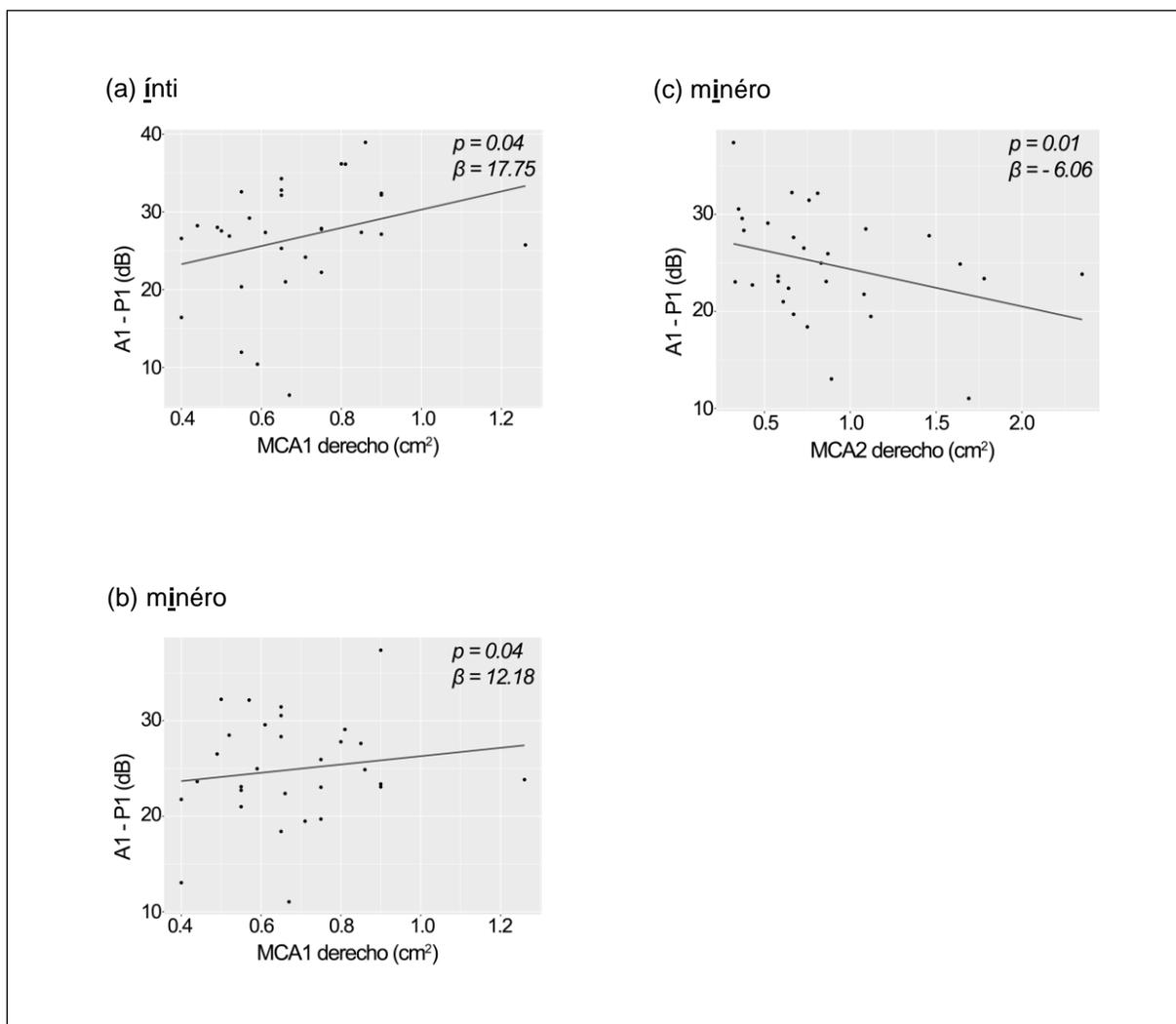
**Tabla 24.** Modelos de regresión lineal múltiple (valor p) entre áreas de menor sección transversal (MCA1 derecho y MCA2 derecho; MCA1 izquierdo y MCA2 izquierdo) como predictores de las diferencias A1-P0 y A1-P1, a los 20 cm antes de la aplicación de vasoconstrictor. Los modelos que dan valores significativos se destacan en negritas.

Emisión	A1-P0				A1-P1			
	MCA1 der	MCA2 der	MCA1 izq	MCA2 izq	MCA1 der	MCA2 der	MCA1 izq	MCA2 izq
<b>á</b> nta	<b>0.013</b>	0.081	0.534	<b>0.039</b>	0.756	0.384	0.445	0.581
<b>sá</b> nte	<b>0.002</b>	0.216	0.070	0.474	0.571	0.692	0.086	0.876
mam <b>a</b> ma	0.358	0.610	0.590	0.974	0.104	<b>0.747</b>	0.730	0.936
man <b>a</b> da	0.191	0.907	0.994	0.155	0.951	0.807	0.319	0.847
m <b>a</b> nta	<b>0.031</b>	0.227	0.154	0.172	0.494	0.326	0.175	0.624
<b>í</b> nti	X	X	X	X	<b>0.043</b>	0.147	0.525	0.165
<b>sí</b> nti	X	X	X	X	0.867	0.914	0.604	0.621
mim <b>i</b> mi	X	X	X	X	0.653	0.735	0.580	0.902
m <b>i</b> néro	X	X	X	X	<b>0.046</b>	<b>0.010</b>	0.703	0.157
m <b>í</b> nti	X	X	X	X	0.191	0.385	0.519	0.996

Abreviaciones: der, derecho; izq, izquierdo; X, valores que no se pudieron comparar debido a problemas técnicos (ver texto).



**Figura 24.** Gráficos de dispersión con rectas de regresión (a-d), de predictores (MCA1 derecho y MCA2 izquierdo) que impactan significativamente en las diferencias A1-P0, a los 20 cm antes de la aplicación de vasoconstrictor.

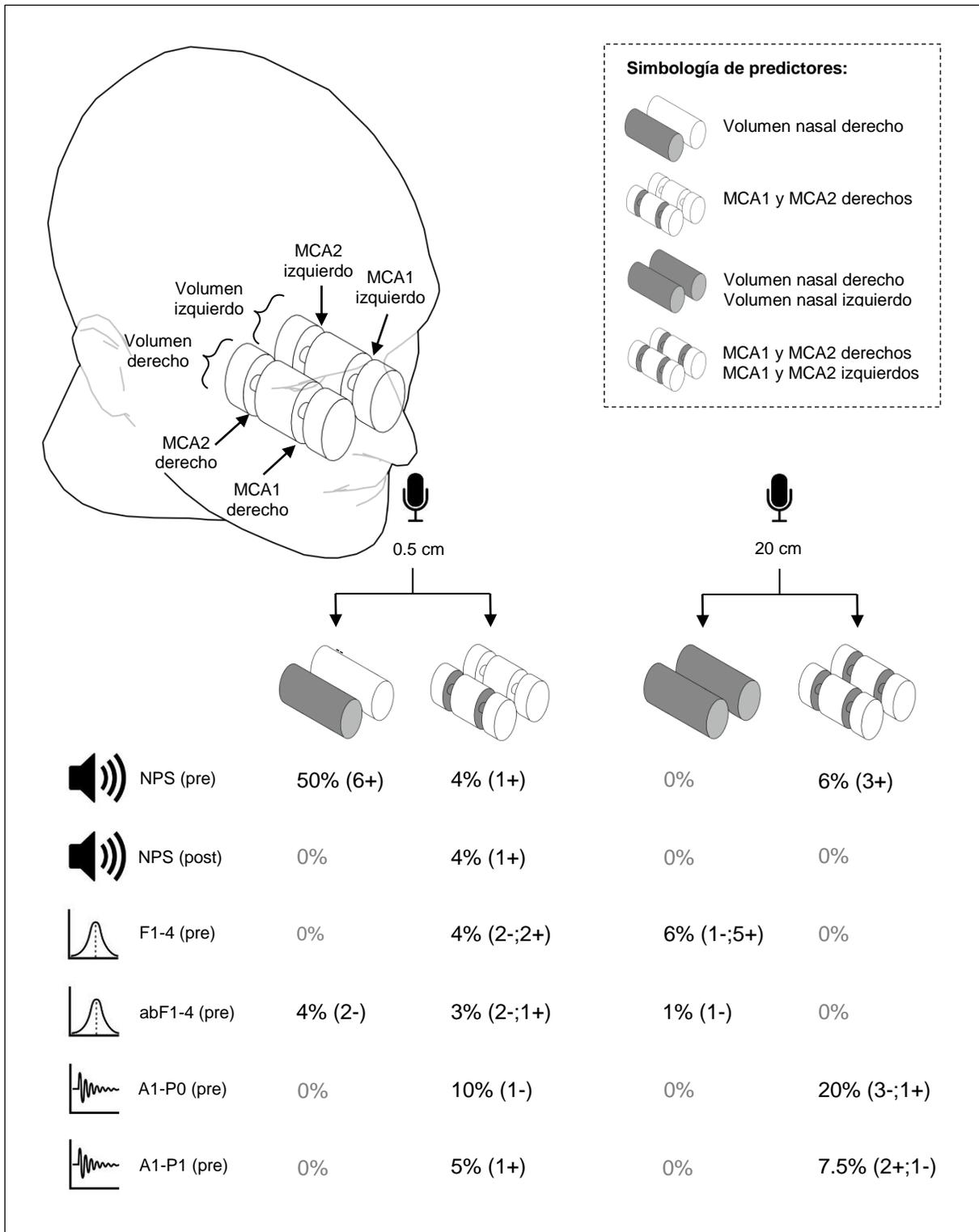


**Figura 25.** Gráficos de dispersión con rectas de regresión (a-c), de predictores (MCA1 derecho y MCA2 derecho) que impactan significativamente en las diferencias A1-P1, a los 20 cm antes de la aplicación de vasoconstrictor.

La Tabla 25 muestra el resumen de las variables geométricas y de nasalidad A1-P0 y A1-P1, indicando una baja proporción de correlaciones significativas (6.66%, 4 positivas y 5 negativas). Sin embargo, los resultados apoyan una relación entre las áreas de menor sección transversal con las medidas de nasalidad.

Finalmente, la figura 26 resume el porcentaje de relaciones significativas entre las variables geométricas y acústicas.





**Figura 26.** Diagrama de resumen de porcentajes de relaciones significativas entre el volumen nasal total, y las áreas de menor sección transversal, con las propiedades acústicas de las vocales nasalizadas y consonantes nasales (NPS, F1-4, abF1-4, A1-P0 y A1-P1), a los 0.5 cm de la fosa nasal derecha y los 20 cm de las narinas, antes (pre) y después (post) de la aplicación del vasconstrictor. 84

## 6.- DISCUSIÓN

El objetivo principal de este proyecto fue estudiar la relación de la geometría nasal con el nivel de presión sonora (NPS), los formantes (F1-4, abF1-4), y las características espectrales de nasalidad (A1-P0, A1-P1) de las señales acústicas producidas durante la emisión de vocales y consonantes nasalizadas en adultos hablantes de español chileno, sin antecedentes de alteraciones de audición, habla, voz y lenguaje y sin desviación septal e hipertrofia de cornetes moderada-severa determinada por un examen físico.

A partir de los principios de la teoría fuente filtro (3,4,13), los reportes clínicos sobre cambios en las emisiones nasales tras intervenciones médico quirúrgicas (23,27-29,34,35), los estudios fonéticos de vocales y consonantes nasalizadas en diferentes idiomas (14-16,25,26,36,40) y principalmente la perspectiva desde la comunicación sonora animal que plantea la relación entre la forma del tracto vocal y las vocalizaciones en mamíferos (26,50-53), se formuló la hipótesis de que el NPS, los formantes y el espectro de la emisión de vocales y consonantes nasalizadas estaría vinculada con los volúmenes totales nasales y las áreas de menor sección transversal en adultos sanos.

Los resultados del presente estudio aportan evidencia parcial respecto a la relación entre estas variables, debido a que las dimensiones nasales analizadas predicen con significancia estadística una baja proporción de las características de las emisiones nasales e hipernasales estudiadas.

La evaluación geométrica de la cavidad nasal obtenida con las mediciones de volumen total, MCA1 y MCA2 en cada fosa nasal (derecha e izquierda), previo y posterior a la aplicación del vasoconstrictor son coincidentes con lo reportado previamente en población chilena sana con edad promedio de 24,3 años, ya que los valores de áreas y volúmenes son similares a los obtenidos en este estudio (Figura 4), siendo también mayores luego de la aplicación de vasoconstrictor (31).

Las emisiones fueron registradas simultáneamente a dos distancias estandarizadas, similares a las utilizadas en estudios previos, una a 0.5 cm de la narina derecha (55) y otra a 20 cm de las fosas nasales (56). Este procedimiento tenía por objeto explorar relaciones entre la geometría nasal y las características de las emisiones sonoras en la cavidad y a una distancia en que se puede evaluar la estructura del sonido emitido y los posibles efectos en la comunicación de NPS, formantes y características espectrales de nasalidad.

Nivel de presión sonora de las emisiones.

En estas mediciones, los NPS son menores a 20 cm que a 0.5 cm, tanto antes como después de la aplicación del vasoconstrictor (Figura 7). A los 0.5 cm, las consonantes nasales y vocales nasalizadas presentan mayores NPS que las vocales orales (Tabla 5), lo cual ha sido descrito para vocales altas y vocales que preceden a una consonante nasal (55,61). A los 20 cm de las fosas nasales, las vocales /a/ nasalizadas tienden a presentar NPS similares a la vocal oral, en tanto que las vocales /i/ nasalizadas presentan NPS mayores que la vocal /i/ oral, lo que concuerda con lo descrito en estudios previos en que se reporta una mayor intensidad en sonidos nasales medidos a una distancia similar a 20 cm de los sujetos (58,59). Por otra parte, se ha visto que el tipo de acento también tiende a influir en los NPS, siendo mayor en vocales nasales tónicas (60), lo cual es coincidente con el presente estudio, ya que las vocales tónicas tienen mayor amplitud comparadas con las vocales átonas o sin contraste por tonicidad (Tabla 5).

Las diferencias de NPS entre las emisiones nasales y orales son mayores a 0.5 que a 20 cm (Figura 8), tanto antes como después de la aplicación del vasoconstrictor, debido a la mayor diferencia nasal-oral en dB SPL observada a los 0.5 cm (Tabla 6). A los 0.5 cm, estas diferencias (resta en dB SPL, de cada emisión nasal/hipernasal y la emisión oral correspondiente, /a/ o /i/) corresponden a valores positivos debido a la mayor amplitud de las emisiones nasales. A los 20 cm, las diferencias de NPS asociadas a la vocal /i/ también son positivas, sin embargo para

la vocal /a/, la mayoría de las diferencias son negativas, debido a que estos sonidos orales presentan mayores NPS que las emisiones nasales.

Los mayores NPS en la vocales /i/ nasales y las diferencias positivas de NPS de la vocal /i/ a los 20 cm, puede ser explicada por la configuración del tracto vocal durante la articulación de esta vocal alta, que, genera una mayor transferencia transpalatina de energía acústica respecto de vocales abiertas (12).

Por otra parte, los NPS obtenidos en este estudio muestran que el vasoconstrictor aplicado no produce aumentos sino disminuciones en las NPS que son significativas en aproximadamente un 13% de las emisiones nasales e hipernasales (Tabla 5). En contraste, el efecto del vasoconstrictor en el valor de diferencia de NPS, produce aumentos de la amplitud relativa de las emisiones nasales respecto a las orales en un 42% de los casos evaluados (Tabla 6), lo que indica una mayor sensibilidad de esta medida para detectar cambios en la nasalidad de las emisiones.

En relación al efecto del vasoconstrictor, un estudio que evaluó a un grupo de 11 sujetos con historia de obstrucción nasal secundaria a rinitis aguda, mostró que la intensidad sonora durante la producción de una sílaba nasal, antes y luego de la aplicación de un descongestionante nasal mostró un ligero aumento, pero no estadísticamente significativo (48). Esto es contrario a lo reportado por Pegoraro-Krook et al. (2005, 62) quienes observaron que en sujetos con y sin insuficiencia velofaríngea la aplicación de un descongestionante nasal tuvo un efecto pequeño pero estadísticamente significativo en incrementar la nasalidad de los sonidos (62). Estos resultados contrastantes de la literatura indican que la relación entre volumen nasal y amplitud de emisiones no es fácilmente evidenciable.

#### Características espectrales de las emisiones.

Los resultados obtenidos para los cuatro primeros formantes y sus respectivos anchos de banda son en general similares a 20 y a 0.5 cm, tanto antes como después de aplicar el vasoconstrictor (Figuras 9-12). Sin embargo, se aprecia una

tendencia a valores más altos a 20 que a 0.5 cm para F1 de la vocal /a/ y para F2 de la vocal /i/. Por otra parte, los anchos de banda de F1, F2 y F3 en la vocal /a/ a los 0.5 cm tienden a aumentar de manera lineal como ocurre en el francés (25,63). No obstante, la amplia variación observada en los resultados de formantes y anchos de banda se relaciona por una parte con los antiformantes presentes en los sonidos nasales, que agregan áreas enfatizadas cerca de formantes existentes, lo que afecta el ancho y centro frecuencial de éstos (63). Además, las variaciones individuales de los sujetos durante la articulación oral de las vocales nasales afecta las medidas obtenidas en formantes y anchos de banda, lo cual también ha sido descrito en el francés (58,64), hindi (65) e inglés (66,67).

Respecto a las relaciones entre las tres frecuencias armónicas: A1, P0 y P1, la diferencia A1-P0 de la emisión oral de la vocal /a/ tiene valores mayores que los registrados en las emisiones nasales e hipernasales de la vocal /a/, lo cual coincide con lo reportado previamente en otros idiomas (28,40,70). Además, se aprecia una tendencia a que la diferencia A1-P0 es mayor a 20 que a 0.5 cm para la vocal /a/, tanto antes como después de aplicar el vasoconstrictor (Figura 13).

Respecto a la diferencia A1-P0 de las vocales /i/, a los 0.5 cm se muestra que las emisiones orales, nasales e hipernasales presentan un promedio similar (Figura 14), lo cual no es concordante con un estudio previo, en que las vocales orales presentan valores mayores para esta medida (40). Sin embargo, en otras investigaciones A1-P0 es menos evidente en vocales altas (como la vocal /i/) debido a la influencia de F1, que en vocales altas se desplaza al rango frecuencial de 250-450 Hz, interfiriendo con la amplitud de P0 (40,63).

Finalmente, en la relación A1-P1 los resultados de las vocales orales /a/ e /i/ a los 0.5 y 20 cm, tanto antes como después de aplicar el vasoconstrictor muestran promedios superiores a los observados en las emisiones nasales e hipernasales de ambas vocales (Tabla 13), lo cual concuerda con lo reportado en otras investigaciones (28,39,40). Las medidas A1-P0 y A1-P1 son las medidas espectrales adecuadas como índices de nasalidad en vocales, siendo la segunda diferencia una medida más sensible.

Relaciones entre geometría nasal y NPS de las emisiones.

Los modelos de regresión lineal que consideran el volumen nasal total derecho y las áreas de menor sección transversal de la fosa nasal derecha como predictores de las diferencias de NPS registradas a 0.5 cm de la narina derecha, y los volúmenes y áreas de menor de sección transversal de ambas fosas nasales como predictores de las diferencias de NPS registradas a 20 cm de las fosas nasales, mostraron una baja proporción de correlaciones (5%).

Primero, el volumen total derecho se relacionó directamente con diferencias de NPS en siete casos, medidas a los 0.5 cm, previo al vasoconstrictor. Se observaron 6 correlaciones positivas entre el volumen nasal y las diferencias de NPS (3 para vocal /a/ y 3 para vocal /i/) (Figura 15). Estas relaciones muestran que a mayor volumen total derecho tiende a haber mayores NPS en las vocales y consonantes nasalizadas, lo cual apoya la hipótesis de que los volúmenes nasales se relacionan de forma directa con el nivel de presión sonora de las emisiones. Este resultado es concordante con lo reportado por Liapi et al. (2015) y Koo et al. (2016), que reportan que las cirugías nasales incrementan significativamente la intensidad de la consonante nasal /m/ (23,29). Sin embargo, estas relaciones desaparecen en las evaluaciones luego de la aplicación de vasoconstrictor, las cuales se realizaron en un rango de 5 a 10 minutos para la rinometría acústica y de 15 a 20 minutos para las grabaciones de voz. Este resultado paradójico podría estar relacionado con un fenómeno de rebote de la Oximetazolina Clorhidrato (68), que puede explicarse por un edema intersticial secundario a una isquemia de la mucosa nasal debido a una estimulación de receptores  $\alpha_2$  que inducen una intensa vasoconstricción de las arteriolas submucosas, o debido a un efecto de retroalimentación negativa (88). Sin embargo, el principal efecto descrito durante los cinco minutos posteriores a la aplicación del medicamento es un aumento del flujo nasal (90,91), mientras que el efecto rebote es descrito en casos de aplicaciones mayores a 10 días (92). Otra causa fisiológica que podría explicar los resultados en la condición post-vasoconstrictor es la disminución de la temperatura de la mucosa nasal (93), que podría modificar la fricción viscosa y pérdida térmica de los sonidos en el área de

superficie de la cavidad nasal (89). Estos resultados no coinciden con lo observado a 0.5 cm previo al vasoconstrictor, por lo que no aportan evidencia a favor de la hipótesis de que el volumen nasal se relaciona de forma directa con el nivel de presión sonora de las emisiones.

Segundo, las áreas de menor sección transversal influyen de manera asistemática sobre las diferencias de NPS a los 0.5 y 20 cm, antes y luego de la aplicación del vasoconstrictor. Se observaron 4 correlaciones positivas entre MCA2 y los NPS para la vocal /a/ (Figuras 16 y 17) y una correlación negativa entre MCA2 y el NPS para la vocal /i/ (Figura 16). No se observaron relaciones significativas con el área de la válvula nasal (correspondiente a MCA1). Estos resultados rechazan la hipótesis de que las áreas de menor sección transversal se relacionan con el NPS de las emisiones.

Respecto al efecto de las áreas de menor sección transversal en las NPS, un estudio en sujetos sanos mostró que a pesar de aumentar mecánicamente con tiras dilatadoras nasales el área de la válvula nasal, no se obtuvo ningún cambio significativo en las puntuaciones del equilibrio nasal/oral de la energía acústica, evaluado mediante nasometría (71). Este procedimiento entrega un correlato acústico de la nasalidad, denominado nasalancia, que corresponde a la presión sonora nasal como un porcentaje del nivel de presión sonora total, obtenidos de dos micrófonos, uno que ubicado frente a la nariz y otro que frente a la boca, separados por una placa metálica (10). Este examen utiliza NPS, por lo que sus resultados son parcialmente comparables a los de este estudio. Al respecto, un estudio en adultos afroamericanos y caucásicos sanos, reportó un correlación débil entre las áreas de menor sección transversal y la nasalidad (72). Sin embargo, otro estudio en hablantes adultos sanos encontró que los puntajes de nasalancia no estaban altamente correlacionados con las áreas de menor sección transversal (73). Por último, Birkent y colaboradores en 2008 tampoco encontraron una correlación significativa entre el puntaje nasalancia y los parámetros rinométricos acústicos: áreas de sección transversal mínima y volúmenes nasales (74). Estos resultados

diferentes indican que la influencia de la geometría nasal y amplitud de las emisiones presenta tendencias poco claras.

En general, los resultados indican que el volumen nasal total tiende a afectar directamente el NPS de las emisiones nasales medidas a la salida de la cavidad nasal pero esta ganancia no se manifiesta en el sonido propagado a 20 cm. Sin embargo, a esta distancia las áreas de menor sección transversal están relacionadas con el NPS de algunas emisiones.

Relaciones entre geometría nasal y características espectrales de las emisiones.

En relación a los modelos de regresión lineal entre los predictores de geometría nasal y los formantes y anchos de banda para cada una de las emisiones nasales e hipernasales a 0.5 cm de la nariz derecha y a 20 cm de las fosas nasales previo al vasoconstrictor, los resultados mostraron una muy baja proporción de correlaciones (2%).

En general se observa que no hay relaciones sistemáticas entre la geometría nasal y las características espectrales de los sonidos. El volumen total nasal izquierdo influyó directamente en los formantes de cinco vocales /i/ e inversamente en el ancho de banda de una emisión a los 20 cm, mientras que el volumen total nasal derecho influyó inversamente en el formante de una emisión a 20 cm y los anchos de banda de dos emisiones a 0.5 cm. Por otra parte, en las áreas de menor sección transversal se observó que a los 0.5 cm MCA1 derecho se relacionó inversamente con dos formantes a 0.5 cm y un ancho de banda a 20 cm y directamente con un ancho de banda a 0.5 cm. En tanto que MCA2 derecho a 0.5 cm se relacionó directamente con dos formantes e inversamente con un ancho de banda. En general, los resultados rechazan la hipótesis de que los volúmenes nasales y las áreas de menor sección transversal se relacionan de forma directa con la frecuencia de los formantes de consonantes nasales y de igual manera, a pesar de las relaciones inversas entre la geometría nasal y las vocales nasalizadas, los resultados obtenidos no apoyan suficientemente la hipótesis del estudio.

Los resultados de este trabajo son concordantes con los de otros estudios que muestran que los cambios morfológicos asociados a cirugías nasales, no generan diferencias significativas en la frecuencia de los formantes F1-4 (34,35,75,69), indicando que hay escasa relación entre la geometría nasal y los formantes de las emisiones.

Algunos estudios en mamíferos no humanos relacionan los formantes de vocalizaciones nasales con el tracto vocal, la masa corporal y la circunferencia cervical. Volodin et al. (2011) no observó correlaciones significativas entre la masa corporal y los espectros de vocalizaciones nasales de gacelas (*Gazella subgutturosa*) (76). Sin embargo existen correlaciones negativas entre el largo del tracto nasal y los valores de formantes F1-4 en gacelas (77). En concordancia con el autor anterior, Lapshina et al. (2012), registró correlaciones negativas entre los formantes F1, F3 y F4 y la circunferencia cervical y la masa corporal de gacelas (51). En tanto, Efremova et al. (2011), en la misma especie también documentó una relación negativa entre los cuatro formantes F1-4 con el aumento de la masa corporal (78). Por otra parte, en un estudio en ciervos rojos (*Cervus elaphus*) no se observó una relación entre la masa corporal y las vocalizaciones nasales (79). Además, un trabajo con lémures (*Eulemur*) mostró que todos los valores de formantes F1-4 disminuyen a medida que aumenta la longitud del tracto nasal (26). Estos hallazgos en animales estudian parámetros anatómicos y espectrales, que muestran relaciones entre la masa corporal y longitud del tracto vocal con los formantes de vocalizaciones nasales en mamíferos y parecen indicar que la configuración de las cavidades nasales tiene poca importancia relativa en relación a la influencia de la geometría del tracto vocal y constitución corporal en la estructura de los formantes de las emisiones nasales.

Finalmente, los resultados obtenidos en los modelos de regresión lineal considerando las medidas de geometría nasal como predictores de las diferencias A1-P0 y A1-P1 para cada una de las emisiones vocálicas nasales e hipernasales, mostraron que los volúmenes nasales totales tampoco afectan a estas medidas espectrales de nasalidad. Las áreas de menor sección transversal predicen

las diferencias A1-P0 y A1-P1 de algunas vocales nasales e hipernasales. No obstante, esta proporción de correlaciones es considerablemente baja (7%).

Al respecto, en algunas emisiones con vocales /a/ nasalizadas registradas a 0.5 y 20 cm de las narinas, MCA1 se relacionó inversamente con la diferencia de amplitudes A1-P0. Es decir, a una mayor área de sección transversal se observa una menor diferencia en dB entre A1 y P0, lo cual ha sido previamente reportado tras intervenciones quirúrgicas que aumentan la permeabilidad nasal (27,28). Si bien la diferencia de amplitud entre A1 y P0 se relaciona teóricamente con el acoplamiento de los senos paranasales, específicamente a los senos maxilares y esfenoides (13,40), los resultados del presente estudio indican que el área de sección transversal más pequeña de la cavidad podría aportar a la diferencia de amplitud entre estos dos componentes espectrales.

Por otra parte, MCA1 se relacionó directamente con la diferencia A1-P1 de algunas vocales /a/ e /i/ nasalizadas medidas a 0.5 y 20 cm de las narinas. Es decir a una mayor primer área de sección transversal se observa una mayor diferencia en amplitud entre A1 y P1, lo cual también ha sido reportado luego de cirugías de vía aérea superior (27,28). Este efecto podría sumarse a la influencia que se ha visto que el septum y los cornetes nasales tienen sobre A1-P1 (40).

En general, los resultados rechazan la hipótesis que relaciona el volumen nasal de manera inversa con el valor A1-P0 y directa con A1-P1, en tanto que aportan evidencia que apoya la hipótesis que relaciona las áreas de menor sección transversal inversamente con el valor A1-P0 y directamente con A1-P1. Sin embargo, debido a la baja proporción de relaciones significativas en esta última, el estudio realizado no contribuye a identificar claramente correlatos funcionales de la variación anatómica nasal.

Un factor que puede haber influido en la baja proporción de correlaciones observadas entre la geometría nasal y las características acústicas de las vocalizaciones es que durante la producción de sonidos nasales el velo del paladar desciende, acoplando la cavidad nasal al tracto vocal supralaríngeo. Las mediciones

de la geometría nasal fueron realizadas en reposo vocal, situación en que la configuración del tracto nasal puede variar respecto a la condición durante la emisión de sonidos del habla (94,95).

Perspectivas generales.

Futuras investigaciones podrían superar algunas limitaciones del presente estudio, como por ejemplo el tamaño de muestra utilizado. Tamaños de muestras mayores permitirían ejecutar otros modelos de regresión, considerando un mayor número de predictores simultáneamente, siendo posible incorporar otras variables relevantes como por ejemplo el sexo, la edad u otras características anatómicas y funcionales.

En relación a la evaluación morfológica, estudios posteriores debiesen incluir otras mediciones como por ejemplo resonancias magnéticas o topografías axiales computarizadas, que permitan analizar otras características del tracto nasal como densidad de las estructuras, tamaño de las cavidades, asimetrías, etc (80,82), como ya ha sido utilizado previamente en estudios de voz humana (83,84) y vocalizaciones de animales (53).

Además, como plantea Carignan (2017, 16), la investigación de la nasalización de vocales debe explorar los efectos recíprocos de las cavidades nasal y oral, en esta última principalmente los cambios en la altura de la lengua, por lo que futuros trabajos debiesen también recolectar en tiempo real imágenes relacionados con la forma de la lengua en el plano medio sagital. Por último, la respiración también se asocia al fenómeno de nasalización, por lo que el registro acústico y de ultrasonido debiese complementarse simultáneamente con electroglotografía (EGG), pruebas aerodinámicas, pletismografía o como en estudios más recientes, mediante cámaras acústicas, que permiten registrar el flujo aéreo durante el habla (16,85,86).

Las relaciones entre el tracto nasal y la emisión de sonidos nasales e hipernasales podría ser utilizado como un parámetro adicional en la evaluación funcional de la cavidad nasal, que actualmente se enfoca principalmente en la

respiración, principalmente para la toma de decisiones respecto a intervenciones quirúrgicas de la cavidad nasal (80,81).

La contribución de las cavidades nasal y paranasales a las propiedades resonadoras del tracto vocal permanecen relativamente inexploradas (87). Nuevos proyectos basados en los resultados del estudio actual y otros recientes deberían aportar respuestas a estas interrogantes.

Comprender la producción y significado de los sonidos nasales producidos en distintas etapas del desarrollo en humanos y en distintos idiomas y dialectos, permitirá ampliar la perspectiva evolutiva y biofísica sobre la nasalización de los sonidos en la comunicación.

## 7.- CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos de mediciones de la geometría nasal, las señales acústicas y los análisis de regresión lineal aplicados en este estudio nos indican que:

1.- Las áreas de menor sección transversal y los volúmenes totales de las fosas nasales determinados por rinometría acústica aumentaron de tamaño con la aplicación del vasoconstrictor.

2.- La amplitud y algunas características espectrales de las señales acústicas se modificaron con la distancia desde la fuente sonora, principalmente los NPS fueron mayores a 0.5 que a 20 cm. Sin embargo, a esta distancia las emisiones nasalizadas de la vocal /i/ presentaron mayores NPS que la emisión oral, indicando que estos sonidos nasalizados se proyectan mejor a los 20 cm. Los formantes y respectivos anchos de banda en general no variaron con la distancia. El valor A1-P1 no varió con la distancia y el valor A1-P0 tendió a incrementar a los 20 cm para la vocal /a/.

3.- La aplicación del vasoconstrictor incrementó significativamente el 42% de las diferencias en NPS entre emisiones nasalizadas y orales, de acuerdo al incremento producido en la permeabilidad nasal. En contraste, el vasoconstrictor sólo tuvo efecto en el 8% de los formantes y anchos de banda, el 4% de las características espectrales de nasalidad A1-P1 y no tuvo efecto en A1-P0.

4.- Las dimensiones nasales influyeron sobre el nivel de presión sonora en un 5% de las regresiones. La relación más sistemática corresponde a una relación directa entre el volumen nasal y el NPS de vocales nasalizadas, junto con algunas relaciones directas entre la segunda área de menor sección transversal y los NPS de vocales nasalizadas.

5.- Menos del 2% de los formantes y anchos de banda respectivos presentaron relaciones significativas con la geometría nasal. A nivel de formantes se observaron principalmente algunas relaciones directas entre el volumen nasal y vocales nasalizadas. Respecto a los anchos de banda, el volumen nasal mostró una

tendencia a relacionarse de forma inversa con algunas vocales nasalizadas y consonantes nasales.

6. Las medidas espectrales de nasalidad A1-P0 y A1-P1 lograron una proporción de 7% de relaciones significativas con la geometría nasal. La primera área de menor sección transversal presentó una tendencia a influir de manera inversa sobre la medida A1-P0 de algunas vocales nasalizadas y de manera directa sobre la diferencia A1-P1 de ciertas vocales nasalizadas.

7.- El fenómeno de nasalización de los sonidos en la comunicación humana se manifiesta en la mayoría de las señales acústicas analizadas en este estudio, sin embargo la geometría del tracto nasal no predice con claridad la estructura física de estas emisiones sonoras.

## 8.- REFERENCIAS

1. Bradbury J, Vehrencamp S. Principles of animal communication. Sunderland: Sinauer Associates; 2013.
2. Chapter VIII: Speech analysis (1961) *Acta Radiologica*. Original Series 55:75-90.
3. Flanagan J (1968) Source-system interaction in the vocal tract. *Annals of the New York Academy of Sciences* 155:9-17.
4. Flanagan J, Ishizaka K, Shipley K (1975) Synthesis of Speech From a Dynamic Model of the Vocal Cords and Vocal Tract. *Bell System Technical Journal* 54:485-506.
5. Ghazanfar A, Rendall D (2008) Evolution of human vocal production. *Current Biology* 18:457-460.
6. Lieberman P, Laitman J, Reidenberg K, Gannon P (1992) The anatomy, physiology, acoustic and perception of speech: essential elements in analysis of the evolution of human speech. *Journal of Human Evolution* 23:447-467
7. Janik V, Slater P (2000) The different roles of social learning in vocal communication. *Animal Behaviour*.;60(1):1-11.
8. Perry J. Anatomy and physiology of the velopharyngeal mechanism. *Seminars in Speech and Language* 32:083-092.
9. Johns D, Rohrich R, Awada M (2003) Velopharyngeal incompetence:a guide for clinical evaluation. *Plastic and Reconstructive Surgery* 112:1890-1898.
10. Fletcher S (1970) Theory and instrumentation for quantitative measurement of nasality. *Cleft Palate Journal* 7:601-609.
11. Smith B, Kuehn D (2007) Speech evaluation of velopharyngeal dysfunction. *Journal of Craniofacial Surgery* 18:251-261.

12. Johnson K. Acoustic and auditory phonetics. Chichester: Wiley-Blackwell; 2012.
13. Stevens K. Acoustic phonetics. Cambridge; 1998.
14. Chen M (2000) Acoustic analysis of simple vowels preceding a nasal in Standard Chinese. *Journal of Phonetics* 28:43-67.
15. Kramer M (2017) Is vowel nasalisation phonological in English? A systematic review. *English Language and Linguistics* 1-33.
16. Carignan C (2017) Covariation of nasalization, tongue height, and breathiness in the realization of F1 of Southern French nasal vowels. *Journal of Phonetics* 63:87-105.
17. Bloom K, Zajac D, Titus J (1999) The influence of nasality of voice on sex-stereotyped perceptions. *Journal of Nonverbal Behavior* 23:271-281
18. Masataka N, Bloom K (1994) Acoustic properties that determine adults' preferences for 3-month-old infant vocalizations. *Infant Behavior and Development* 17:461-464.
19. Kummer A (2011) Disorders of resonance and airflow secondary to cleft palate and/or velopharyngeal dysfunction. *Seminars in Speech and Language* 32:141-149.
20. Chung E, Lee D, Kang H, Park M, Chung C, Rho Y (2011) Prospective speech outcome study in patients with soft palate reconstruction in tonsillar cancer. *Oral Oncology* 47:988-992.
21. Ono T, Hamamura M, Honda K, Nokubi T (2005) Collaboration of a dentist and speech-language pathologist in the rehabilitation of a stroke patient with dysarthria: a case study. *Gerodontology* 22:116-119.
22. Novotný M, Rusz J, Čmejla R, Růžičková H, Klempíř J, Růžička E (2016) Hypernasality associated with basal ganglia dysfunction: evidence from Parkinson's disease and Huntington's disease. *PeerJ* 4:e2530.

23. Liapi A, Hirani S, Rubin J (2015) Changes in nasal resonance following septoplasty in adults: Acoustic and perceptual characteristics. *Logopedics Phoniatrics Vocology* :1-8.
24. Glass J, Zue V (1985) Detection of nasalized vowels in American English. *Proc. IEEE Int. Conf. Acoust., Speech, and Signal Processing* :1569–1572.
25. Hawkins S, Stevens K (1985) Acoustic and perceptual correlates of the non-nasal–nasal distinction for vowels. *The Journal of the Acoustical Society of America* 77:1560-1575.
26. Gamba M, Friard O, Giacoma C (2012) vocal tract morphology determines species-specific features in vocal signals of lemurs (eulemur). *International Journal of Primatology* 33:1453-1466.
27. Behrman A, Shikowitz M, Dailey S (2002) The effect of upper airway surgery on voice. *Otolaryngology-Head and Neck Surgery* 127:36-42.
28. Chen M, Metson R (1997) Effects of Sinus Surgery on Speech. *Archives of Otolaryngology - Head and Neck Surgery* 123:845-852.
29. Koo S, Kwon S, Kim Y, Jung S, Moon J (2016) A Study on voice change after septoplasty with turbinoplasty. *Korean Journal of Otorhinolaryngology-Head and Neck Surgery* 59:377.
30. Sondhi MM, Gopinath B (1971) Determination of vocal tract shape from impulse response at the lips. *J Acoustic Soc Am* 49:1867-73.
31. Ojeda A, Muñoz D, Bahamonde H (2012) Evaluación de la geometría endonasal en población chilena sana mediante rinometría acústica. *Rev. Otorrinolaringol. Cir. Cabeza Cuello* 72:111-118.
32. Kummer AW. The MacKay-Kummer (2005) SNAP Test-R: simplified nasometric assessment assessment procedures. KayPENTAX.
33. Pino et al. (2017). Análisis acústico de vocals nasalizadas del español de Chile. *Anal VII Congreso Internacional de Fonética Experimental*.

34. Gulec S, Kulahli I, Sahin M, Kokoğlu K, Gunes M, Avci D, Arli T (2016) Effect of septoplasty on voice quality: a prospective-controlled trial. *Clinical and Experimental Otorhinolaryngology* 9:238-243.
35. Ozbal Koc E, Koc B, Ercan I, Kocak I, Tadihan E, Turgut S (2014) Effects of septoplasty on speech and voice. *Journal of Voice* 28:393.e11-393.e15.
36. Zellou G (2017) Individual differences in the production of nasal coarticulation and perceptual compensation. *Journal Of Phonetics* 61:13-29.
37. R Core Team (2018). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Recuperado de: <https://www.R-project.org/>.
38. Boersma P, Weenink D (1992-2017). Praat: doing phonetics by computer (Version 6.0.33) [programa informático]. En <http://www.praat.org/>
39. Chen M (1995) Acoustic parameters of nasalized vowels in hearing-impaired and normal-hearing speakers. *The Journal of the Acoustical Society of America* 98:2443-2453.
40. Chen M (1997) Acoustic correlates of english and french nasalized vowels. *The Journal of the Acoustical Society of America* 102:2360-2370.
41. Styler, W. & Scarborough, R. 2017. *Nasality Automeasure*. [script]. Extraído desde:  
[https://github.com/stylerw/styler\\_praat\\_scripts/tree/master/nasality\\_automeasure](https://github.com/stylerw/styler_praat_scripts/tree/master/nasality_automeasure)
42. Corey J (2006) Acoustic rhinometry: should we be using it?. *Curr Opin Otolaryngol Head Neck Surg* 14:29-34.
43. Grymer L, Illum P, Hilberg O (1993) Septoplasty and compensatory inferior turbinate hypertrophy: a randomized study evaluated by acoustic rhinometry. *J Laryngol Otol* 107:413-417.

44. Kunkel M, Hochban W (1994) Acoustic rhinometry: a new diagnostic procedure- experimental and clinical experience. *Int J Oral Maxillofac Surg* 23:409-412.
45. Antila J, Sipilä J, Tshushima Y, Polo O, Laurikainen E, Suonpää (1997) The effect of laser-uvulopalatopharyngoplasty on the nasal and nasopharyngeal volume measured with acoustic rhinometry. *Acta Otolaryngol Suppl* 529:202-205.
46. Haight J, Cole P (1983) The site and function of the nasal valve. *Laryngoscope* 93:49-55.
47. Kasperbauer J, Kern E (1987) Nasal valve physiology: implications in nasal surgery. *Otolaryngol Clin North Am* 20:699-719.
48. Lee G, Yang C, Wang C, Kuo T (2005) Effect of Nasal Decongestion on Voice Spectrum of a Nasal Consonant-Vowel. *Journal of Voice* 19(1):71-77.
49. House A, Stevens K (1956) Analog Studies Of The Nasalization Of Vowels. *Journal of Speech and Hearing Disorders* 21:218-232.
50. Fitch W (1997) Vocal tract length and formant frequency dispersion correlate with body size in rhesus macaques. *The Journal of the Acoustical Society of America* 101:3136-3136.
51. Lapshina E, Volodin I, Volodina E, Frey R, Efremova K, Soldatova N (2012) The ontogeny of acoustic individuality in the nasal calls of captive goitred gazelles, *Gazella subgutturosa*. *Behavioural Processes* 90(3):323-330.
52. Plotsky K, Rendall D, Riede T, Chase K (2013) Radiographic analysis of vocal tract length and its relation to overall body size in two canid species. *Journal of Zoology* 291:76-86.
53. Reby D, Wyman M, Frey R, Charlton B, Dalmont J, Gilbert J (2018) Vocal tract modelling in fallow deer: are male groans nasalized?. *The Journal of Experimental Biology* 221:jeb179416.

54. Bressmann T, Sader R, Whitehill T, Awan S, Zeilhofer H, Horch H (2000) Nasalance Distance and Ratio: Two New Measures. *Cleft Palate Craniofacial Journal* 37:248-256.
55. Hirano M, Takeuchi Y, Hiroto I (1966) Intranasal Sound Pressure during Utterance of Speech Sounds. *Folia Phoniatica et Logopaedica* 18:369-381.
56. Patel R, Awan S, Barkmeier-Kraemer J, Courey M, Deliyiski D, Eadie T, Paul D, Švec J, Hillman R (2018) Recommended Protocols for Instrumental Assessment of Voice: American Speech-Language-Hearing Association Expert Panel to Develop a Protocol for Instrumental Assessment of Vocal Function. *American Journal of Speech-Language Pathology* 27:887-905.
57. Švec J, Granqvist S (2018) Tutorial and Guidelines on Measurement of Sound Pressure Level in Voice and Speech. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research* 61:441-461.
58. Delvaux V, Metens T, Soquet A (2002) Propriétés acoustiques et articulatoires des voyelles nasales du Français. In *XXIVèmes Journées d'Étude sur la Parole* 24:357–360.
59. Dickson D (1962) An Acoustic Study of Nasality. *Journal of Speech and Hearing Research* 5:103.
60. Albalá M, Marrero V (2013) La intensidad de los sonidos españoles. *Revista de Filología Española* 75:105-132.
61. Clarke W, Mackiewicz-Krassowska H (1977) Variation in the oral and nasal sound pressure level of vowels in changing phonetic contexts. *Journal of Phonetics* 5:195-203.
62. Pegoraro-Krook M, Dutka-Souza J, Williams W, Teles Magalhães L, Rossetto P, Riski J (2006) Effect of Nasal Decongestion on Nasalance Measures. *The Cleft Palate-Craniofacial Journal* 43:289-294.

63. Styler W (2015) On the Acoustical and Perceptual Features of Vowel Nasality. Linguistics Graduate Theses & Dissertations. [https://scholar.colorado.edu/ling\\_gradetds/56](https://scholar.colorado.edu/ling_gradetds/56)
64. Krakow R, Beddor P, Goldstein M, Fowler, C (1988) Coarticulatory influences on the perceived height of nasal vowels. *The Journal of the Acoustical Society of America* 83:1146– 1158.
65. Shosted R, Carignan C, Rong P (2012) Managing the distinctiveness of phonemic nasal vowels: Articulatory evidence from Hindi. *The Journal of the Acoustical Society of America* 131:455–465.
66. Pruthi T, Espy-Wilson C (2004) Acoustic parameters for automatic detection of nasal manner. *Speech Communication* 43:225–239.
67. Carignan C, Shosted R, Shih C, Rong P (2011) Compensatory articulation in American English nasalized vowels. *Journal of Phonetics* 39:668-682.
68. Thayer R. *Treatment of Voice Disorders*. San Diego: Plural Publishing; 2017.
69. Hosemann W, Göde U, Dunker J, Eysholdt U (1998) Influence of endoscopic sinus surgery on voice quality. *European archives of oto-rhino-laryngology* 255:499–503.
70. Chen M (2000) Acoustic analysis of simple vowels preceding a nasal in Standard Chinese. *Journal of Phonetics* 28:43-67.
71. Gerek M, Durmaz A, Aydin U, Birkent H, Hidir Y, Tosun F (2012) Relationship between Nasal Valve Changes and Nasalance of the Voice. *Otolaryngology–Head and Neck Surgery* 147:98-101.
72. Mayo R, Floyd L, Warren D, Dalston R, Mayo C (1996) Nasalance and nasal area values: cross-racial study. *Cleft Palate Craniofac J* 33:143–149.
73. Litzaw L, Dalston R (1992) The effect of gender upon nasalance scores among normal adult speakers. *J Commun Disord* 25:55–64.

74. Birkent H, Erol U, Ciyiltepe M, Eadie T, Durmaz A, Tosun F (2008) Relationship between nasal cavity volume changes and nasalance. *The Journal of Laryngology & Otology* 123:407-411.
75. Apaydin E, İkinciogulları A, Çolak M, Atan D, Ensari S, Dere H (2019) The Voice Performance After Septoplasty With Surgical Efficacy Demonstrated Through Acoustic Rhinometry and Rhinomanometry. *Journal of Voice*.
76. Volodin I, Lapshina E, Volodina E, Frey R, Soldatova N (2011) Nasal and Oral Calls in Juvenile Goitred Gazelles (*Gazella subgutturosa*) and their Potential to Encode Sex and Identity. *Ethology* 117:294-308.
77. Volodin I, Efremova K, Frey R, Soldatova N, Volodina E (2017) Vocal changes accompanying the descent of the larynx during ontogeny from neonates to adults in male and female goitred gazelles (*Gazella subgutturosa* ). *Zoology* 120:31-41.
78. Efremova K, Volodin I, Volodina E, Frey R, Lapshina E, Soldatova N (2011) Developmental changes of nasal and oral calls in the goitred gazelle *Gazella subgutturosa*, a nonhuman mammal with a sexually dimorphic and descended larynx. *Naturwissenschaften* 98:919-931.
79. Sibiryakova O, Volodin I, Matrosova V, Volodina E, Garcia A, Gallego L, Landete-Castillejos T (2015) The power of oral and nasal calls to discriminate individual mothers and offspring in red deer, *Cervus elaphus*. *Frontiers in Zoology* 12:2.
80. Dang J, Honda K, Suzuki H (1994) Morphological and acoustical analysis of the nasal and the paranasal cavities. *The Journal of the Acoustical Society of America* 96:2088-2100.
81. Brandt M, Rotenberg B, Moore C, Bornbaum C, Dzioba A, Glicksman J, Doyle P (2014) Impact of Nasal Surgery on Speech Resonance. *Annals of Otology, Rhinology & Laryngology* 123:564-570.

82. Baeg S, Hong Y, Cho D, Lee J, Song S (2018) Evaluation of Sinonasal Change After Lefort I Osteotomy Using Cone Beam Computed Tomography Images. *Journal of Craniofacial Surgery* 29:e34-e41.
83. Garcia E, Yamashita H, Garcia D, Padovani M, Azevedo R, Chiari B (2016) Applicability of Cone Beam Computed Tomography to the Assessment of the Vocal Tract before and after Vocal Exercises in Normal Subjects. *Folia Phoniatica et Logopaedica* 68:183-188.
84. Saldias M, Guzman M, Miranda G, Laukkanen A (2019) A Computerized Tomography Study of Vocal Tract Setting in Hyperfunctional Dysphonia and in Belting. *Journal of Voice* 33:412-419.
85. Carignan C (2018) Using naïve listener imitations of native speaker productions to investigate mechanisms of listener-based sound change. *Laboratory Phonology: Journal of the Association for Laboratory Phonology* 9:18.
86. Lorenc A, Król D, Klessa K (2018) An acoustic camera approach to studying nasality in speech: The case of Polish nasalized vowels. *The Journal of the Acoustical Society of America* 144:3603-3617.
87. Havel M, Hofmann G, Mürbe D, Sundberg J (2014) Contribution of Paranasal Sinuses to the Acoustic Properties of the Nasal Tract. *Folia Phoniatica et Logopaedica* 66:109-114.
88. Mortuaire G, de Gabory L, François M, Massé G, Bloch F, Brion N, et al. (2013) Rebound congestion and rhinitis medicamentosa: Nasal decongestants in clinical practice. Critical review of the literature by a medical panel. *European Annals Of Otorhinolaryngology. Head And Neck Diseases* 130:137-144.
89. Huang X, Acero A, Hon H-W. *Spoken language processing*. Englewood Cliffs: Prentice Hall; 2001.

90. Witek T, Canestrari D, Hernandez J, Miller R, Yang J, Riker D (1992) Superficial nasal mucosal blood flow and nasal patency following topical oxymetazoline hydrochloride. *Annals of allergy* 68:165-8.
91. Druce H, Bonner R, Patow C, Choo P, Summers R, Kaliner M (1984) Response of nasal blood flow to neurohormones as measured by laser-Doppler velocimetry. *Journal of Applied Physiology* 57:1276-83.
92. Druce H, Ramsey D, Karnati S, Carr A (2018). Topical nasal decongestant oxymetazoline (0.05%) provides relief of nasal symptoms for 12 hours. *Rhinology Journal* 56:343-350.
93. Lindemann J, Leiacker R, Wiesmiller K, Rettinger G, Keck T (2004) Immediate effect of benzalkonium chloride in decongestant nasal spray on the human nasal mucosal temperature. *Clinical Otolaryngology and Allied Sciences* 29:357–361.
94. Trindade I, Araújo B, Teixeira A, Silva A, Trindade-Suedam I (2014). Velar activity in individuals with velopharyngeal insufficiency assessed by acoustic rhinometry. *Journal of Applied Oral Science* 22:323-30.
95. Salgueiro A, Silva A, Araújo B, Yamashita R, Trindade I (2015). Análise comparativa da atividade velofaríngea aferida por rinometria acústica e rinomanometria. *CoDAS* 27:464-471.