

El rol de F2 y F3 en el contraste coronal retroflejo versus alveopalatal: el caso del mapudungun

*The role of F2 and F3 in the retroflex versus alveopalatal coronal contrast:
The case of Mapudungun*

Daniela Alejandra Mena Sanhueza

Universidad de La Serena

daniela.menas@userena.cl

Mauricio Alejandro Figueroa Candia

Universidad de Concepción

maufigueroa@udec.cl

Gastón Salamanca Gutiérrez

Universidad de Concepción

gsalamanc@udec.cl

Resumen

Esta investigación tiene como propósito la realización de un estudio acústico y estadístico de las consonantes africadas retroflejas áfona /t͡ɬ/ y africadas alveopalatales áfona /t͡ʃ/ del mapudungun hablado en Alto Biobío, una localidad ubicada en la cordillera de los Andes al sureste de la Región del Biobío en Chile. Dado que /t͡ɬ/ y /t͡ʃ/ se diferencian solamente en el punto de articulación, el objetivo de este estudio es determinar si las transiciones formánticas de F2 y F3 en contexto VC y CV permiten distinguir entre ambos puntos de articulación coronal. Los resultados de las pruebas MANOVA aplicadas a F2 y F3 en contexto VC y CV mostraron que solamente la transición de F2 de la vocal hacia la consonante permite distinguir entre /t͡ɬ/ y /t͡ʃ/ en todos los contextos vocálicos, a diferencia de lo reportado para otras lenguas del mundo.

Palabras clave: mapudungun, contraste coronal, consonantes retroflejas, MANOVA

Abstract

This study aims to examine Mapudungun's voiceless retroflex affricate /t͡ɬ/ and voiceless alveopalatal affricate /t͡ʃ/ spoken in Alto Biobío, located in the southeastern mountainous area of the Biobío region, through an acoustic and statistical approach. Since both consonants differ only in their place of articulation, this study aims to determine whether formant transitions of F2 and F3, in VC and CV contexts, can distinguish between the coronal places of articulation, as observed in other languages. Results from MANOVA analyses with F2 and F3 as dependent variables in both phonetic contexts indicated that only the F2 transitions from vowels to consonants could differentiate /t͡ɬ/ and /t͡ʃ/, regardless of the following vowel, unlike findings in previous studies on other languages.

Keywords: Mapudungun, coronal contrast, retroflex consonants, MANOVA

1. INTRODUCCIÓN

1.1 La lengua mapuche

Los mapuche — esto es, “gente de la tierra” — habitan lo que hoy es el sur de Chile y Argentina. desde hace aproximadamente 500-600 años A.C. (Bengoa, 2004). El número de hablantes de mapudungun en Chile, de acuerdo con Zúñiga (2007), varía entre 150.000 y 400.000, dependiendo de lo que signifique ser hablante y del número de personas que se identifiquen como mapuche. De acuerdo con Zúñiga y Olate (2017), la cifra de 250.000 hablantes, propuesta por *Ethnologue* (Lewis, Simons y Fennig, 2016), es razonable para caracterizar la cantidad de hablantes de mapudungun en Chile. Los mapuche habitan, mayoritariamente, entre las regiones del Biobío y de Los Lagos; sin embargo, gran parte de ellos ha emigrado a Santiago, la capital (Zúñiga, 2007).

En relación con la filiación genética de la lengua, tradicionalmente, se ha dicho que pertenece a una familia lingüística independiente y esta es la hipótesis más aceptada (Sadowsky, Painequeo, Salamanca y Avelino, 2013). Sin embargo, Stark (1970) afirma que puede estar relacionada con la familia Maya; Key (1978) sugiere que el mapudungun está emparentado con la familia Tacano-Panoana de Bolivia y Perú, y en menor medida con las lenguas fueguinas; mientras que Croese (1991) relaciona al mapudungun con la familia arawaka, a la que pertenecen algunas lenguas indígenas de América del Sur y el Caribe. En cuanto a la estructura del mapudungun, esta lengua ha sido caracterizada como aglutinante, altamente productiva y polisintética (Salas, 2006; Smeets, 2008; Zúñiga, 2017).

1.2. Fonología del mapudungun

El sistema fonológico del mapudungun hablado en Alto Biobío (Región del Biobío, Chile), lugar de donde provienen los datos de la presente investigación, está conformado por 6 vocales: /i/, /e/, /ə/, /a/, /o/ y /u/, por 18 consonantes: /p/, /t̪/, /t/, /k/, /tʃ/, /t͡ʂ/, /v/, /ð/, /s/, /m/, /ɲ/, /n/, /ɲ/, /ŋ/, /ɬ/, /l/, /k/ y /ɬ/, y por tres semiconsonantes: /w/, /j/ y /ɣ/. (Salamanca, 1997; Henríquez y Salamanca, 2012). Las características fonológicas más interesantes desde un punto de vista tipológico son los cinco fonemas que conforman la serie nasal /m/, /ɲ/, /n/, /ɲ/ y /ŋ/ y el contraste entre consonantes interdental /t̪/, /ɲ/ y /ɬ/ y alveolares /t/, /n/ y /l/ (Mena y Salamanca, 2018). Además de estos aspectos, se destaca la existencia de las consonantes africadas retroflejas áfona /t͡ʂ/ y aproximante retrofleja sonora /ɬ/. Tal como será discutido en la próxima sección, las consonantes retroflejas se caracterizan por su poca frecuencia en las lenguas del mundo. Hasta ahora, no se han realizado estudios acústicos relacionados con la retroflexión en mapudungun, por lo que esta investigación pretende determinar cuál es la naturaleza de la misma. En este caso, solamente se analizará la consonante africana retrofleja áfona /t͡ʂ/, la cual se comparará con la consonante africana alveopalatal áfona /t̪/, dado que ambas se diferencian únicamente por el punto de articulación. De esta manera, este estudio contribuirá a conocer la naturaleza de la retroflexión en mapudungun y también a aportar al estado de la cuestión de las consonantes coronales en general y, en particular, en la distinción entre los puntos de articulación retroflejo y alveopalatal.

1.3. Consonantes retroflejas: articulación, tipología y características acústicas

Un sonido retroflejo ocurre cuando el ápice de la lengua se curva para producir consonantes apicales (Bhat, 1973). De acuerdo con Stevens y Blumstein (1975), la retroflexión puede ocurrir tanto en consonantes como en vocales, y corresponde a un punto articulatorio que se encuentra posterior al punto de articulación alveolar y tiene como principal característica la curvatura del ápice de la lengua. Sin embargo, para Hamann (2003), la curvatura del ápice no es la característica más importante de las consonantes retroflejas, pues varios sonidos que carecen de ella pueden ser descritos como retroflejos; por ejemplo, /ʂ/ y /ʐ/ en polaco (Hamann, 2004). En términos articulatorios, las características que hacen que un sonido sea retroflejo serían la utilización del ápice de la lengua como articulador activo (apicalidad); la realización del sonido posterior al punto de articulación alveolar (posterioridad); y la retracción del postdorso de la lengua y la cavidad sublingual (Hamann, 2003; Hamann y Fuchs, 2010).

Bhat (1973) estudia la ocurrencia de consonantes retroflejas en 150 lenguas, a partir de las cuales establece cuatro áreas geográficas donde estos sonidos ocurren mayoritariamente: India, Australia, parte central de África y América. En cuanto al último continente, el área se extiende desde California hasta Brasil y Chile. Sin embargo, contrario a lo que ocurre en India, en esta área la mayoría de las lenguas no presentan series distintivas de retroflejas. Por ejemplo, de acuerdo con Bhat, en quechua y mixteco las consonantes retroflejas ocurren en contextos restrictivos, por lo que se interpretan como variantes alofónicas, y en zoque y miwok las consonantes retroflejas forman parte de variantes geolectales. En cuanto al modo de articulación, la mayoría de las lenguas presentan consonantes fricativas o sibilantes y/o africadas. El mapudungun se considera como una de las 15 lenguas que presenta una consonante africana retrofleja en esta zona.

Con base en los datos provenientes de 317 lenguas del mundo, Maddieson y Disner (1984) indican que el 11,4% de las consonantes oclusivas corresponde a consonantes retroflejas, y que de los 316 sonidos categorizados como *r-sounds*, el 12% de ellos corresponde a sonidos retroflejos. Estos antecedentes y los presentados por Bhat (1973) permiten concluir que las consonantes retroflejas no son particularmente comunes en los inventarios de las lenguas del mundo. De acuerdo con Stevens y Blumstein (1975), quienes citan a Greenberg (1993, 1996), estas consonantes se caracterizan por su poca frecuencia en relación con las consonantes no retroflejas y por su dificultad articulatoria, lo que implica que sean consideradas como segmentos tipológicamente marcados (Trubetzkoy, 1958).

En términos acústicos, Ladefoged y Bhaskararao (1983) indican que existe un consenso en que la retroflexión afecta a los formantes vocálicos más altos. Las características articulatorias de las consonantes retroflejas descritas por Hamann (2003) se manifiestan acústicamente como un F3 más bajo que el de consonantes similares no retroflejas, debido a la posterioridad de la articulación, a la cavidad sublingual y a la retracción postdorso de la lengua. En cuanto a F2, solamente la retracción causa que este formante sea más bajo que el de otras consonantes comparables. Sin embargo, se ha reportado que los valores de F2 varían de acuerdo con el contexto fonético, por ejemplo, el tipo de vocal que sigue a la consonante, y podrían tener características diferentes dependiendo del sistema fonológico de la lengua en particular. (Dart y Nihalani, 1999; Hamann, 2003; Hussain, Proctor, Harvey y Demuth, 2017). De acuerdo con Hamilton (1996), lo que diferencia a las consonantes retroflejas de otras consonantes coroneales son los valores más bajos de F3 en la vocal precedente. Esto último se evidencia en el estudio

de Bundgaard-Nielsen, Baker, Kroos, Harvey y Best (2015), en el que los valores de F3 en la vocal precedente a la consonante, en contexto VCV, diferencian a las consonantes oclusivas retroflejas de las dentales y alveolares en la lengua wubuy. Sin embargo, en el contexto del CV, los valores de F3 no distinguen los puntos articulatorios de la lengua en cuestión.

Hussain *et al.* (2017) realizan distintas mediciones para determinar cuáles de ellas permiten distinguir entre las consonantes oclusivas dentales y retroflejas en punjabi. En cuanto a F3, las trayectorias de este formante en la vocal previa permiten distinguir entre consonantes retroflejas y dentales para las vocales /e/, /a/, /o/ y /u/, pero no ocurre lo mismo con la vocal /i/. De acuerdo con estos autores, las únicas dos mediciones que permitieron diferenciar entre ambas consonantes en todos los contextos fueron la duración de la distensión de las oclusivas y la duración total de las oclusivas.

No solamente las consonantes retroflejas de tipo oclusivo han sido estudiadas, sino que también se han realizado análisis de este tipo para otros modos articulatorios. Por ejemplo, Tabain, Butcher, Breen y Beare (2016a) analizan las consonantes laterales de las lenguas arrernte, pitjantjatjara y warlpiri. Tanto los valores de F3 como de F4 de la consonante lateral retrofleja /l/ fueron levemente más bajos que los de las otras consonantes coronales /ɭ/, /l/ y /ʎ/. Sin embargo, el centro de gravedad y la desviación estándar fueron suficientes para caracterizar y distinguir las cuatro consonantes coronales. Tabain, Butcher, Breen y Beare (2016b) también estudian las consonantes nasales de las mismas lenguas. En cuanto a las consonantes coronales /ɲ/, /n/, /ɳ/ y /ŋ/, los formantes nasales no fueron capaces de diferenciar de manera confiable entre la consonante dental, alveolar y retrofleja. Por ejemplo, si bien la consonante retrofleja mostró valores del cuarto formante nasal más bajos que la alveolar, las diferencias de estos valores no fueron estadísticamente significativas. Tampoco hubo diferencias estadísticamente significativas entre los valores de la consonante nasal dental y la retrofleja. En cuanto a las consonantes fricativas, Gordon, Barthmaier y Sands (2002) analizan estas consonantes en la lengua toda e indican que la vocal /ɔ/ que precede a las consonantes fricativas sibilantes /ʂ/, /s/, /ʃ/ y /ʑ/ presenta los valores de F3 más bajos en la consonante retrofleja /ʑ/. Esta diferencia sí fue estadísticamente significativa.

1.4. El presente estudio

Esta investigación tiene por objeto proveer una primera evidencia cuantitativa tendiente a determinar si los formantes vocálicos F2 y F3 permiten distinguir entre la consonante africada retrofleja áfona /t͡ʂ/ y la africada alveopalatal áfona /t͡ʃ/ del mapudungun hablado en Alto Biobío, una comunidad cordillerana, ubicada al sureste de la Región del Biobío, Chile. La existencia de los segmentos /t͡ʂ/ y /t͡ʃ/ se ha reportado de manera consistente como parte del inventario de consonantes de la lengua mapuche en todos los estudios fonético-fonológicos que han utilizado como base la descripción realizada por Echeverría (1964), basados en metodologías cualitativas. A partir de esta investigación, se podrá conocer la naturaleza acústica de esta retroflexión y cómo se manifiesta en mapudungun, ya que a pesar de que existe un consenso en la literatura de que los valores de F3 son más bajos en las consonantes retroflejas que en las otras consonantes coronales en lenguas del mundo, no existe claridad con respecto al rol de F2 en la oposición de interés.

2. MÉTODOS

2.1. Participantes, tarea de elicitación, segmentación y etiquetado

Los participantes de este estudio son hablantes bilingües de mapudungun y español, específicamente, 5 mujeres y 5 hombres de Alto Biobío que tenían entre 41 y 65 años de edad. La tarea de elicitación consistió en la aplicación de una lista léxica –basada en Croese (1980)– en la que se les pidió a los participantes que tradujeran palabras desde el español al mapudungun y que repitieran cada palabra tres veces. Las grabaciones fueron realizadas en las residencias de los participantes con una grabadora digital Tascam DR-40 en formato mono con frecuencia de muestreo de 44.100 Hz y a una profundidad de 16 bits. La grabadora fue ubicada a aproximadamente 30 centímetros de la boca de los participantes y contaba con dos micrófonos cardioides de condensador (ambos alimentando la misma señal mono). Una evaluación de la relación señal-ruido evidenció que las señales son adecuadas para un estudio acústico de los valores formánticos de estas consonantes ($\bar{x} = 35.01$ dB, $\sigma = 4.75$ dB).

Las señales obtenidas fueron segmentadas y etiquetadas en TextGrids del programa *Praat* (Boersma y Weenink, 2023). Cada palabra fue etiquetada en español y se realizó una transcripción fonética y fonológica en mapudungun. Las consonantes retroflejas fueron segmentadas y etiquetadas como africadas retroflejas áfonas, oclusivas retroflejas áfonas o como “otros” cuando cualquiera de estos sonidos fue articulado como uno diferente a los ya descritos. En este estudio solamente se consideraron las consonantes africadas retroflejas áfonas $[\text{t͡ʂ}]$ y no el sonido oclusivo retroflejo áfono $[\text{t}͡]$, que es alófono de $[\text{t͡ʂ}]$. También fueron segmentadas todas las instancias de $[\text{t͡ʂ}]$, y, para ambos tipos de consonantes, se etiquetaron las vocales previas y siguientes. Las vocales fueron agrupadas en vocales anteriores ($[\text{i}]$ y $[\text{e}]$), vocales centrales ($[\text{a}]$ y $[\text{ə}]$) y vocales posteriores ($[\text{o}]$ y $[\text{u}]$). En la Figura 1 se presentan imágenes espectrográficas de ejemplos de los dos sonidos consonánticos que serán analizados en esta investigación, es decir, $[\text{t͡ʂ}]$ y $[\text{t͡ʃ}]$.

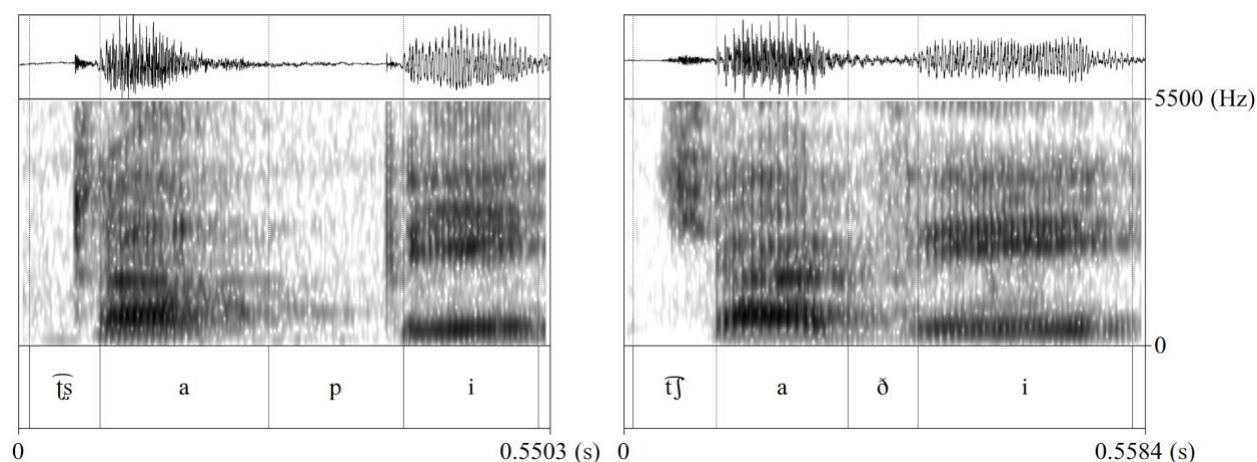


Figura 1. Formas de onda y espectrogramas de palabras que contienen los fonos $[\text{t͡ʂ}]$ y $[\text{t͡ʃ}]$ articuladas por hablantes de mapudungun de Alto Biobío. Panel izquierdo: $[\text{t͡ʂa.pi}]$ ‘ájí’. Panel derecho: $[\text{t͡ʃa.ði}]$ ‘sal’.

2.2. Medición y extracción de valores de las variables acústicas

Para extraer los datos acústicos, se construyó un objeto *formante* para cada señal usando los parámetros por defecto, con la excepción del valor de frecuencia máxima, el cual fue

configurado a 5.000 Hz para los hombres y a 5.500 Hz para las mujeres. Luego, se escribió un *script* para extraer la información codificada en los *TextGrids* y los datos acústicos. La extracción de la información acústica de los formantes F2 y F3 se realizó en la segunda mitad de las vocales cuando se encontraban antes de las consonantes $[\text{ʃ}]$ y $[\text{tʃ}]$, esto es, de la mitad de la vocal hasta el inicio de la oclusión del sonido africado. En el caso de las vocales que seguían a las consonantes $[\text{ʃ}]$ y $[\text{tʃ}]$, la medición de los formantes F2 y F3 se realizó desde el inicio de la vocal hasta la mitad de ella. Esta decisión se basó parcialmente en la adoptada por Hussain *et al.* (2017). Es importante consignar que los datos no fueron normalizados debido a la diferencia del número de vocales por categoría vocálica, aspecto que es necesario tener presente en la interpretación de los resultados estadísticos que involucren la variable *sexo*.

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Para determinar si los valores de F2 y F3 permiten distinguir entre los puntos articulatorios retroflejo y alveopalatal de las consonantes $[\text{ʃ}]$ y $[\text{tʃ}]$, respectivamente, se consideraron las variables independientes *consonante* (niveles: $[\text{ʃ}]$ y $[\text{tʃ}]$), *vocal* (niveles: anterior, central y posterior) y *sexo* (niveles: femenino y masculino), y las variables dependientes continuas F2 y F3. Sin embargo, en la distinción de las consonantes retroflejas versus otras consonantes coronales, se ha reportado que existen diferencias en el comportamiento de las transiciones formánticas de una vocal a una consonante (contexto VC) y de una consonante a una vocal (contexto CV). Por esta razón, se realizaron dos análisis separados para saber si lo que diferencia a ambas consonantes son los valores de F2 y/o F3 localizados antes de la consonante o si son los valores de F2 y/o F3 localizados después de la consonante.

Dado que en este caso es necesario evaluar el efecto de variables independientes en dos variables dependientes, se decidió realizar pruebas de Análisis Multivariado de Varianza (MANOVA) (Field, Miles y Field, 2012). La primera MANOVA tuvo como variables independientes *consonante* (niveles: $[\text{ʃ}]$ y $[\text{tʃ}]$), *vocal previa* (niveles: anterior, central y posterior) y *sexo* (niveles: femenino, masculino); mientras que las variables dependientes fueron F2 *previo* y F3 *previo*. En la segunda MANOVA, las variables independientes fueron *consonantes* (niveles: $[\text{ʃ}]$ y $[\text{tʃ}]$), *vocal siguiente* (niveles: anterior, central y posterior) y *sexo* (niveles: femenino y masculino), esta vez con las variables dependientes F2 *siguiente* y F3 *siguiente*. En adelante, tanto la etiqueta “previa/o” como “siguiente” hacen referencia a la posición de la vocal y de F2 y F3 con respecto a las consonantes $[\text{ʃ}]$ y $[\text{tʃ}]$.

De las cuatro asunciones de la prueba MANOVA, los datos de este estudio cumplen con las dos primeras, esto es, fueron obtenidos al azar y de manera independiente, y las dos variables dependientes son continuas (F2 y F3). Las otras dos asunciones sobre que los datos deben presentar normalidad multivariada y homogeneidad de la covarianza fueron evaluadas mediante la prueba Shapiro-Wilk para normalidad multivariada (Villaseñor Alva y Estrada, 2009), y la prueba de M de Box para la igualdad de las matrices de covarianza (Box, 1949; Fox, Friendly y Monette, 2018). Si los análisis no cumplen con todas las asunciones, además de la prueba MANOVA, se debe realizar una versión “robusta” de la MANOVA para confirmar los resultados (Choi y Marden, 1997). Finalmente, se aplicaron pruebas *post hoc* cuando los resultados de la prueba MANOVA fueron estadísticamente significativos. Todos los análisis estadísticos se realizaron en el programa R (R Core Team, 2018). En la Tabla 1, se encuentran las características del corpus para la primera MANOVA (cuatro primeras filas) y para la segunda MANOVA (cuatro últimas filas).

Tabla 1. Mediana, promedio y desviación estándar de los valores de cada formante en contexto VC (primera MANOVA) y CV (segunda MANOVA).

MANOVA: Contexto	Formante	Contexto	Instancias	Mediana	Promedio	Desviación estándar
1: VC	F2	$\widehat{Vt_s}$	90	1.655,03	1.650,53	367,57
		$\widehat{Vt_j}$	140	1.759,76	1.734,11	283,72
	F3	$\widehat{Vt_s}$	90	2.576,56	2.564,15	338,95
		$\widehat{Vt_j}$	140	2.595,73	2.623,62	316,56
2: CV	F2	$\widehat{t_sV}$	212	1.521,24	1.547,31	314,82
		$\widehat{t_jV}$	247	1.789,97	1.773,28	297,49
	F3	$\widehat{t_sV}$	212	2.542,26	2.548,29	243,27
		$\widehat{t_jV}$	247	2.611,27	2.657,23	309,49

3.1. Resultados de la prueba MANOVA para vocales previas a $\widehat{t_s}$ y $\widehat{t_j}$

Los resultados de la prueba MANOVA para evaluar el efecto de las variables independientes *consonante*, *vocal previa* y *sexo* en las variables dependientes *F2 previo* y *F3 previo* revelaron un efecto significativo de la variable *consonante* en ambas variables dependientes, $V = 0,036$, $F(2, 218) = 4$, $p < 0,05$. Además, hubo un efecto estadísticamente significativo de las variables *vocales previas* $V = 0,371$, $F(4, 438) = 25$, $p < 0,001$, y *sexo* $V = 0,385$, $F(2, 218) = 68,3$, $p < 0,001$. Por otra parte, la prueba reveló que existe una interacción estadísticamente significativa entre las variables independientes *consonante* y *vocal previa* $V = 0,099$, $F(4, 438) = 5,7$, $p < 0,001$; *consonante* y *sexo* $V = 0,029$, $F(2, 218) = 3,3$, $p < 0,05$; y una interacción de tres vías entre *consonante*, *vocal previa* y *sexo* $V = 0,03$, $F(2, 218) = 3,3$, $p < 0,05$. Dado que los datos no presentaban una normalidad multivariada, se aplicó una MANOVA “robusta” que confirmó el efecto de la variable independiente *consonante*, $H(2) = 3,213$, $p = 0,2$.

3.1.1. Análisis post-hoc variable consonante

Para determinar si existían diferencias estadísticamente significativas en los valores de *F2 previo* y de *F3 previo* de las consonantes $\widehat{t_s}$ y $\widehat{t_j}$, se aplicaron dos pruebas de suma de rangos de Wilcoxon¹. La primera prueba mostró que los valores de *F2 previos* en $\widehat{t_j}$ ($\tilde{x}^2 = 1.759,76$) y

¹ Dado que las distribuciones de los datos involucrados en la prueba MANOVA no cumplieron con la asunción de la normalidad multivariada, los análisis *post hoc* se llevaron a cabo mediante pruebas no paramétricas y variaron dependiendo de la cantidad de niveles de cada variable independiente.

²El símbolo “ $\tilde{x}$ ” representa a la mediana.

en $\widehat{t\text{ʃ}}$ ($\tilde{x} = 1.655,03$) presentaron diferencias estadísticamente significativas ($W = 7.479$, $p < 0,05$, $r = 0,158$). En la segunda prueba, el $F3$ previo de las consonantes $\widehat{t\text{ʃ}}$ ($\tilde{x} = 2.595,73$) y $\widehat{t\text{ʂ}}$ ($\tilde{x} = 2.576,56$) no presentó diferencias estadísticamente significativas ($W = 6.897$, $p = 0,226$, $r = 0,08$).

Como se observa, en ambos casos, las medianas de las consonantes retroflejas mostraron frecuencias más bajas que las medianas de las consonantes alveopalatales. Los datos involucrados en este análisis pueden ser visualizados en la Figura 2.

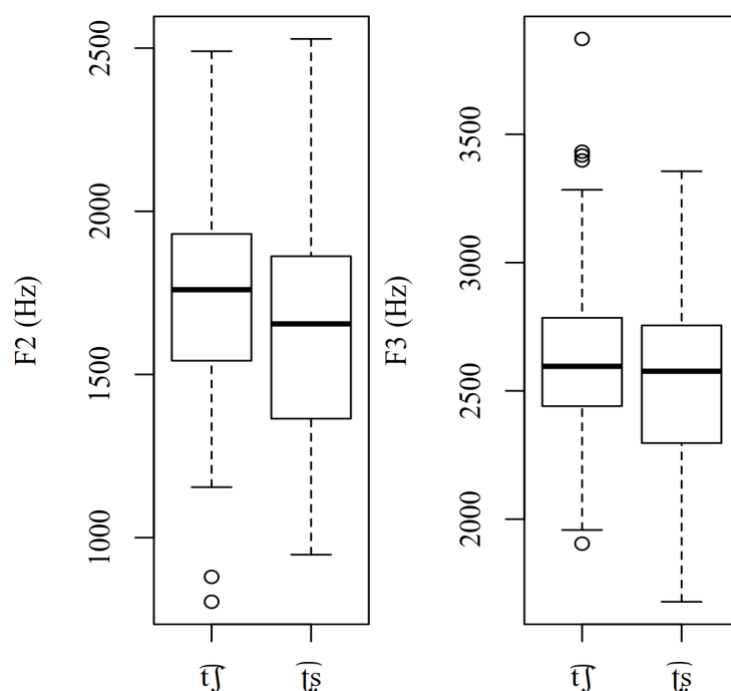


Figura 2. Panel izquierdo: gráficos de caja para los valores de $F2$ previos en las consonantes $\widehat{t\text{ʃ}}$ y $\widehat{t\text{ʂ}}$. Panel derecho: gráficos de caja para los valores de $F3$ previos en las consonantes $\widehat{t\text{ʃ}}$ y $\widehat{t\text{ʂ}}$.

3.1.2. Análisis post-hoc variable vocal previa

Considerando que la variable *vocal previa* tenía tres niveles (anterior, central y posterior), se utilizaron pruebas de Kruskal-Wallis para determinar su efecto en los valores de $F2$ previo y $F3$ previo por separado. Luego, cuando fue necesario, se aplicaron pruebas de Wilcoxon para conocer si existían diferencias estadísticamente significativas de las variables dependientes para los distintos niveles de la variable *vocal previa* (los valores de probabilidad se reportan con corrección de Bonferroni).

La primera prueba de Kruskal-Wallis mostró que había un efecto estadísticamente significativo de *vocal previa* en los valores de $F2$ previo $H(2) = 59,898$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,255$. Considerando este resultado, se realizaron tres pruebas de Wilcoxon, las que determinaron que entre las vocales anteriores ($\tilde{x} = 2.020,27$) y centrales ($\tilde{x} = 1.685,59$) existían diferencias estadísticamente significativas ($W = 6.684$, $p < 0,001$, $r = 0,406$), al igual que entre las anteriores ($\tilde{x} = 2.020,27$) y posteriores ($\tilde{x} = 1.316,91$) ($W = 1.165$, $p < 0,001$, $r = 0,609$) y entre las centrales ($\tilde{x} = 1.685,59$) y posteriores ($\tilde{x} = 1.316,91$) ($W = 2.767$, $p < 0,001$, $r = 0,398$).

La segunda prueba de Kruskal-Wallis también mostró un efecto estadísticamente significativo de *vocal previo* en los valores de *F3 previo* $H(2) = 16,29, p < 0,001, \eta^2 = 0,063$. Las pruebas de Wilcoxon indicaron que entre las vocales anteriores ($\tilde{x} = 2.656,07$) y centrales ($\tilde{x} = 2.583,97$) existían diferencias estadísticamente significativas ($W = 5.393, p < 0,05, r = 0,177$), que entre las anteriores ($\tilde{x} = 2.656,07$) y posteriores ($\tilde{x} = 2.429,77$) también ($W = 1.035, p < 0,001, r = 0,455$) al igual que entre las centrales ($\tilde{x} = 2.583,97$) y posteriores ($\tilde{x} = 2.429,77$) ($W = 2.170, p < 0,05, r = 0,187$).

Tanto en *F2 previo* como en *F3 previo*, las vocales anteriores presentaron medianas más altas que las vocales centrales, las que a su vez presentaron medianas en frecuencias más altas que las vocales posteriores. En la Figura 3, se grafican los valores de cada contexto vocálico por formante.

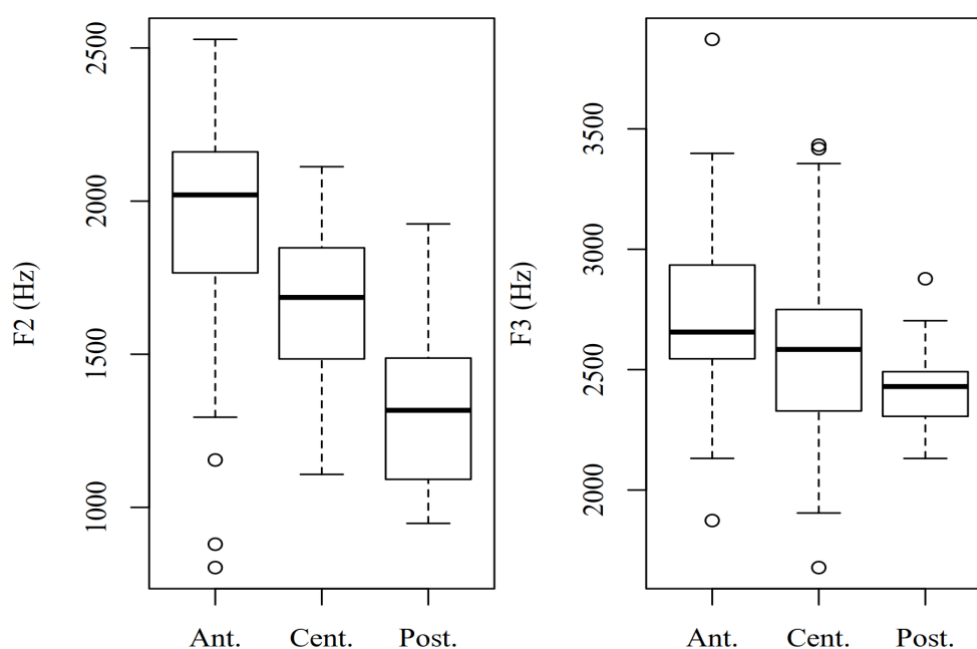


Figura 3. Panel izquierdo: gráfico de cajas para los valores de *F2 previos* de las vocales anteriores, centrales y posteriores (“Ant.” = anterior, “Cent.” = central, “Post.” = posterior). Panel derecho: gráfico de cajas para los valores de *F3 previos* de las vocales anteriores, centrales y posteriores (“Ant.” = anterior, “Cent.” = central, “Post.” = posterior).

3.1.3. Análisis *post-hoc* variable sexo

La variable *sexo* también mostró un efecto estadísticamente significativo en *F2 previo* y en *F3 previo*. Los análisis *post hoc* para esta variable revelaron que las diferencias entre el *F2 previo* de mujeres ($\tilde{x} = 1.854,4$) y hombres ($\tilde{x} = 1.541,24$) fueron estadísticamente significativas ($W = 10.072, p < 0,001, r = 0,473$). En el caso de *F3 previo*, las producciones de mujeres ($\tilde{x} = 2.762,67$) y hombres ($\tilde{x} = 2.470,35$) también presentaron diferencias estadísticamente significativas ($W = 10.756, p < 0,001, r = 0,564$).

En ambos casos, la mediana de las producciones realizadas por mujeres fue más alta que la de los hombres. En la Figura 4, se grafican estas diferencias en F2 y F3.

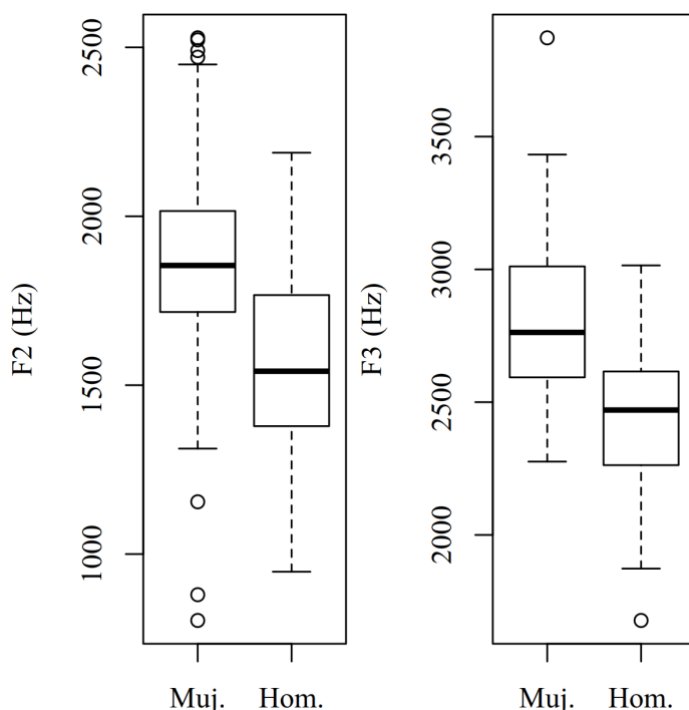


Figura 4. Panel izquierdo: gráficos de cajas para las distribuciones de $F2$ previas para mujeres y hombres (“Muj.” = mujeres, “Hom.” = hombres). Panel derecho: gráficos de caja para las distribuciones de $F3$ previas de hombres y mujeres (“Muj.” = mujeres, “Hom.” = hombres).

3.1.4. Análisis post-hoc de la interacción entre consonante y vocal previa

La prueba MANOVA mostró, además, que existía una interacción estadísticamente significativa entre *consonante* y *vocal previa*. Los análisis *post hoc* realizados en la variable dependiente $F2$ previo arrojaron que cuando las vocales anteriores ocurrieron antes de las consonantes $/tʃ/$ ($\tilde{x} = 1.888,51$) y $/tʂ/$ ($\tilde{x} = 2.098,03$) presentaron diferencias estadísticamente significativas ($W = 250$, $p < 0,05$, $r = 0,307$). Cuando las vocales previas a $/tʃ/$ ($\tilde{x} = 1.722,44$) y $/tʂ/$ ($\tilde{x} = 1.552,63$) fueron centrales, estas consonantes también presentaron diferencias estadísticamente significativas ($W = 3.604$, $p < 0,001$). Por último, las diferencias entre $/tʃ/$ ($\tilde{x} = 1.466,44$) y $/tʂ/$ ($\tilde{x} = 1.060,62$) con vocales posteriores fueron igualmente significativas ($W = 106$, $p < 0,001$, $r = 0,676$).

En relación con los valores de $F3$ previo de las consonantes $/tʃ/$ ($\tilde{x} = 2.636,52$) y $/tʂ/$ ($\tilde{x} = 2.725,48$) los resultados mostraron que no existían diferencias estadísticamente significativas entre estas categorías cuando fueron precedidas por vocales anteriores ($W = 338$, $p = 0,341$, $r = 0,126$) y lo mismo ocurrió entre $/tʃ/$ ($\tilde{x} = 2.589,23$) y $/tʂ/$ ($\tilde{x} = 2.569,45$) con vocales centrales ($W = 2.917$, $p = 0,34$, $r = 0,078$). Contrariamente, cuando las vocales posteriores ocurrieron antes de $/tʃ/$ ($\tilde{x} = 2.477,96$) y $/tʂ/$ ($\tilde{x} = 2.287,25$) sí mostraron diferencias estadísticamente significativas ($W = 102$, $p < 0,01$, $r = 0,619$).

La mediana de las consonantes retroflejas fue más alta que la de las alveopalatales cuando les antecedió una vocal anterior, mientras que fue más baja con vocales centrales y posteriores. En la Figura 5 se grafican estos resultados.

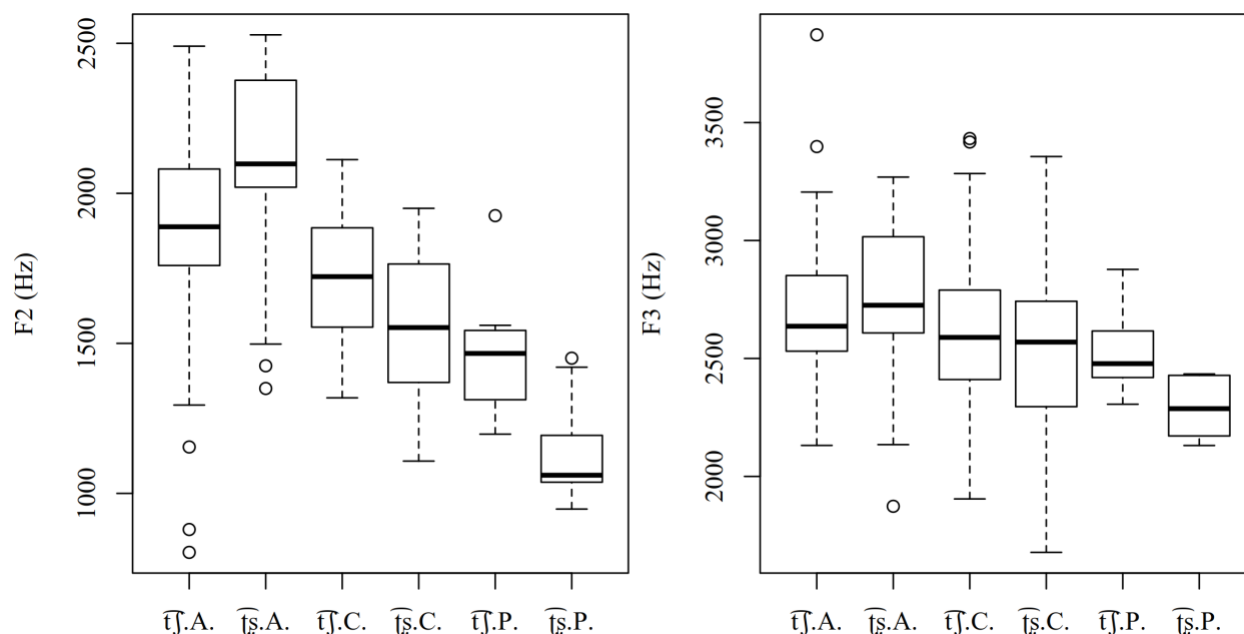


Figura 5. Panel izquierdo: gráfico de cajas con las distribuciones de $F2$ previas para las consonantes $/tj/$ y $/ts/$ separadas por tipo de vocal (“A” = anterior, “C” = central y “P” = posterior) en contexto VC. Panel derecho: gráfico de cajas con las distribuciones de $F3$ previas para las consonantes $/tj/$ y $/ts/$ separadas por tipo de vocal (“A” = anterior, “C” = central y “P” = posterior) en contexto VC.

3.1.5. Análisis post-hoc de la interacción entre sexo y consonante

Los análisis *post hoc* mostraron que los valores de $F2$ previo de las consonantes $/tj/$ ($\tilde{x} = 1.888,12$) y $/ts/$ ($\tilde{x} = 1.847,93$) producidas por mujeres no presentan diferencias estadísticamente significativas ($W = 1.235$, $p = 0,791$, $r = 0,027$), en cambio, las diferencias entre las consonantes $/tj/$ ($\tilde{x} = 1.612,19$) y $/ts/$ ($\tilde{x} = 1.383,26$) producidas por hombres sí resultaron ser estadísticamente significativas ($W = 3.079$, $p < 0,001$, $r = 0,454$).

En cuanto a $F3$ previo, $/tj/$ ($\tilde{x} = 2.795,07$) y $/ts/$ ($\tilde{x} = 2.753,57$) producidas por mujeres no presentaron diferencias estadísticamente significativas ($W = 1.202$, $p = 0,975$, $r = 0,004$), mientras que las diferencias de $/tj/$ ($\tilde{x} = 2.530,81$) y $/ts/$ ($\tilde{x} = 2.378,66$) emitidas por hombres sí alcanzaron significatividad estadística ($W = 2.576$, $p < 0,01$, $r = 0,244$).

Los datos de esta interacción se presentan en la Figura 6. En general, se aprecia que los valores de F2 y F3 producidos por mujeres son más altos que los producidos por hombres.

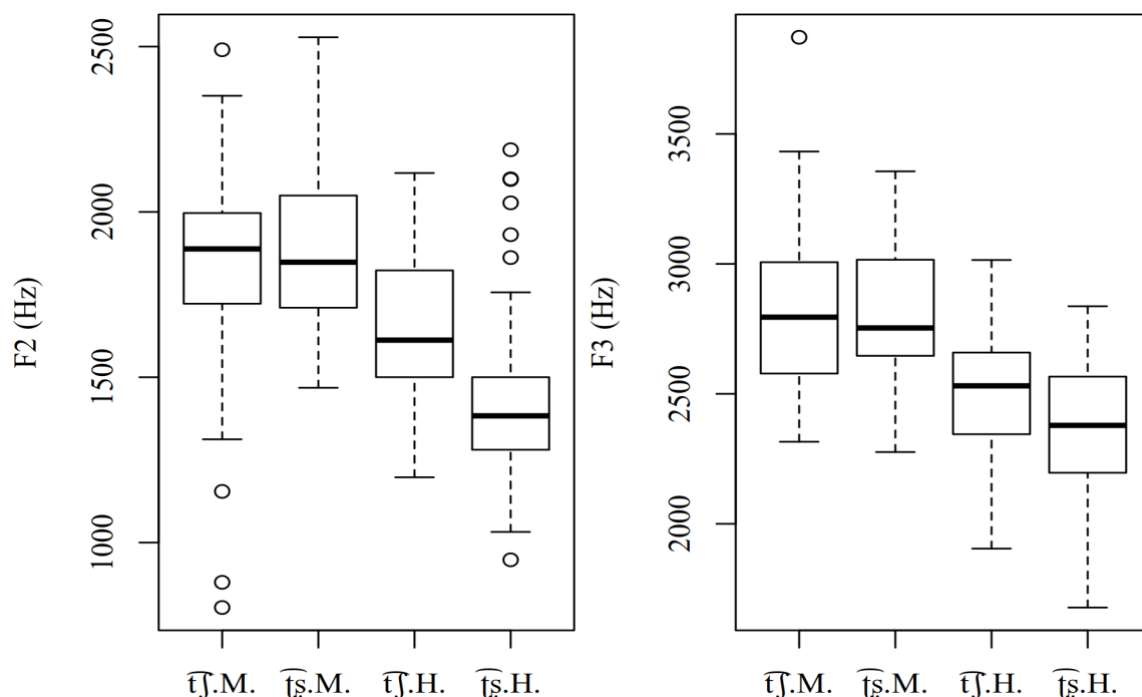


Figura 6. Panel izquierdo: gráfico de cajas con las distribuciones de $F2$ previas para las consonantes $/tʃ/$ y $/tʃ̌/$ separadas por sexo (“M” = mujer, “H” = hombre). Panel derecho: gráfico de cajas con las distribuciones de $F3$ previas para las consonantes $/tʃ/$ y $/tʃ̌/$ separadas por sexo (“M” = mujer, “H” = hombre).

3.1.6. Análisis post-hoc de la interacción entre consonante, vocal y sexo

Los resultados de los análisis *post hoc*, no reportados aquí, arrojaron que $F2$ previo permitió distinguir entre las consonantes $/tʃ/$ y $/tʃ̌/$ cuando eran producidas por mujeres y les precedía una vocal central, pero no cuando antes ocurría una vocal anterior, mientras que en el caso de las vocales posteriores no hubo instancias que precedieran la consonante retrofleja, lo que también aplica para $F3$.

En cuanto a la comparación entre $/tʃ/$ y $/tʃ̌/$ producidas por hombres, $F2$ previo distinguió ambas consonantes en todos los contextos vocálicos, excepto cuando antes ocurrió una vocal anterior. Los resultados de $F3$ para $/tʃ/$ y $/tʃ̌/$ producidos por mujeres arrojaron que no existían diferencias estadísticamente significativas cuando antes ocurrieron vocales anteriores y centrales. En el caso de los hombres, $/tʃ/$ y $/tʃ̌/$ presentaron diferencias estadísticamente significativas solamente cuando antes ocurrieron vocales posteriores.

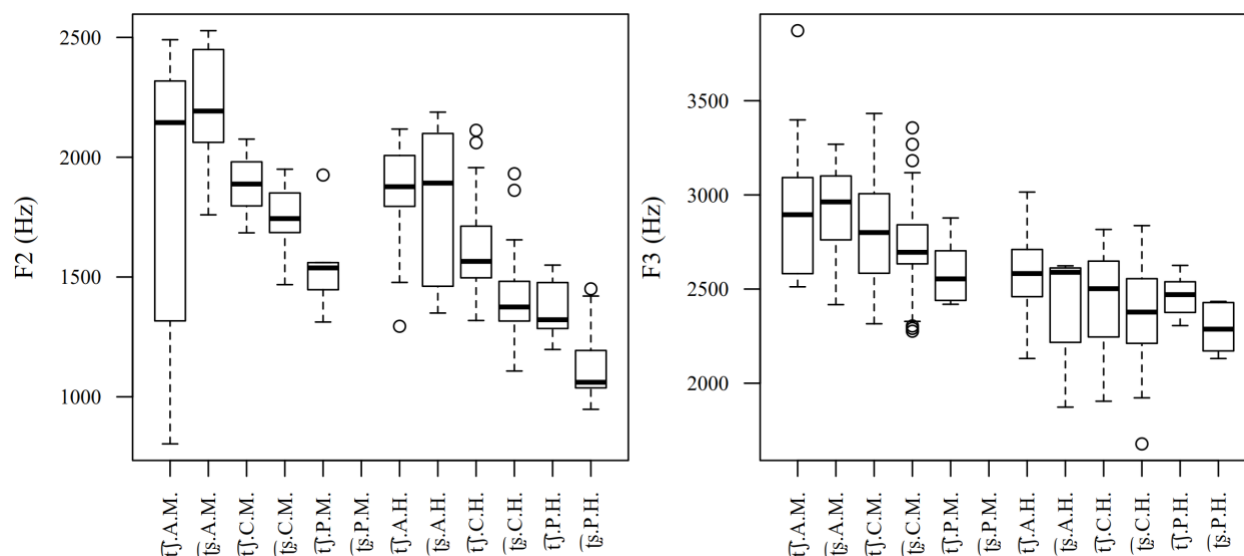


Figura 7. Panel izquierdo: gráfico de cajas con las distribuciones de $F2$ previas para las consonantes $/tʃ/$ y $/tʃ/$ separadas por tipo de vocal (“A” = anterior, “C” = central, “P” = posterior) y sexo (“M” = mujer, “H” = hombre). Panel derecho: gráfico de cajas con las distribuciones de $F3$ previas para las consonantes $/tʃ/$ y $/tʃ/$ separadas por tipo de vocal (“A” = anterior, “C” = central, “P” = posterior) y sexo (“M” = mujer, “H” = hombre).

3.2. Resultados prueba MANOVA para las vocales siguientes a $/tʃ/$ y $/tʃ/$

Para evaluar el efecto de las variables independientes *consonante*, *vocal siguiente* y *sexo* en las variables dependientes $F2$ siguiente y $F3$ siguiente se aplicó una prueba MANOVA, la que mostró un efecto estadísticamente significativo de las variables *consonante*, $V = 0,31$, $F(2, 446) = 100$, $p < 0,001$; *vocal siguiente* $V = 0,631$, $F(4, 894) = 103$, $p < 0,001$; y *sexo* $V = 0,446$, $F(2, 446) = 180$, $p < 0,001$. Además, mostró una interacción estadísticamente significativa entre las variables *consonante* y *vocal siguiente* $V = 0,07$, $F(4, 894) = 8$, $p < 0,001$; entre *consonante* y *sexo* $V = 0,014$, $F(2, 446) = 3$, $p < 0,05$; y entre *vocal siguiente* y *sexo* $V = 0,041$, $F(4, 894) = 5$, $p < 0,001$. Debido a que no se cumplieron algunas asunciones de la prueba MANOVA, se aplicó una MANOVA “robusta”, la que confirmó el efecto principal de la variable *consonante* $H(2) = 41,576$, $p < 0,001$.

3.2.1. Análisis post-hoc variable consonante

El análisis *post hoc* realizado para evaluar el efecto de la variable *consonante* en los valores de la variable $F2$ siguiente mostró que para $/tʃ/$ ($\bar{x} = 1.789,97$) y $/tʃ/$ ($\bar{x} = 1.521,24$) hubo diferencias estadísticamente significativas ($W = 36.807$, $p < 0,001$, $r = 0,350$). En el caso de $F3$ siguiente, las consonantes $/tʃ/$ ($\bar{x} = 2.611,27$) y $/tʃ/$ ($\bar{x} = 2.542,26$) también presentaron diferencias estadísticamente significativas ($W = 31.268$, $p < 0,001$, $r = 0,168$).

En ambos casos, las consonantes retroflejas tuvieron medianas en frecuencias más bajas que las alveopalatales. La Figura 8 contiene representaciones de los datos que sustentan este análisis.

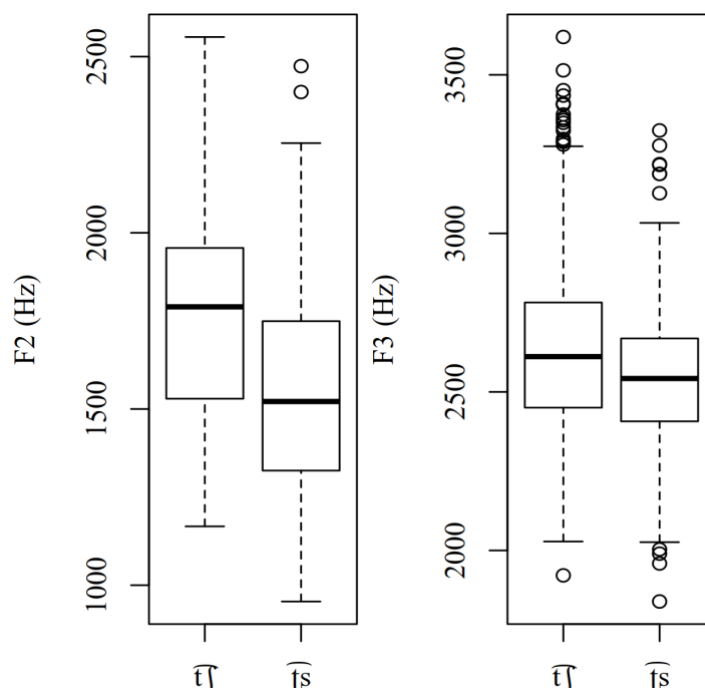


Figura 8. Panel izquierdo: gráficos de cajas para las distribuciones de *F2 siguiente* a las consonantes /tʃ/ y /tʂ/ en contexto CV. Panel derecho: gráficos de cajas para las distribuciones de *F3 siguiente* en las consonantes /tʃ/ y /tʂ/ en contexto CV.

3.2.2. Análisis post-hoc variable vocal siguiente

Para profundizar en los detalles del efecto estadísticamente significativo de la variable *vocal siguiente* en *F2 siguiente* y en *F3 siguiente*, se utilizaron dos pruebas de Kruskal-Wallis. La primera reveló diferencias estadísticamente significativas de *vocal siguiente* en los valores de *F2 siguiente* $H(2) = 241,14$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,524$. Los análisis *post hoc* (con corrección de Bonferroni) determinaron que entre las vocales anteriores ($\tilde{x} = 2.000,11$) y centrales ($\tilde{x} = 1.654,33$) existían diferencias estadísticamente significativas ($W = 26.095$, $p < 0,001$, $r = 0,57$). En cuanto a las vocales anteriores ($\tilde{x} = 2.000,11$) y posteriores ($\tilde{x} = 1.289,54$) también se detectaron diferencias estadísticamente significativas ($W = 10.874$, $p < 0,001$, $r = 0,831$) y, por último, entre las vocales centrales ($\tilde{x} = 1.654,33$) y posteriores ($\tilde{x} = 1.289,54$) las diferencias también fueron estadísticamente significativas ($W = 19.200$, $p < 0,001$, $r = 0,59$).

La segunda prueba de Kruskal-Wallis determinó que existía un efecto estadísticamente significativo de la variable *vocal siguiente* en los valores de *F3 siguiente* $H(2) = 43,267$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,091$. Las pruebas de Wilcoxon arrojaron que entre las vocales anteriores ($\tilde{x} = 2.692,78$) y centrales ($\tilde{x} = 2.563,59$) hubo diferencias estadísticamente significativas ($W = 20.194$, $p < 0,001$, $r = 0,256$), y que entre las vocales anteriores ($\tilde{x} = 2.692,78$) y posteriores ($\tilde{x} = 2.475,52$) también hubo diferencias estadísticamente significativas ($W = 8.264$, $p < 0,001$, $r = 0,428$). Finalmente, la diferencia entre vocales centrales ($\tilde{x} = 2.563,59$) y posteriores ($\tilde{x} = 2.475,52$) fue igualmente significativa ($W = 12.949$, $p < 0,05$, $r = 0,15$).

El orden decreciente de la mediana de las vocales es: anterior > central > posterior. Esto es válido tanto para *F2 siguiente* como para *F3 siguiente*. En la Figura 9 se presentan dichos valores.

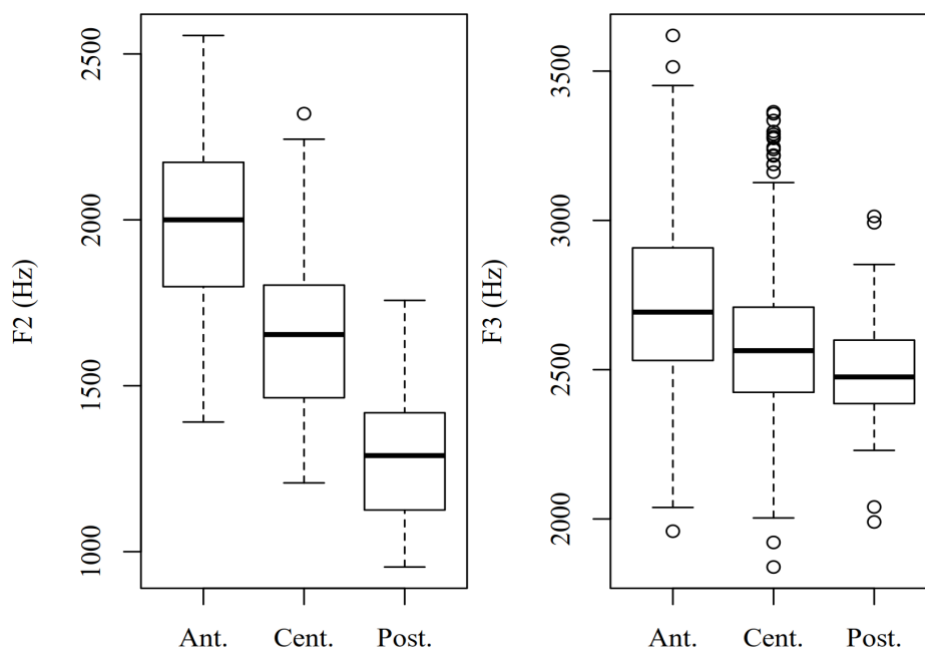


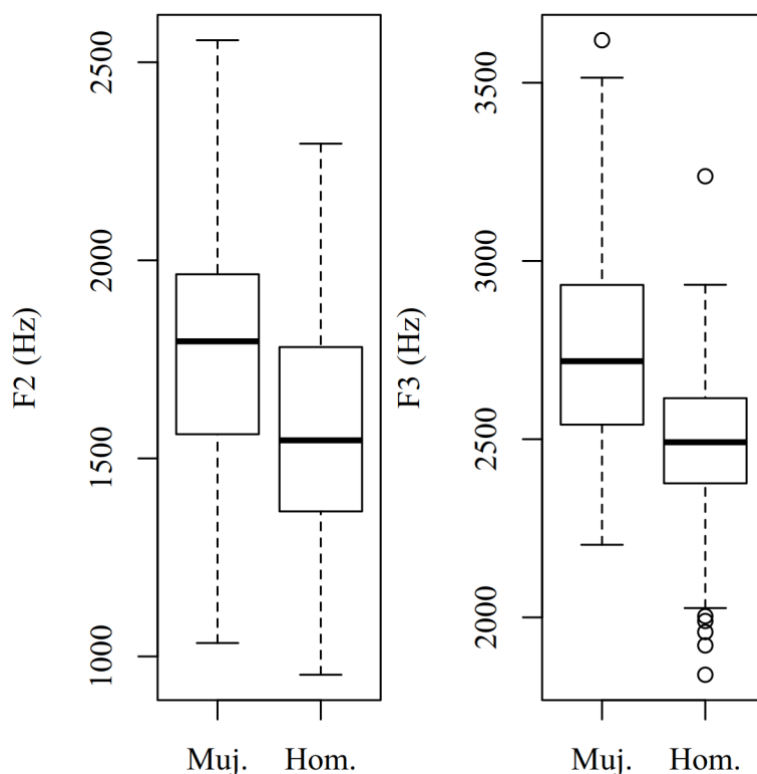
Figura 9. Panel izquierdo: gráficos de cajas para las distribuciones de *F2 siguientes* separados por la variable vocal siguiente (“Ant.” = anterior, “Cent.” = central, “Post.” = posterior). Panel derecho: gráficos de cajas para las distribuciones de *F3 siguientes* separados por la variable vocal siguiente (“Ant.” = anterior, “Cent.” = central, “Post.” = posterior).

3.2.3. Análisis post-hoc variable sexo

La primera prueba de Wilcoxon estableció que entre los valores de mujeres ($\tilde{x} = 1.795,45$) y hombres ($\tilde{x} = 1.545,6$) existían diferencias estadísticamente significativas en los valores de *F2 siguientes* ($W = 35.548$, $p < 0,001$, $r = 0,312$). La segunda prueba indicó que en *F3 siguiente*, mujeres ($\tilde{x} = 2.718,75$) y hombres ($\tilde{x} = 2.491,44$) también presentaron diferencias

estadísticamente significativas ($W = 40.474$, $p < 0,001$, $r = 0,475$). Ambos resultados se encuentran graficados en la Figura 10.

Figura 10. Panel izquierdo: gráficos de caja para las distribuciones de $F2$ siguientes para los datos de hombres y mujeres (“Muj.” = mujer, “Hom.” = hombre). Panel derecho: gráficos de caja para las distribuciones de $F3$ siguientes para los datos de hombres y mujeres (“Muj.” = mujeres, “Hom.” = hombres).



3.2.4. Análisis post-hoc de la interacción entre sexo y consonante

Los análisis *post hoc* mostraron que en el caso de $F2$ siguiente las consonantes $/tʃ/$ ($\tilde{x} = 1.878,04$) y $/tʃ̺/$ ($\tilde{x} = 1.680,42$) producidas por mujeres presentaron diferencias estadísticamente significativas ($W = 7.886$, $p < 0,001$, $r = 0,411$) al igual que $/tʃ/$ ($\tilde{x} = 1.674,56$) y $/tʃ̺/$ ($\tilde{x} = 1.394,04$) producidas por hombres ($W = 11.357$, $p < 0,001$, $r = 0,382$).

En el caso de $F3$ siguiente, las diferencias entre $/tʃ/$ ($\tilde{x} = 2.758,17$) y $/tʃ̺/$ ($\tilde{x} = 2.625,4$) producidas por mujeres resultaron ser estadísticamente significativas ($W = 6.989$, $p < 0,001$, $r = 0,266$), al igual que $/tʃ/$ ($\tilde{x} = 2.505,02$) y $/tʃ̺/$ ($\tilde{x} = 2.469,2$) producidas por hombres ($W = 9.283$, $p < 0,05$, $r = 0,155$). En la Figura 11 se muestran los datos de esta interacción.

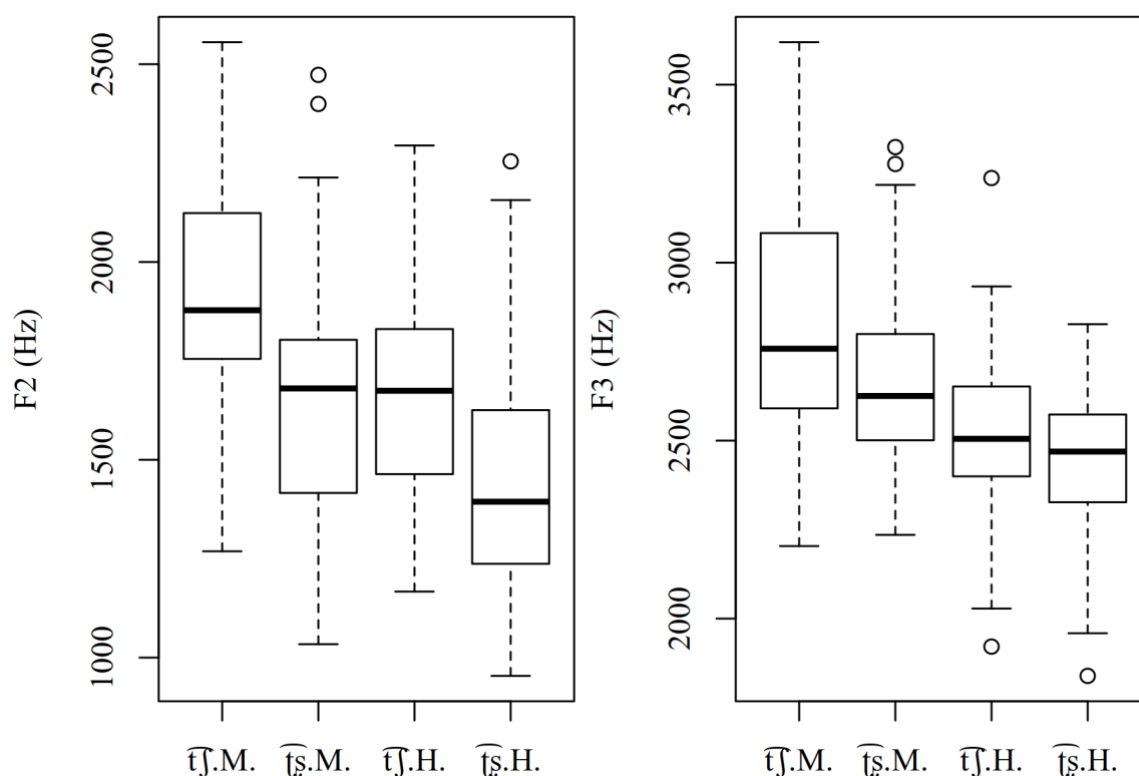


Figura 11. Panel izquierdo: gráfico de cajas con las distribuciones de *F2 siguientes* para las consonantes /tj/ y /tʃ/ separadas por sexo (“M” = mujer, “H” = hombre). Panel derecho: gráfico de cajas con las distribuciones de *F3 siguientes* para las consonantes /tj/ y /tʃ/ separadas por sexo (“M” = mujer, “H” = hombre).

3.2.5. Análisis post-hoc de la interacción entre sexo y vocal

Los análisis *post hoc* mostraron que cuando las vocales eran anteriores, las diferencias entre los valores de *F2 siguientes* de mujeres ($\tilde{x} = 2.175,42$) y de hombres ($\tilde{x} = 1.873,32$) fueron estadísticamente significativas ($W = 2.885$, $p < 0,001$, $r = 0,445$). Cuando ocurrieron vocales centrales, las diferencias entre los valores de *F2 siguientes* de mujeres ($\tilde{x} = 1.803,37$) y hombres ($\tilde{x} = 1.487,63$) también resultaron ser estadísticamente significativas ($W = 13.399$, $p < 0,001$, $r = 0,682$). Por último, las diferencias entre mujeres ($\tilde{x} = 1.397,29$) y hombres ($\tilde{x} = 1.125,51$) fueron estadísticamente significativas ($W = 1.648$, $p < 0,001$, $r = 0,615$) cuando ocurrieron vocales posteriores.

En el caso de *F3 siguiente*, los valores de este formante entre mujeres ($\tilde{x} = 2.954,77$) y hombres ($\tilde{x} = 2.584,66$) presentaron diferencias estadísticamente significativas con vocales anteriores ($W = 3.341$, $p < 0,001$, $r = 0,661$), lo mismo ocurrió entre mujeres ($\tilde{x} = 2.691,88$) y hombres ($\tilde{x} = 2.481,71$) con vocales centrales ($W = 11.775$, $p < 0,001$, $r = 0,495$); y entre mujeres ($\tilde{x} = 2.565,46$) y hombres ($\tilde{x} = 2.394,19$) cuando las vocales fueron posteriores ($W = 1.575$, $p < 0,001$, $r = 0,549$). En todos los casos, los valores de la mediana de las mujeres fueron más altos que los de la mediana de los hombres (véase la Figura 12).

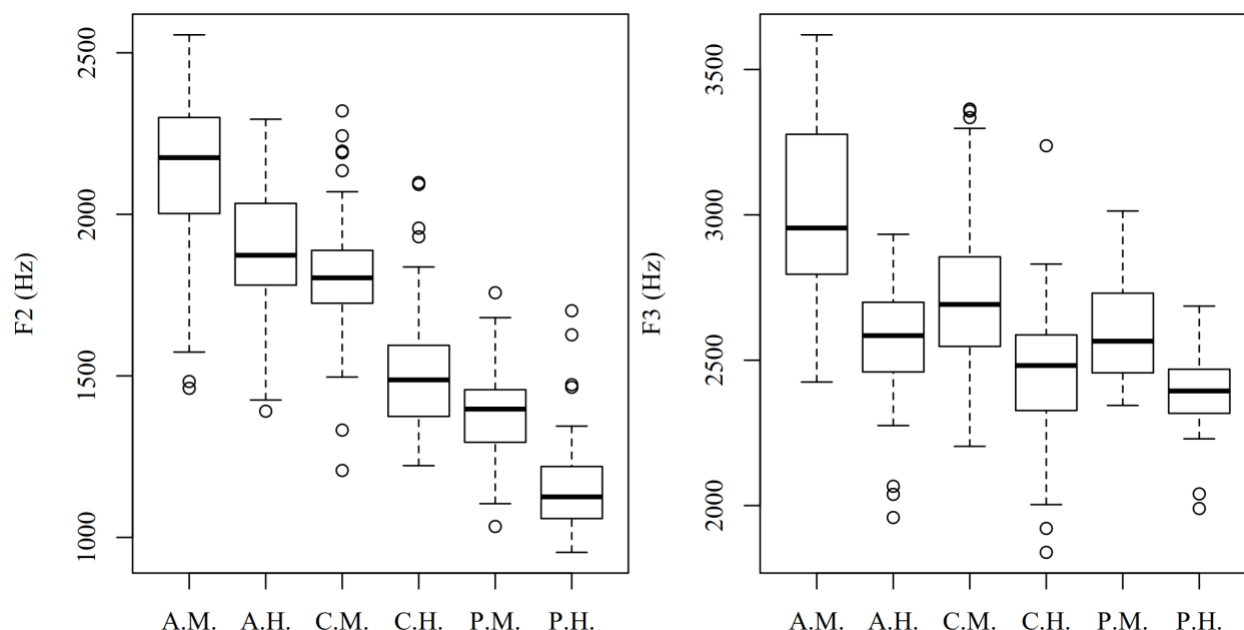


Figura 12. Panel izquierdo: gráficos de caja para la interacción entre las variables *sexo* y *vocal siguiente* en los valores de *F2 siguiente* (“A.M.” = anterior mujer, “A.H.” = anterior hombre, “C.M.” = central mujer, “C.H.” = central hombre, “P.M.” = posterior mujer, “P.H.” = posterior hombre). Panel derecho: gráficos de caja para la interacción entre las variables *sexo* y *vocal siguiente* en los valores de *F3 siguiente* (“A.M.” = anterior mujer, “A.H.” = anterior hombre, “C.M.” = central mujer, “C.H.” = central hombre, “P.M.” = posterior mujer, “P.H.” = posterior hombre).

3.2.6. Análisis post-hoc de la interacción entre consonante y vocal siguiente

En cuanto a la interacción estadísticamente significativa entre *consonante* y *vocal siguiente* para los datos de *F2 siguiente*, los análisis *post hoc* mostraron que cuando ocurrieron vocales anteriores después de $\widehat{tj}/$ ($\tilde{x} = 1.967,35$) y $\widehat{tʃ}/$ ($\tilde{x} = 2.004,37$) estas categorías no presentaron diferencias estadísticamente significativas ($W = 1.667$, $p = 0,942$, $r = 0,006$). Cuando después de las consonantes $\widehat{tj}/$ ($\tilde{x} = 1.728,43$) y $\widehat{tʃ}/$ ($\tilde{x} = 1.566,68$) ocurrieron vocales centrales sí presentaron diferencias estadísticamente significativas ($W = 10.259$, $p < 0,001$, $r = 0,316$). Por último, cuando $\widehat{tj}/$ ($\tilde{x} = 1.405,19$) y $\widehat{tʃ}/$ ($\tilde{x} = 1.221,65$) fueron seguidas por vocales posteriores, también presentaron diferencias estadísticamente significativas ($W = 1.207$, $p < 0,001$, $r = 0,391$).

En el caso de *F3 siguiente*, cuando las consonantes $\widehat{tj}/$ ($\tilde{x} = 2.721,31$) y $\widehat{tʃ}/$ ($\tilde{x} = 2.592,39$) fueron seguidas por vocales anteriores, presentaron diferencias estadísticamente significativas ($W = 2.213$, $p < 0,01$, $r = 0,269$). Sin embargo, cuando ocurrieron vocales centrales después de $\widehat{tj}/$ ($\tilde{x} = 2.573,56$) y $\widehat{tʃ}/$ ($\tilde{x} = 2.551,56$) no presentaron diferencias estadísticamente significativas ($W = 7.773$, $p = 0,629$, $r = 0,031$). Esto también ocurrió cuando $\widehat{tj}/$ ($\tilde{x} = 2.486,72$) y $\widehat{tʃ}/$ ($\tilde{x} = 2.472,46$) fueron seguidas por vocales posteriores ($W = 892$, $p = 0,434$, $r = 0,084$).

Como puede apreciarse, ambos formantes en contexto CV siempre presentaron valores mayores cuando las vocales en las que se midieron se encontraban precedidas por una consonante alveopalatal. La Figura 13 contiene los datos que sustentan estos análisis estadísticos.

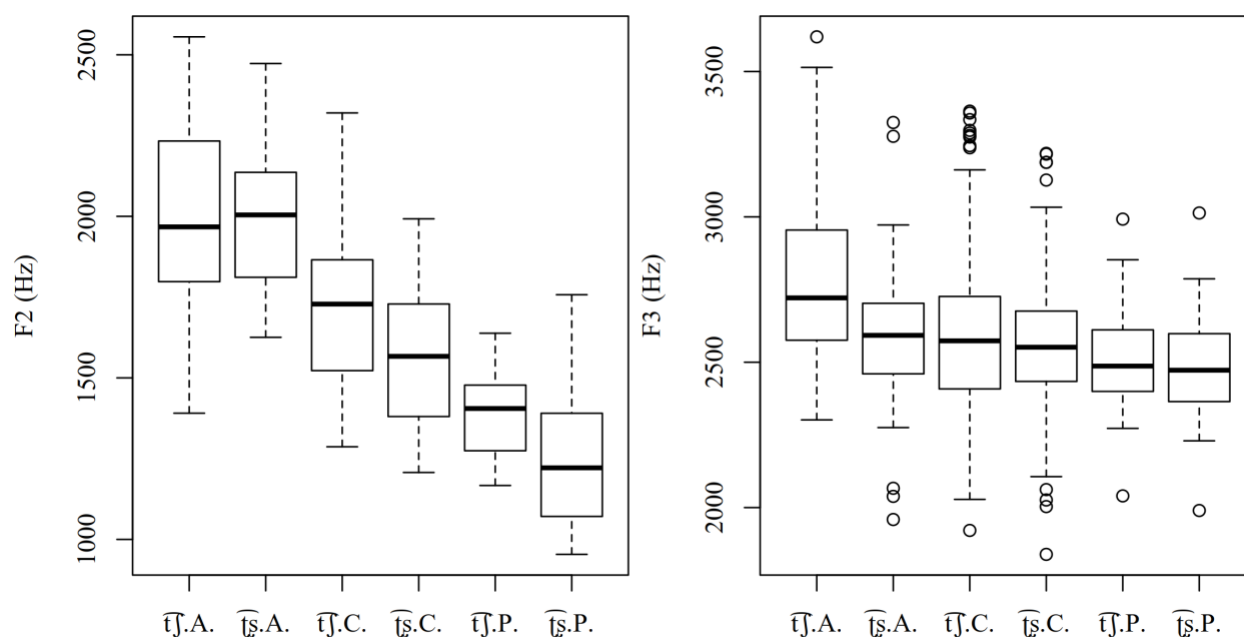


Figura 13. Panel izquierdo: gráfico de cajas con los valores de F2 siguientes para las consonantes $/tj/$ y $/tj̃/$ separados por tipo de vocal (“A.” = anterior, “C.” = central y “P.” = posterior) en contexto CV. Panel derecho: gráfico de cajas con los valores de F3 siguientes para las consonantes $/tj/$ y $/tj̃/$ separados por tipo de vocal en contexto CV (“A.” = anterior, “C.” = central y “P.” = posterior).

3.3. Síntesis de resultados

El primer análisis de tipo MANOVA tuvo como propósito determinar si los valores de F2 y F3 de las vocales localizadas antes de las consonantes $/tj̃/$ y $/tj/$ permitían distinguirlas, además de evaluar el efecto de otras variables de importancia (*sexo* y *vocal previa*). Mientras la MANOVA mostró un efecto estadísticamente significativo de la variable *consonante*, la MANOVA “robusta” no confirmó este resultado. Sin embargo, los análisis *post hoc* mostraron que estos resultados pueden deberse a que existió un efecto de *F2 previo*, pero no de *F3 previo*. En el caso de la prueba MANOVA para los datos de F2 y F3 siguientes, los resultados también fueron estadísticamente significativos para la variable *consonante* (también lo fueron para la MANOVA “robusta”).

Tanto en la primera MANOVA como en la segunda, la variable *sexo* tuvo un efecto estadísticamente significativo; luego, los análisis *post hoc* indicaron que existían diferencias estadísticamente significativas entre mujeres y hombres para ambos formantes cuando se encontraban antes de las consonantes $/tj̃/$ y $/tj/$ (VC), y después de ellas (CV). En ambos casos, los valores de los formantes vocálicos siempre fueron más altos en las mujeres que en los hombres. En relación con esta variable, en ambas pruebas hubo una interacción estadísticamente significativa entre *sexo* y *consonante*. Las pruebas de Wilcoxon mostraron que las consonantes alveopalatales y retroflejas presentaron diferencias estadísticamente significativas cuando eran producidas por hombres y por mujeres en F2 y F3 en contexto CV (segunda MANOVA), pero en contexto VC (primera MANOVA) solamente las producciones de retroflejas y alveopalatales de los hombres presentaron diferencias estadísticamente

significativas en F2 y F3. Las diferencias de las consonantes de las mujeres no fueron estadísticamente significativas para ambos formantes.

En la primera MANOVA (contexto VC), también hubo una interacción entre *consonante*, *vocal previa* y *sexo*. En este caso, F2 y F3 no permitieron distinguir entre las consonantes alveopalatales y retroflejas producidas por mujeres y por hombres cuando antes ocurrían vocales anteriores. En el caso de vocales centrales precedidas por las consonantes alveopalatales y retroflejas, no existieron diferencias estadísticamente significativas en F2 cuando estas consonantes eran producidas por mujeres, pero sí cuando fueron elicitadas por hombres. En F3 no hubo diferencias estadísticamente significativas. Dado que no hubo instancias vocálicas posteriores precedidas por consonantes retroflejas producidas por mujeres, no se realizaron análisis estadísticos en ambos formantes. Estas vocales sí fueron elicitadas por hombres y tanto en F2 como en F3 hubo diferencias estadísticamente significativas entre las alveopalatales y las retroflejas.

En la segunda MANOVA, hubo una interacción estadísticamente significativa entre *sexo* y *vocal siguiente* en los valores de *F2 siguiente* y *F3 siguiente*. Las pruebas de Wilcoxon revelaron que las diferencias entre mujeres y hombres fueron estadísticamente significativas en todos los contextos vocálicos de ambos formantes y que las mujeres siempre presentaron valores de mediana en frecuencias más altas que los de los hombres.

La variable *vocal previa* tuvo efectos estadísticamente significativos en *F2 previo* y *F3 previo* (MANOVA 1), y la variable *vocal siguiente* también tuvo efectos estadísticamente significativos en *F2 siguiente* y *F3 siguiente* (MANOVA 2). Los análisis *post hoc* demostraron que las vocales anteriores, centrales y posteriores presentaron diferencias estadísticamente significativas en los valores de F2 y F3 en ambos contextos, VC y CV. En todos los casos, las vocales anteriores presentaron valores más altos de F2 y F3.

4. DISCUSIÓN

4.1. F2 en contexto vocal consonante (VC) y consonante vocal (CV)

En este apartado se discutirán los resultados del efecto de las variables independientes *vocal previa* y *vocal siguiente* en las variables dependientes *F2 previo* (VC) y *F2 siguiente* (CV), respectivamente. Los análisis *post hoc* de la primera MANOVA, que incorporó como variable dependiente al F2 en la vocal previa a la consonante, indicaron que existían diferencias estadísticamente significativas en los valores de F2 antes de las consonantes /tʃ/ y /tʂ/. Específicamente, la mediana de la consonante retrofleja presentó valores más bajos de F2 ($\tilde{x} = 1.655,03$) que la mediana de la consonante alveopalatal ($\tilde{x} = 1.759,76$). Lo mismo ocurrió en F2 en contexto CV, ya que la mediana de /tʃ/ ($\tilde{x} = 1.789,97$) fue mayor que la de /tʂ/ ($\tilde{x} = 1.521,24$). Estos resultados concuerdan con Dart y Nihalani (1999), quienes determinaron que en general las consonantes retroflejas, en su estudio de oclusivas y nasales, presentan valores más bajos de F2 que las no retroflejas en la lengua malabar. Sin embargo, Stevens y Blumstein (1975) afirman que F2 presenta valores similares para retroflejas y no retroflejas, ya que la variación de este formante se vincula a la posición de la lengua después de la constricción, la cual depende mayoritariamente del contexto vocálico. Por esta razón, también se decidió incluir en este estudio el contexto vocálico en los valores de F2 antes y después de las consonantes. Los análisis *post hoc* revelaron que en todos los contextos vocálicos existían diferencias

estadísticamente significativas entre ambas consonantes en contexto VC. Los valores de la mediana de F2 de las vocales anteriores antes de la consonante retrofleja /tʃ/ ($\tilde{x} = 2.098,03$) fueron más altos que en /tj/ ($\tilde{x} = 1.888,51$), pero cuando las vocales eran centrales, /tʃ/ ($\tilde{x} = 1.552,63$) presentaron valores más bajos que /tj/ ($\tilde{x} = 1.722,44$), al igual que con vocales posteriores (/tʃ/ = 1.060,62; /tj/ = 1.466,44). En el caso del contexto CV, las diferencias entre /tʃ/ y /tj/ fueron estadísticamente significativas cuando la vocal siguiente era central (/tʃ/ = 1.728,43; /tj/ = 1.566,68) y posterior (/tʃ/ = 1.405,19; /tj/ = 1.221,65), pero no cuando era anterior (/tʃ/ = 1.967,35 y /tj/ = 2.004,37).

Estos resultados sugieren que a medida que el contexto vocálico es más posterior, los valores de F2 disminuyen para ambas consonantes, lo que no es inesperado, dado que mientras más posterior es una vocal, más bajos suelen ser sus valores de F2 (Reetz y Jongman, 2009). El hecho de que las consonantes retroflejas presenten valores más bajos de F2, entonces, puede estar relacionado con la posición y forma del articulador activo, ya que /tʃ/ es producida con el ápice de la lengua, a diferencia de /tj/ que es laminal. De acuerdo con Hamilton (1996), en las lenguas aborígenes australianas las consonantes apicales tienen valores de F2 a más bajas frecuencias que las consonantes laminales. En los datos del presente estudio, el único contexto vocálico en el que los valores de F2 fueron más altos en la retrofleja /tʃ/ que en la alveopalatal /tj/ ocurrió cuando ambas consonantes estaban precedidas por una vocal anterior o seguían una vocal anterior.

4.2. F3 en contexto vocal consonante (VC) y consonante vocal (CV)

En el caso de *F3 previo*, la mediana de las consonantes retroflejas ($\tilde{x} = 2.576,56$) presentó valores más bajos que los de la consonante alveopalatal /tʃ/ ($\tilde{x} = 2.595,73$). Sin embargo, estas diferencias no fueron estadísticamente significativas. En el caso de *F3 siguiente*, los valores después de la consonante /tʃ/ ($\tilde{x} = 2.611,27$) fueron más altos que los de /tʃ/ ($\tilde{x} = 2.542,26$) y las diferencias sí fueron estadísticamente significativas. Estos resultados son opuestos a los de Bundgaard-Nielsen *et al.* (2015), quienes determinaron que en la lengua wubuy F3 permite distinguir entre consonantes retroflejas, dentales y alveolares cuando la vocal se encuentra antes de la consonante, pero no después de ella.

En cuanto a la interacción de las vocales con las consonantes, en contexto VC, F3 solamente pudo distinguir entre /tʃ/ ($\tilde{x} = 2.477,96$) y /tʃ/ ($\tilde{x} = 2.287,25$) cuando antes ocurrieron vocales posteriores, contexto en el que la consonante retrofleja presenta valores más bajos que la alveopalatal. Los valores de F3 también son más bajos en las retroflejas cuando la vocal es central (/tʃ/ = 2.589,23; /tʃ/ = 2.569,45), pero cuando las vocales previas fueron anteriores, se dio el efecto inverso, esto es, valores mayores de la retrofleja ($\tilde{x} = 2.725,48$) que de la alveopalatal /tʃ/ ($\tilde{x} = 2.636,52$). En contexto CV, F3 solamente permite distinguir ambas consonantes cuando después ocurre una vocal anterior: /tʃ/ ($\tilde{x} = 2.721,31$) y /tʃ/ ($\tilde{x} = 2.592,39$) con valores más bajos en la retrofleja, tendencia que se mantiene ante vocales centrales (/tʃ/ = 2.573,56; /tʃ/ = 2.551,56) y posteriores (/tʃ/ = 2.486,72; /tʃ/ = 2.472,46), pero sin significancia estadística en los últimos dos casos. En el estudio de Hussain *et al.* (2017) en la lengua punjabi, las trayectorias de F3 antes de la consonante permitieron distinguir entre oclusivas dentales y retroflejas en todos los contextos vocálicos, excepto cuando la vocal fue /i/. En la lengua toda, fue posible distinguir la fricativa retrofleja /ʃ/ de las otras fricativas sibilantes (/ʃ/, /s/, /f/), a partir de la transición de F3 en contexto VC cuando la vocal era /ɔ/ (Barthmaier y Sands, 2002).

En cambio, en los datos del presente estudio, F3 solamente distingue ambas consonantes cuando la vocal previa es posterior y cuando la vocal siguiente es anterior. Dado que una de las características articulatorias de las consonantes retroflejas es la relativa posterioridad (Hamann, 2003), es posible que la distinción estadísticamente significativa entre $/\widehat{tj}/$ y $/\widehat{ts}/$ cuando la vocal previa es posterior se deba a que, precisamente, las vocales posteriores influyen en que la consonante retrofleja sea más posterior y, por lo mismo, existirá mayor distancia articulatoria entre $/\widehat{ts}/$ y $/\widehat{tj}/$, ya que este contexto vocálico acentúa la retroflexión de $/\widehat{ts}/$. En el caso de las diferencias estadísticamente significativas entre $/\widehat{tj}/$ y $/\widehat{ts}/$ cuando después ocurre una vocal anterior, puede estar relacionada con que la consonante alveopalatal recibe más influencia de la vocal anterior que la consonante retrofleja, por lo que la transición hacia la vocal siguiente es más anterior en $/\widehat{tj}/$ que en el caso de $/\widehat{ts}/$, pues una de las características articulatorias de las consonantes retroflejas es la retracción del dorso de la lengua, entonces, la articulación de las vocales anteriores puede ser, hasta cierto punto, más incompatible con la retroflexión (Hamann, 2003; Tabain, Butcher, Breen y Beare, 2020).

4.3. Efecto de la variable sexo en las mediciones de F2 y F3

La variable sexo siempre tuvo un efecto estadísticamente significativo en los valores de F2 y F3 y siempre existieron diferencias estadísticamente significativas entre los datos de mujeres y hombres. Tanto en F3 como en F2, las mujeres presentaron valores más altos que los de los hombres. Dado que los datos no fueron normalizados, debido al imbalance en el número de vocales por categoría vocálica, no puede descartarse que estas diferencias se deban a las características anatómicas de los participantes (Adank, Smits y van Hout, 2004). Sin embargo, en el caso de F2 y F3, en el contexto VC, las consonantes $/\widehat{tj}/$ y $/\widehat{ts}/$ no presentaron diferencias estadísticamente significativas cuando fueron producidas por mujeres, pero sí cuando fueron realizadas por hombres. Esto último puede explicarse tal vez dada la interacción estadísticamente significativa entre *consonante*, *vocal previa* y *sexo*. En el caso de las mujeres, no hubo instancias posteriores precedidas por las consonantes retroflejas, pero cuando antes ocurrieron vocales centrales en F2 sí existieron diferencias estadísticamente significativas, no así en F3 y tampoco en ambos formantes cuando previamente se produjeron instancias vocálicas anteriores. Así, entonces, es posible que la no ocurrencia de vocales posteriores influyera en la distinción entre $/\widehat{tj}/$ y $/\widehat{ts}/$ en el sexo femenino, al menos para F2, que en todos los casos mostró ser más eficiente que F3 en la distinción de estas consonantes.

5. CONCLUSIONES Y PROYECCIONES

En términos generales, F2 permite distinguir entre $/\widehat{ts}/$ y $/\widehat{tj}/$ cuando la vocal ocurre antes y después de las consonantes. En el caso de F3, solamente se produce una distinción cuando la transición es de la consonante hacia la vocal siguiente. En todos los contextos, siempre los valores de los formantes asociados a la consonante retrofleja son más bajos que los de la alveopalatal.

Considerando el tipo de vocal, el F2 de la vocal que antecede a las consonantes retroflejas y alveopalatales permite distinguirlas en cualquier contexto vocálico, mientras que el F2 después de la consonante solamente distingue $/\widehat{ts}/$ de $/\widehat{tj}/$ antes de vocales centrales y posteriores. En el caso de F3 en contexto VC, solamente distingue la consonante retrofleja de la alveopalatal cuando la vocal es posterior, mientras que en contexto CV, solamente distingue la retrofleja de la no retrofleja cuando las vocales son anteriores. Por lo tanto, es posible concluir que F2 en

contexto VC es el único formante que permite distinguir de manera confiable entre la consonante retrofleja y la alveopalatal. En otras palabras, es posible hipotetizar que $[tʂ]$ y $[tʃ]$ se diferencian fundamentalmente por el valor de F2 previo a la consonante, lo que sugiere que en mapudungun, a diferencia de lo reportado en otras lenguas, F3 no permitiría distinguir entre consonantes coronales retroflejas y no retroflejas. Sin embargo, sería importante contar con evidencia articuladora de las consonantes retroflejas del mapudungun para confirmar estos resultados.

Consideramos que algunas de las proyecciones de esta investigación son: (a) realizar un estudio perceptual para determinar si, efectivamente, F2 antes de la consonante es una clave acústica que los hablantes oyentes del mapudungun utilizan para distinguir entre ambos sonidos; (b) determinar si F2 en contexto VC permite distinguir entre la consonante aproximante retrofleja sonora $/ɹ/$ y la consonante aproximante palatal sonora $/j/$ en mapudungun, con la finalidad de confirmar si, efectivamente, F2 es el parámetro que mejor distingue las consonantes retroflejas de las no retroflejas en esta lengua; y (c) realizar un estudio de las consonantes retroflejas con ultrasonido para observar las características articulatorias de estos segmentos.

Referencias bibliográficas

- Adank, Patti, Roel Smits y Roeland van Hout. 2004. A comparison of vowel normalization procedures for language variation research. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 116 (5), 3099-3107.
- Bengoa, José. 2004. *La memoria olvidada. Historia de los pueblos indígenas de Chile*. Santiago: Cuadernos Bicentenario.
- Bhat, Darbhe. 1973. Retroflexion: an areal feature. *Working Papers on Language Universals*. 13, 27-67.
- Boersma, Paul y David Weenink. 2023. *Praat: doing phonetics by computer* [programa de computador]. Recuperado de <http://www.praat.org>.
- Box, George. 1949. A general distribution theory for a class of likelihood criteria. *Biometrika*. 36, 3/4, 317-346.
- Bundgaard-Nielsen, Rikke, Brett Baker, Christian Kroos, Mark Harvey y Catherine Best. 2015. Discrimination of multiple coronal stop contrasts in Wubuy (Australia): A natural referent consonant account. *PLoS One*. 10 (12), e0142054.
- Choi, Kyungmee y John Marden. 1997. An approach to multivariate rank tests in multivariate analysis of variance. *Journal of the American Statistical Association*. 92 (440), 1581-1590.
- Croese, Robert. 1980. Estudio dialectológico del mapuche. *Estudios Filológicos*. 15, 7-38.
- Croese, Robert. 1991. Evidencias léxicas y gramaticales para una posible filiación del mapudungun con la macrofamilia arawaka. *Revista Latinoamericana de Estudios Etnolingüísticos*. 6, 283-296.
- Dart, Sarah y Paroo Nihalani. 1999. The articulation of Malayalam coronal stops and nasals. *Journal of the International Phonetic Association*. 29 (2), 129-142.
- Field, Andy, Jeremy Miles y Zoë Field. 2012. *Discovering statistics using R*. London: Sage Publications.
- Fox, John, Michael Friendly, y Georges Monette. 2018. Heplots: Visualizing Tests in Multivariate Linear Models. R package version 1.3-5. URL: <https://CRAN.R-project.org/package=heplots>
- Echeverría, Max. 1964. Descripción fonológica del mapuche actual. *Boletín de Filología de la Universidad de Chile*. XVI, 13-19.

- Gordon, Matthew, Paul Barthmaier y Katy Sands. 2002. A cross-linguistic acoustic study of voiceless fricatives. *Journal of the International Phonetic Association*. 32 (2), 141–174.
- Greenberg, Joseph. 1963. *Universals of Language*. Cambridge: M.I.T. Press.
- Greenberg, Joseph. 1966. *Language Universals*. The Hague: Mouton.
- Hamann, Silke. 2003. *The phonetics and phonology of retroflexes*. Tesis de Doctorado. Utrecht, the Netherlands: LOT Press.
- Hamann, Silke. 2004. Retroflex fricatives in Slavic languages. *Journal of the International Phonetic Association*. 34 (1), 53–67.
- Hamann, Silke y Susanne Fuchs. 2010. Retroflexion of voiced stops: data from Dhao, Thulung, Afar and German. *Language and speech*. 53 (2), 181–216.
- Hamilton, Philip. 1996. *Phonetic constraints and markedness in the phonotactics of Australian Aboriginal languages*. Toronto: University of Toronto.
- Henríquez, Marisol y Gastón Salamanca. 2012. Rasgos prominentes de la fonología segmental del chedungun hablado por escolares del Alto Bío-Bío. *Alpha (Osorno)*. 34, 153–171.
- Hussain, Qandeel, Michael Proctor, Mark Harvey y Katherine Demuth. 2017. Acoustic characteristics of Punjabi retroflex and dental stops. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 141 (6), 4522–4542.
- Key, Mary. 1978. Araucanian genetic relationships. *International Journal of American Linguistics*. 44 (4), 280–293.
- Ladefoged, Peter y Peri Bhaskararao. 1983. Non-quantal aspects of consonant production: A study of retroflex consonants. *Journal of phonetics*. 11 (3), 291–302.
- Lewis, Paul, Gary Simons y Charles Fenning (Eds.). 2016. *Ethnologue: Languages of the World, Nineteenth Edition*. Dallas: SIL International. Versión en línea: <http://www.ethnologue.com>
- Maddieson, Ian y Sandra Disner. 1984. *Patterns of sounds*. Cambridge: University Press.
- Mena, Daniela y Gastón Salamanca. 2018. Transferencias fonético-fonológicas del español en el mapudungun hablado por la población adulta de Alto Biobío, Octava Región, Chile. *Literatura y Lingüística*. 37, 237–251.
- R Core Team. 2018. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. Vienna: R Foundation for Statistical Computing.
- Reetz, Henning y Allard Jongman. 2009. *Phonetics: Transcription, acoustics, production, and perception*. Malden, MA: Wiley-Blackwell.
- Sadowsky, Scott, Héctor Painequeo, Gastón Salamanca y Heriberto Avelino. 2013. Mapudungun. *Journal of the International Phonetic Association*. 43 (1), 87–96.
- Salamanca, Gastón. 1997. Fonología del pehuenche hablado en el Alto Bío Bío. *RLA: Revista de lingüística teórica y aplicada*. 35, 113–124.
- Salas, Adalberto. 2006. *El mapuche o araucano. Fonología gramática y antología de cuentos*. Santiago: Centro de Estudios Públicos.
- Smeets, Ineke. 2008. *A grammar of Mapuche*. Berlin: Walter de Gruyter.
- Stark, Louisa. 1970. Mayan affinities with Araucanian. *Chicago Linguistics Society*. 6, 57–69.
- Stevens, Kenneth y Sheila Blumstein. 1975. “Quantal aspects of consonant production and perception: A study of retroflex stop consonants”. *Journal of Phonetics*. 3 (4), 215–233.
- Tabain, Marija, Andrew Butcher, Cavan Breen y Richard Beare. 2016a. An acoustic study of multiple lateral consonants in three Central Australian languages. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 139 (1), 361–372.

- Tabain, Marija, Andrew Butcher, Cavan Breen y Richard Beare. 2016b. An acoustic study of nasal consonants in three Central Australian languages. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 139 (2), 890-903.
- Tabain, Marija, Andrew Butcher, Cavan Breen y Richard Beare. 2020. A formant study of the alveolar versus retroflex contrast in three Central Australian languages: Stop, nasal, and lateral manners of articulation. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 147 (4), 2745–2765.
- Trubetzkoy, Nicolái. 1958. *Grundlagen der Phonologie*. Gottingen: Vandenhoeck and Ruprecht.
- Villaseñor Alva, José y Elizabeth Estrada. 2009. A generalization of Shapiro–Wilk's test for multivariate normality". *Communications in Statistics—Theory and Methods*. 38 (11), 1870-1883.
- Zúñiga, Fernando. 2007. Mapudunguwayami am?"¿Acaso ya no hablas mapudungun?" Acerca del estado actual de la lengua mapuche. *Estudios públicos*. 105, 9–24.
- Zúñiga, Fernando. 2017. *Mapudungun*. En M. Fortescue, M. Mithune y N. Evans (Eds.), *The Oxford handbook of polysynthesis*, 696–712. Oxford: Oxford University Press.
- Zúñiga, Fernando y Aldo Olate. 2017. El estado de la lengua mapuche, diez años después. *El pueblo mapuche en el siglo XXI*, 345–374.