

**LAS VOCALES DEL AYMARA: UN ESTUDIO ACÚSTICO-
ESTADÍSTICO SOBRE EL DESCENSO VOCÁLICO¹**

**THE VOWELS OF AYMARA: AN ACOUSTIC-STATISTICAL STUDY
ON VOWEL LOWERING**

Daniela Alejandra Mena Sanhueza

Universidad de La Serena, Chile

daniela.menas@userena.cl

<https://orcid.org/0000-0001-8659-6877>

Darío Alejandro Fuentes Grandón

University of Bristol, Inglaterra

ph19995@bristol.ac.uk

<https://orcid.org/0000-0002-5239-8765>

Mauricio Alejandro Figueroa Candia

Universidad de Concepción, Chile

maufigueroa@udec.cl

<https://orcid.org/0000-0001-9977-3510>

¹ Esta investigación es financiada por la Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo (ANID), Proyecto Fondecyt de Postdoctorado 3210722 “Actualización del inventario fonético-fonológico de la lengua aymara hablada en Chile mediante el uso de metodologías cuantitativas de la fonética acústica y estadística inferencial”.

RESUMEN: Este trabajo tiene como objetivo realizar un acercamiento acústico-estadístico sobre el descenso vocálico de las vocales del aymara hablado en Chile y, de confirmarse, determinar si se trata de un fenómeno coarticulatorio o alofónico. Los resultados indican que, en línea con los precedentes de investigación, las vocales altas /i/ y /u/ se comportan como [e] y [o], respectivamente, cuando ocurren después de consonantes uvulares. Además, de acuerdo con nuestros datos, este fenómeno también ocurre con la vocal /a/. Los análisis respaldan que el descenso vocálico tendría un carácter alofónico y no meramente articulatorio. Por esta razón, consideramos pertinente agregar el fono [a] como un alófono de /a/ al sistema de sonidos del aymara hablado en Chile.

PALABRAS CLAVE: aymara, fonética acústica, fonología, descenso vocálico, estadística bayesiana.

ABSTRACT: This study adopts an acoustic and statistical approach to investigate vowel lowering in Aymara spoken in Chile, and, if present, to determine whether it is a coarticulatory or allophonic phenomenon. The results indicate that, in line with previous research, high vowels /i/ and /u/ are articulated as [e] and [o], respectively, when they occur after uvular consonants. Additionally, according to our data, this phenomenon also occurs with the vowel /a/. The analyses support an interpretation whereby vowel lowering has an allophonic character and is not merely articulatory. For this reason, we propose adding [a] as an allophone of /a/ to the sound system of Aymara spoken in Chile.

KEYWORDS: Aymara, acoustics phonetics, phonology, vowel lowering, bayesian statistics.

Recibido: 4 de enero de 2024

Aceptado: 17 de diciembre de 2024

1. INTRODUCCIÓN

1.1. La lengua aymara y sus hablantes

El aymara es la tercera lengua nativa más hablada del continente americano. Las comunidades aymara se encuentran en Bolivia, Perú y, en menor medida, en Chile (Albó, 2000). Hardman et al. (2001) estiman que el número de hablantes de aymara alcanza los 3 millones, mientras que Albó entrega la cifra de 2 millones de personas, de las cuales 1.7 millones viven en Bolivia, 500 mil en Perú y 20 mil en Chile. Según Dannemann y Valencia (cit. en Poblete y Salas, 1997), la población aymara en Chile alcanza las 9.000 personas.

La lengua aymara junto con el jaqaru y kawki forman parte de la familia lingüística aymara (Adelaar y Muysken, 2004), también llamada familia *jaqi* (Hardman et al., 2001). De acuerdo con Cerrón-Palomino (2000), el aymara hablado en Chile forma parte de la *lengua collavina* o *aymara sureño*. Según Poblete y Salas (1997), la población aymara de Chile se encuentra ubicada en las zonas precordilleranas y altiplánicas de la I y II regiones, las que actualmente corresponden a las regiones de Arica y Parinacota, Tarapacá y Antofagasta.

Sobre la situación sociolingüística de la lengua aymara en Chile, Gundermann (1997) sostiene que existe una importante disminución del conocimiento del aymara, una disminución de la funcionalidad de la lengua, pérdida de prestigio entre sus usuarios y una aceleración del ritmo de cambio lingüístico, junto a un proceso de desplazamiento en favor del castellano. Gundermann et al. (2007) realizaron un estudio de la vigencia y desplazamiento del aymara en algunas comunidades de la Provincia de Parinacota y de la Provincia de Iquique. Uno de los resultados de este estudio mostró que solo un 17,4% de las personas entrevistadas presentó una competencia fluida en la lengua. Por otra parte, determinan que en el altiplano la utilización de la lengua es más frecuente, seguida por las localidades de la precordillera y, por último, en los valles bajos, oasis y pampa, donde el uso de la lengua es ocasional.

1.2. Aspectos generales del sistema fonético-fonológico del aymara hablado en Chile

El primer estudio del nivel fonético y fonológico del aymara hablado en Chile fue realizado por Clairis (1976) en la región de Tarapacá. En total, la muestra estuvo constituida por ocho hablantes, quienes completaron una lista léxica. Como resultado de este estudio, Clairis reportó que el aymara de Chile tenía un inventario de fonemas compuesto por 3 vocales: /i/, /a/ y /u/, y por 26 consonantes: /p/, /p^h/, /p'/, /v/, /m/, /t/, /t^h/, /t'/, /s/, /n/, /l/, /r/, /c/, /c^h/, /c'/, /ç/, /ɲ/, /ʎ/, /k/, /k^h/, /k'/, /x/, /ŋ/, /q/, /q^h/ y /q'/. Una década más tarde, Salas y Valencia (1988) presentaron los rasgos fundamentales del sistema fonológico del aymara hablado en el altiplano de la región de Tarapacá, en específico, en la localidad de Isluga. A partir de esta investigación, determinaron que el inventario de fonemas del aymara está compuesto por 3 vocales: /i/, /a/ y /u/; 24 consonantes: /p/, /p^h/, /p'/, /m/, /t/, /t^h/, /t'/, /s/, /n/, /l/, /r/, /tʃ/, /tʃ^h/, /tʃ'/, /ɲ/, /ʎ/, /k/, /k^h/, /k'/, /x/, /q/, /q^h/, /q'/, /χ/; y 2 semiconsonantes: /j/ y /w/.

Casi 10 años después, Poblete y Salas (1997) realizan la descripción más completa de la fonología del aymara hablado en Chile existente hasta hoy. De acuerdo con los autores, este presenta 3 fonemas vocálicos: /i/, /a/ y /u/; 2 semiconsonantes: /j/ y /w/; y 24 consonantes: /p/, /p^h/, /p'/, /m/, /t/, /t^h/, /t'/, /s/, /n/, /l/, /r/, /tʃ/, /tʃ^h/, /tʃ'/, /ɲ/, /ʎ/, /k/, /k^h/, /k'/, /x/, /q/, /q^h/, /q'/ y /χ/.

En la Tabla 1, se presentan los fonemas vocálicos de la lengua aymara; mientras que en la Tabla 2 se exponen las unidades consonánticas, incluyendo las semiconsonantes o “glides” /j/ y /w/. En ambas tablas, se utiliza la descripción de los puntos y modos articulatorios establecida por Poblete y Salas (1997), por ser esta la más reciente.

Tabla 1. Fonemas vocálicos del aymara chileno (Poblete y Salas, 1997)

	anterior	central	posterior
alta	i		u
media			
baja		a	

Tabla 2. Fonemas consonánticos del aymara chileno (Poblete y Salas, 1997)

	bilabial	alveolar	alveopalatal	palatal	uvular
oclusivo	p	t		k	q
oclusivo aspirado	p ^h	t ^h		k ^h	q ^h
oclusivo glotal	p'	t'		k'	q'
africado			tʃ		
africado aspirado			tʃ ^h		
africado glotal			tʃ'		
fricativo		s		x	χ
nasal	m	n	ɲ		
lateral		l	ʎ		
vibrante		r			
glides	w		j		

1.3. Estatus de las vocales fonéticas y fonológicas del aymara

Los estudios fonético-fonológicos del aymara hablado en Chile han reportado 3 vocales fonológicas, /i/, /a/ y /u/; y 5 vocales fonéticas, [i], [e], [a], [o] y [u] (Clairis, 1976; Salas y Valencia, 1988; Poblete y Salas, 1997). De acuerdo con estos autores, los fonos [i] y [e] del fonema /i/ están en distribución complementaria, al igual que los fonos [u] y [o] del fonema /u/. Las vocales medias [e] y [o] ocurren cuando preceden o siguen una consonante uvular, o cuando este tipo de consonantes ocurre en la sílaba siguiente, pero no en la anterior. Además, en posición final absoluta [e] alterna con [i], y [o] alterna con [u] en variación libre (Poblete y Salas, 1997). Según Salas (1996), en posición final de palabra las realizaciones medias [e] y [o] son características de la zona sur del territorio chileno (región de Tarapacá), mientras que, también en posición final, las vocales altas [i] y [u] son más frecuentes en el norte del territorio chileno (región de Arica y Parinacota).

Es importante señalar que para el aymara hablado en Bolivia, luego de un estudio auditivo-descriptivo, se ha reportado la existencia de las vocales [i, ɪ, e, ε] como alófonos de /i/ y de los fonos [u], [ʊ], [o] y [ɔ] como alófonos de /u/, además de la ocurrencia de vocales ensordecidas y de realizaciones centrales como [ə] y [ʌ] en sílaba átona y del alargamiento vocálico que en esta variante es fonológico (Hardman et al., 2001).

A la fecha, no se ha realizado ningún estudio acústico del sistema vocálico del aymara en general ni del aymara hablado en Chile, sino que el conocimiento que se tiene de las vocales proviene de estudios auditivo-descriptivos. Resulta de gran importancia, entonces, determinar con otros métodos, primero, si las vocales fonológicas efectivamente presentan las características acústicas relacionadas con las representaciones fonémicas /i/, /a/ y /u/, y si los alófonos [e] y [o] de /i/ y /u/, respectivamente, ocurren en el contexto que los precedentes de investigación han reportado.

1.4. El presente estudio

Todas las investigaciones de la fonología del aymara hablado en Chile hasta el momento se han desarrollado a través de análisis auditivos de listas léxicas y narraciones, con el propósito de generar transcripciones fonéticas. A partir de estas, se ha establecido un inventario fonético-fonológico de la lengua, sustentado en análisis cualitativos de los datos del nivel segmental (e.g. Clairis, 1976; Salas y Valencia, 1988; Poblete y Salas, 1997).

En lo que respecta al uso de metodologías cuantitativas contemporáneas, sorprende constatar que este tipo de incursiones es prácticamente inexistente para el aymara hablado tanto en Bolivia como en Perú y Chile, a pesar de tratarse de la tercera lengua originaria más hablada del continente (Albó, 2000), de ser una de las lenguas oficiales en Perú y en Bolivia (Hardman et al., 2001), y de presentar algunas propiedades fonético-fonológicas de interés tipológico general (Ladefoged y Maddieson, 1996). Hasta donde tenemos noticia, la única excepción a esta norma corresponde al estudio piloto de Park y Kim (2015), trabajo en el que solo se investigaron las consonantes eyectivas producidas por un hablante del aymara de Bolivia, a partir de un corpus reducido y sin análisis estadísticos.

En este contexto, el objetivo principal de esta investigación es estudiar el sistema vocálico de la lengua aymara hablada en Chile. En particular, se busca establecer de manera preliminar si existe evidencia acústica que respalde la existencia de los fonos [e] y [o] de los fonemas /i/ y /u/, respectivamente, cuando estos están precedidos por una consonante uvular. Además, de existir esta evidencia, se busca identificar si la variación reportada obedece a un proceso coarticulatorio, o bien, a uno alofónico (Wilson, 2007). Como fue mencionado, no se han realizado estudios acústicos del sistema vocálico de la lengua y, por lo mismo, no podemos referir precedentes de investigación. Sin embargo, gran parte de nuestro trabajo se ha basado en la metodología empleada por Holliday y Martin (2018), quienes investigaron este proceso en la lengua quechua.

En su estudio, Holliday y Martin (2018) exploraron el sistema trivocálico del quechua para investigar si existe evidencia acústica de un proceso de descenso vocálico en /i/ y /u/ en contexto uvular y, de ser así, si dicho descenso vocálico corresponde a un proceso coarticulatorio o alofónico. Los autores estudiaron los cambios del primer formante (F1) a lo largo de la vocal en contextos velares y uvulares. Los resultados mostraron un incremento del F1 en las vocales /i/ y /u/ en contexto uvular, asunto que no fue reportado cuando estas se encontraban en contexto velar. Esto fue interpretado como evidencia a favor de un descenso vocálico en dichos segmentos.

Además, para evaluar si el descenso vocálico del quechua correspondía a un proceso coarticulatorio o alofónico, los autores estudiaron los cambios del F1 en distintos puntos dentro de estas vocales en contextos uvulares. Específicamente, Holliday y Martin (2018) midieron un índice de transición que correspondía a la diferencia de los valores del F1 en el punto medio y en el 20% de la vocal ($F1_{50} - F1_{20}$). En base al trabajo de Wilson (2007), y asumiendo que ya existe un descenso articulatorio general de la vocal en contextos fonéticos adyacentes a consonantes uvulares, hipotetizaron que un $F1_{50} - F1_{20}$ con valores inferiores a cero sugiere que el descenso vocálico ocurre principalmente al inicio de la vocal, lo que apuntaría a un proceso coarticulatorio. En cambio, un $F1_{50} - F1_{20}$ con valores cercanos a cero implicaría un descenso vocálico estable a lo largo de la vocal, lo que evidenciaría un proceso alofónico que no está centrado únicamente al inicio de la vocal.

En el presente estudio se realiza la primera aproximación acústica del descenso vocálico de las vocales del aymara hablado por habitantes de la región de Tarapacá en Chile. Específicamente, en este trabajo se replican los métodos utilizados por Holliday y Martín (2018) para estudiar dicho fenómeno, es decir, el comportamiento de los primeros dos formantes de las vocales del aymara en contextos velares y uvulares. Además, se intenta aportar evidencia para dilucidar si el descenso vocálico del aymara, de existir, corresponde a un proceso coarticulatorio o alofónico.

2. MÉTODOS

Los datos fueron recogidos en el contexto del Proyecto Fondecyt de Postdoctorado 3210722 y provienen de 5 mujeres y 5 hombres bilingües aymara-español con edades entre los 45 y 75 años, quienes habitan en distintas zonas de la región de Tarapacá. Las grabaciones fueron realizadas en la comuna de Alto Hospicio por la investigadora principal con una grabadora digital Tascam DR-40X, configurada para registrar señales a una frecuencia de 44.100 Hz y con una profundidad de 24 bit. La grabación se llevó a cabo con micrófonos de cabeza de condensador. La tarea de elicitación consistió en la traducción de una lista léxica.

Para la segmentación y etiquetado de las señales, se utilizó el programa *Praat* (Boersma y Weenink, 2021). Cada palabra fue etiquetada en español y en aymara. Luego, se realizó una transcripción fonológica y una transcripción fonética de cada sonido. Se aplicó un script de *Praat* que capturó la información etiquetada en cada vocal así como sus primeros dos formantes. Los promedios de cada formante fueron extraídos analizando un objeto “Formant” generado por *Praat* para cada audio, con un valor máximo de frecuencia de 5500 Hz para las hablantes de sexo femenino, y de 5000 Hz para los hablantes masculinos. Además, se extrajeron los valores de los 2 primeros formantes correspondientes al 20% y 50% de la duración de cada vocal. El script utilizado puede ser consultado en nuestro repositorio en línea².

² Disponible en https://osf.io/wcrhu/?view_only=568fe5b8cb764846ab97ff28b790eb5e

2.1. Análisis estadístico

En línea con los métodos de Holliday y Martin (2018), este estudio utiliza un enfoque estadístico bayesiano. En específico, todos los modelos reportados corresponden a regresiones lineares bayesianas construidas a través de métodos de Montecarlo basados en cadenas de Markov. Todos los análisis fueron realizados en *R* (R Core Team, 2021), utilizando el paquete *brms* (Bürkner, 2017). En vez de arrojar estimaciones de valores estadísticos específicos y valores p , el resultado de este método bayesiano es una serie de distribuciones de probabilidad de los parámetros del modelo, que son presentadas a través del promedio de dicha distribución así como de sus Intervalos de Credibilidad (IC), que representan la incertidumbre de dichos parámetros.

El enfoque bayesiano ofrece ciertas ventajas sobre la estadística frecuentista. Mientras que el enfoque frecuentista se centra principalmente en rechazar la hipótesis nula utilizando una aproximación binaria a través de los valores p (se acepta o rechaza la hipótesis nula), el enfoque bayesiano permite testear directamente distintas hipótesis, así como cuantificar el tamaño de la evidencia a favor o en contra de estas (Wagenmakers et al., 2018). Otra ventaja es la facilidad con que incorpora la evidencia de estudios previos, así como las expectativas teóricas dentro de sus modelos, a través de *probabilidades a priori* (o *priors*), que corresponden a distribuciones de probabilidad que reflejan las expectativas de los investigadores respecto de las distribuciones resultantes del modelo (o probabilidades posteriores) (Depaoli et al., 2020). Esto es de particular relevancia cuando los investigadores conocen teorías y evidencias que debieran replicarse en los modelos que utilizan. Dado que diferentes expectativas reflejadas a través de las probabilidades *a priori* pueden tener diferentes efectos en los modelos resultantes, es necesario realizar análisis que evalúen la “sensitividad” o el impacto de distintas probabilidades *a priori* en las distribuciones del modelo resultante (Depaoli et al., 2020), lo que ayuda a esclarecer el comportamiento de los datos así como el rol de la evidencia previa y la teoría en las hipótesis que se confrontan.

Lo antes mencionado se verá reflejado en los modelos reportados en este estudio. Al reportar las distribuciones posteriores, no nos centraremos en un valor específico ni reportaremos un valor p , sino el promedio de la distribución posterior, así como su intervalo

de credibilidad. Si el intervalo de credibilidad no incluye el valor cero, esto se interpretará como evidencia sustancial en favor de cierta hipótesis. Para cuantificar el tamaño de la evidencia a favor (o en contra) de una hipótesis, se reportarán los Factores de Bayes (FB), que suelen interpretarse como la cantidad de veces que la evidencia apoya una hipótesis por sobre otra (e.g., FB igual a 7 indica que la evidencia que apoya cierta hipótesis es 7 veces mayor que la evidencia que apoya la hipótesis contendora) (Wagenmakers et al., 2018). Los FB fueron estimados a través de hipótesis unidireccionales (ej. “Efecto X mayor a cero” o “Efecto $X > 0$ ”) realizadas con el método “hypothesis()” del paquete *brms* de R (R Core Team, 2021). Dada la relevancia de las probabilidades *a priori*, estas se reportarán brevemente, así como el impacto que distintas probabilidades *a priori* tienen en el modelo (análisis de sensibilidad). El reporte completo de los modelos, sus probabilidades *a priori* y sus análisis de sensibilidad se encuentran en nuestro repositorio en línea. En las siguientes subsecciones, se describen en detalle las variables, estructura y parámetros de los modelos utilizados para el análisis de datos.

2.1.1. Modelo para evaluar el efecto del contexto uvular en F1

Para explorar el efecto del contexto uvular en el F1 de las vocales del aymara, se realizó una regresión lineal bayesiana siguiendo los procedimientos detallados en Holliday y Martin (2018). Para ello, se incluyeron las variables independientes *vocal fonológica* (/a/, /i/ y /u/) y *contexto fonético* (velar, uvular). En adelante, siempre que se hable de la variable “vocal” en los modelos y análisis estadísticos, nos referimos a la “vocal fonológica”. En específico, se incluyeron todas las vocales precedidas por oclusivas uvulares y velares. Fueron excluidas del análisis todas las vocales seguidas por aproximantes o vocales.

Antes de ejecutar el análisis, se identificó una serie de datos atípicos de F1 en los 6 subgrupos de datos formados por las combinaciones de las variables independientes mediante el criterio de 1.5 rangos intercuartiles (Tukey, 1997). En total, 68 datos fueron removidos, resultando en una muestra que comprendió 1077 vocales precedidas de velares y 311 vocales precedidas de uvulares (ver Figura 1). Es importante consignar que se siguió el mismo criterio para los siguientes modelos.

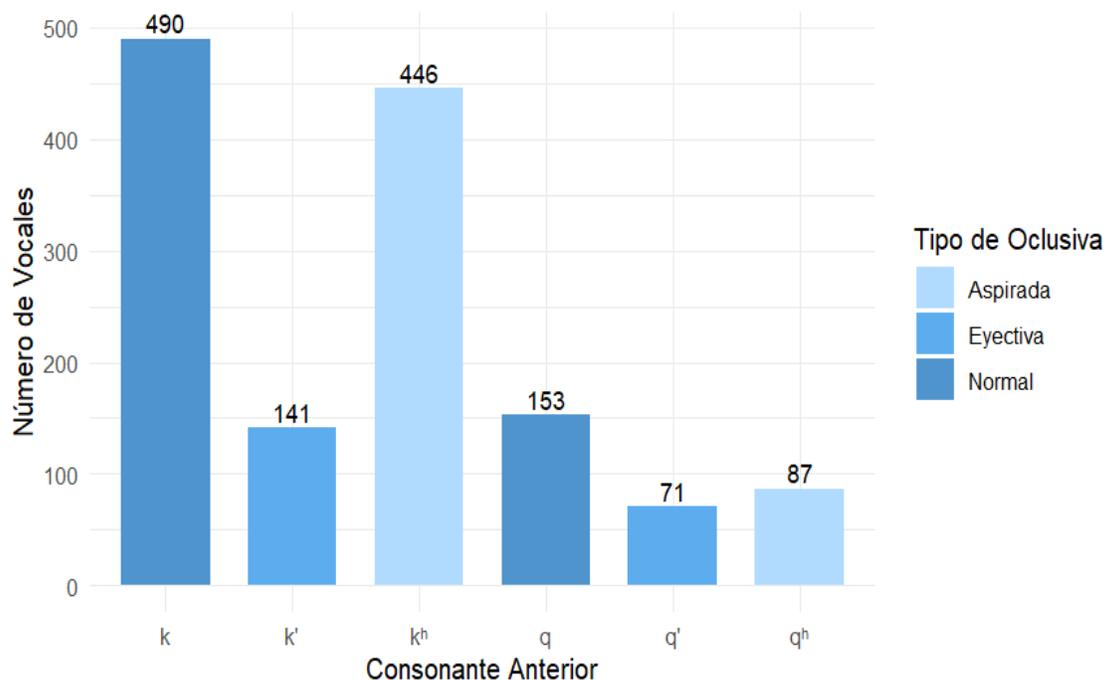


Figura 1. Número de vocales incluidas en el análisis del efecto del contexto uvular en el F1 de las vocales anteceditas por consonantes velares ([k], [k'], [k^h]) y uvulares ([q], [q'], [q^h]).

Además de las variables predictoras (*vocal* y *contexto fonético*) y su interacción, se incluyó como efectos aleatorios a cada *informante* con *vocal* y *contexto fonético* como parte de la pendiente de regresión. Siguiendo a Holliday y Martin (2018), se decidió incluir la variabilidad de nuestros hablantes directamente en el modelo a través de los factores aleatorios, en vez de normalizar los valores de F1 y F2 antes de correr el modelo. De esta forma, el modelo establece ajustes para los efectos de interés considerando la variabilidad de cada hablante. Estas mismas consideraciones se aplican para todos los modelos de este artículo. La fórmula del modelo puede observarse en (1):

$$(1) \text{ F1} \sim \text{contexto uvular} + \text{vocal} + \text{contexto fonético} * \text{vocal} + (\text{contexto fonético} * \text{vocal} | \text{Informante})$$

Para este modelo se utilizaron 2 cadenas de Markov, con 4000 iteraciones cada una, de las cuales las primeras 1000 correspondieron a la etapa de “entrenamiento” del modelo. Se utilizaron probabilidades *a priori* débilmente informativas basadas en las tendencias encontradas por Holliday y Martin (2018). En específico, dado que nuestro nivel de referencia fue /a/ en contexto uvular, esperamos encontrar una reducción del F1 para /u/ y para /i/, lo que fue establecido con una probabilidad *a priori* con distribución normal, un promedio de F1 de 300 y una desviación estándar de 150, representada como $N(-300, 150)$ (se utilizará esta abreviación para reportar las siguientes probabilidades *a priori*). Además, basados en los resultados de Holliday y Martin (2018), anticipamos un incremento del F1 de /a/ en contexto uvular e interacciones entre contexto uvular y vocal que reflejan mayores incrementos de F1 para /i/ y /u/. Estas expectativas fueron especificadas a través de probabilidades *a priori* $N(30, 20)$ para el efecto del contexto fonético en /a/ y $N(100, 50)$ para las interacciones entre vocal y contexto fonético.

2.1.2. Modelo para evaluar el efecto del contexto uvular en F2

Se realizó un modelo equivalente al modelo del F1 para estudiar el efecto del contexto uvular en el F2. Este modelo tuvo las mismas especificaciones que el modelo previo, siendo sus únicas diferencias la variable dependiente (F2) y sus probabilidades *a priori*. En específico, dado que no pareciera haber un efecto del contexto uvular en la posición en el eje anterior-posterior de las vocales del aymara, establecimos probabilidades *a priori* $N(0, 200)$ que indican ausencia de un efecto. Además, dado que el F2 de /i/ y /u/ debiera ser más alto y más bajo que /a/, respectivamente, el valor de referencia del modelo, establecimos probabilidades *a priori* $N(400, 300)$ y $N(-400, 300)$ para /i/ y /u/. Utilizando los mismos criterios que para el modelo anterior, se removieron 44 datos atípicos de este modelo, resultando un total de 1412 vocales, 1086 precedidas de consonantes velares y 326 precedidas de consonantes uvulares (ver Figura 2).

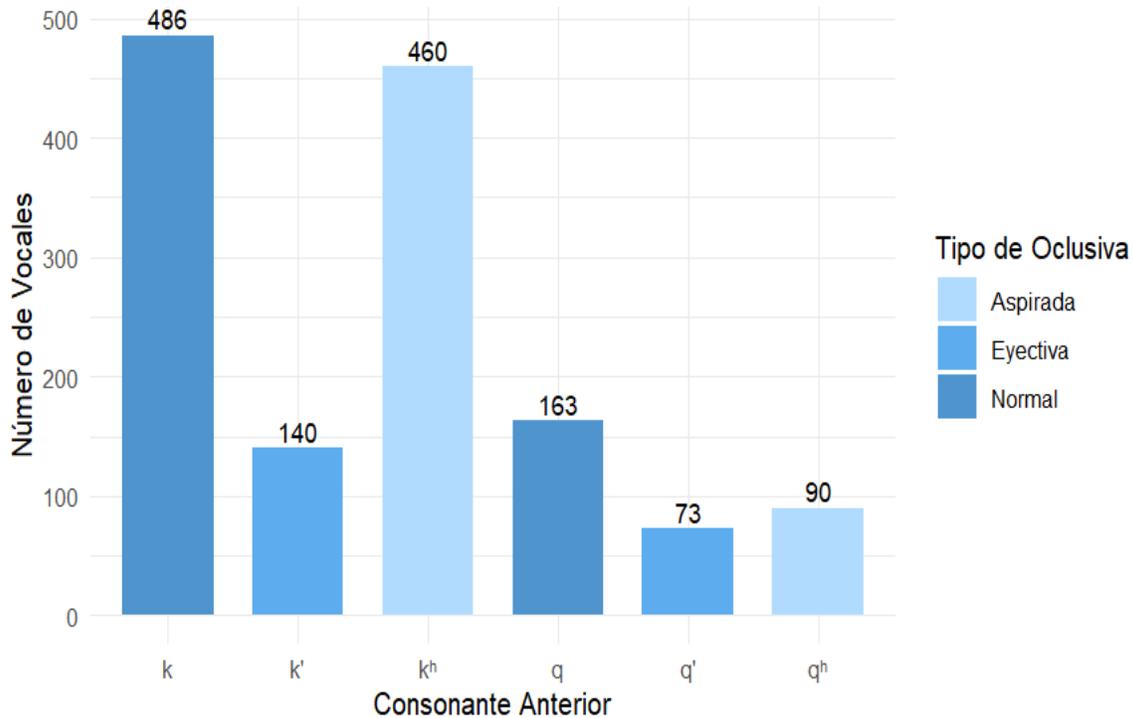


Figura 2. Número de vocales incluidas en el análisis del efecto del contexto uvular en el F2 de vocales precedidas por consonantes velares ([k], [k'], [k^h]) y uvulares ([q], [q'], [q^h]).

2.1.3. Modelo para evaluar la naturaleza coarticulatoria/alofónica del descenso vocálico: hipótesis de estabilidad del F1

Este modelo buscó explorar si el descenso vocálico reportado en el primer modelo corresponde a un proceso predominantemente coarticulatorio o más bien alofónico. Después de remover 52 datos atípicos, el total de vocales fue 282 (ver Figura 3).

Se realizó una regresión lineal bayesiana para explorar si las diferencias entre F1 al inicio y a la mitad de la vocal (F1₅₀ - F1₂₀) son distintas de cero. Para este caso, se incluyó *vocal* (/a/, /i/ y /u/) como única variable independiente, junto con *informante* como efecto aleatorio con *vocal* como parte de la pendiente de regresión. La fórmula del modelo se describe en (2):

$$(2) F1_{50} - F1_{20} \sim \text{vocal} + (\text{vocal} | \text{Informante})$$

Para este modelo, se usaron las mismas especificaciones que en el primer modelo. Se utilizaron probabilidades *a priori* coherentes con la evidencia reportada por Holliday y Martin (2018), es decir, se predijo un modelo en el que el índice $F1_{50} - F1_{20}$ para todas las vocales es igual a cero, lo que fue representado con una probabilidad *a priori* $N(0, 100)$.

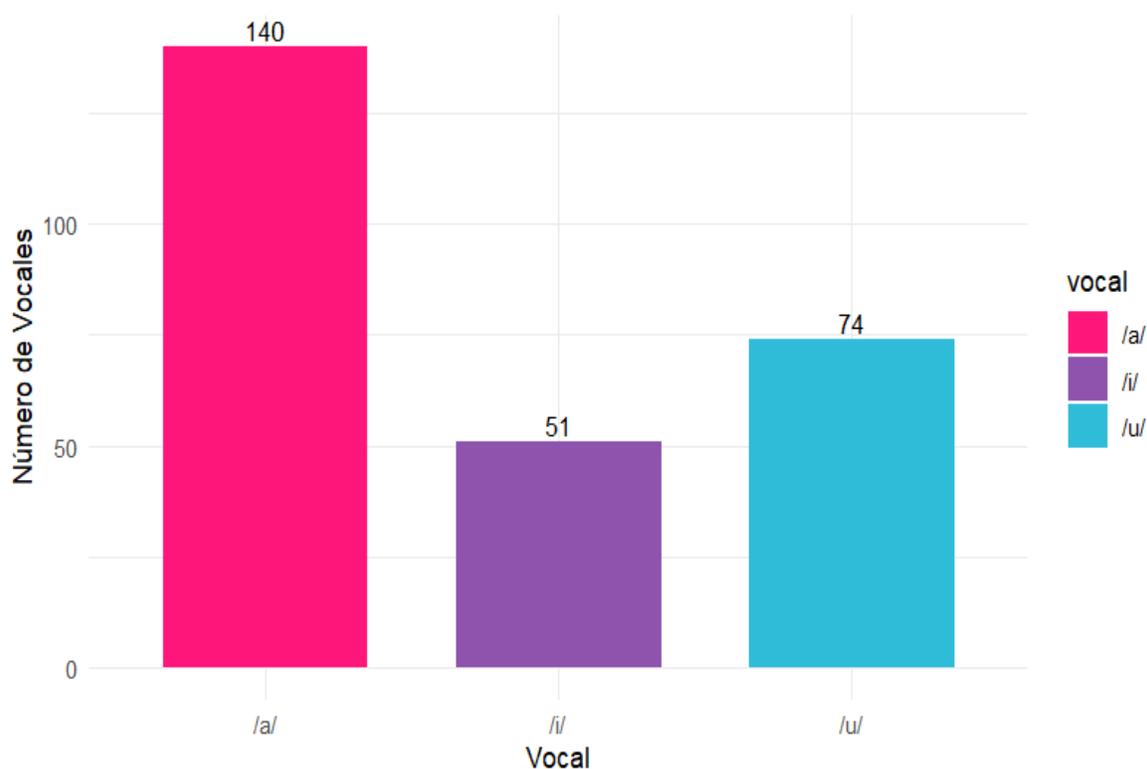


Figura 3. Número de vocales precedidas por consonantes uvulares incluidas en el análisis de la estabilidad del F1.

2.1.4. Modelo para evaluar la naturaleza coarticulatoria/alofónica del descenso vocálico: hipótesis de estabilidad del F2

Este modelo replica el propósito y especificaciones de su par en F1, siendo su única diferencia la variable dependiente ($F2_{50} - F2_{20}$). Para este modelo, 55 datos atípicos fueron removidos, resultando un total de 279 vocales (ver Figura 4).

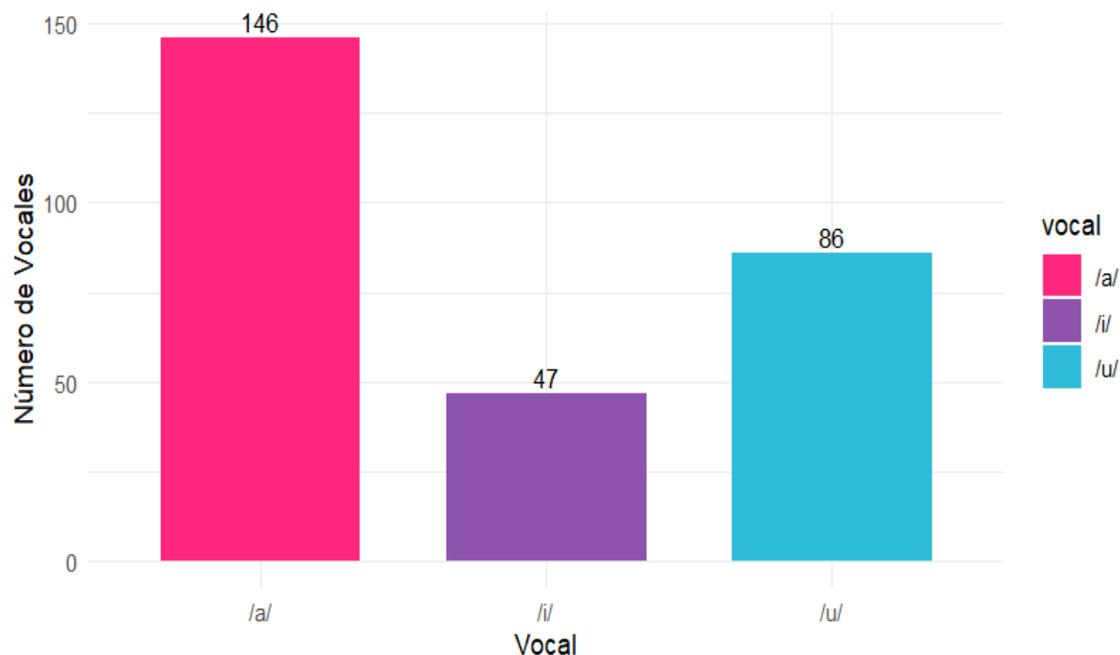


Figura 4. Número de vocales precedidas por consonantes uvulares incluidas en el análisis de la estabilidad del F2.

Los modelos aquí reportados no presentaron problemas de convergencia (valores de $R_{hat} < 1.1$, no se observaron desviaciones importantes en las cadenas de Markov). Tampoco se observaron problemas de especificaciones (no hubo mayores desviaciones en las simulaciones de los evaluaciones predictivas posteriores, todas las estimaciones Pareto fueron inferiores a 0.7). Los análisis de sensibilidad de las probabilidades *a priori* utilizadas en los distintos modelos mostraron que, si bien estas tienen un impacto sustancial en los resultados del modelo, las tendencias reportadas a continuación se mantienen. En los casos en que las probabilidades *a priori* alternativas afectaron el resultado del modelo, haciendo que, por ejemplo, un efecto desapareciera, los intervalos de credibilidad y FB mostraron una tendencia que refleja la presencia de dicho efecto.

3. RESULTADOS

3.1. Efecto del contexto fonético en el F1 y F2

La Figura 5 muestra el efecto del contexto fonético en las 3 vocales del aymara. El descenso vocálico representado por un incremento del F1 se observa en todas las vocales. Esta tendencia es corroborada por los resultados de la regresión lineal bayesiana que se reporta en la Figura 6 y en la Tabla 3. En estos resultados se observa un incremento de F1 en todas las vocales cuando estas están precedidas por una consonante uvular. Esto se corrobora por el efecto de *contexto fonético* reportado en la Tabla 3 ($FB_{10} = 999$). Además, se observaron efectos positivos en las interacciones entre *contexto fonético* con /i/ ($FB_{10} = 45$) y /u/ ($FB_{10} = \text{Inf}$), indicando que el incremento de F1 es mayor en las vocales altas, especialmente en /u/.

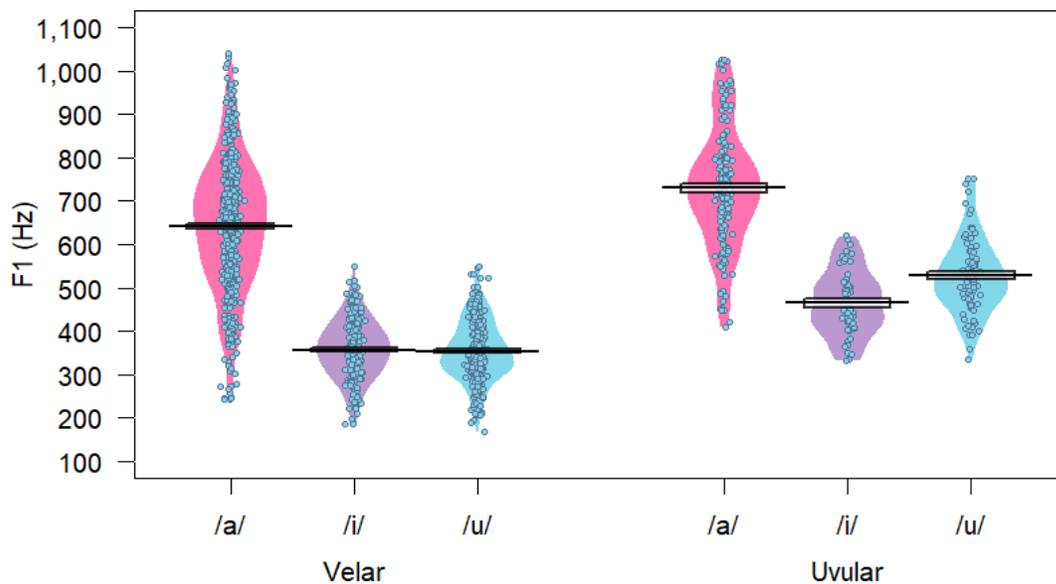


Figura 5. Distribución de los valores del F1 según tipo de vocal (/a/, /i/ y /u/) y tipo de oclusiva precedente (velar, uvular). Las barras centrales representan el promedio del F1 de cada vocal y los límites superior e inferior de las cajas corresponden al rango del error estándar.

Tabla 3. Efectos del contexto uvular en el F1.

Efecto	Estimación	DS	95% IC		Prob. Posterior	FB ₁₀	FB ₀₁
			LI	LS			
Intercepción	649.92	26.24	598.01	701.98	1.00	Inf	0.00
i	-288.27	19.48	-327.46	-249.41	0.00	0.00	Inf
u	-292.57	22.94	-339.44	-248.07	0.00	0.00	Inf
Contexto Fonético	52.09	15.29	20.30	80.65	1.00	999.00	0.00
Contexto Fonético*i	47.55	26.57	1.39	104.19	0.98	44.80	0.02
Contexto Fonético*u	105.67	18.37	70.08	143.38	1.00	Inf	0.00

Nota. DS = Desviación Estándar; IC = Intervalo de Credibilidad; LI = Límite Inferior; LS = Límite Superior; FB_{10/01} = Factor Bayes en apoyo de la hipótesis alterna/nula (Efecto > 0/Efecto < 0).

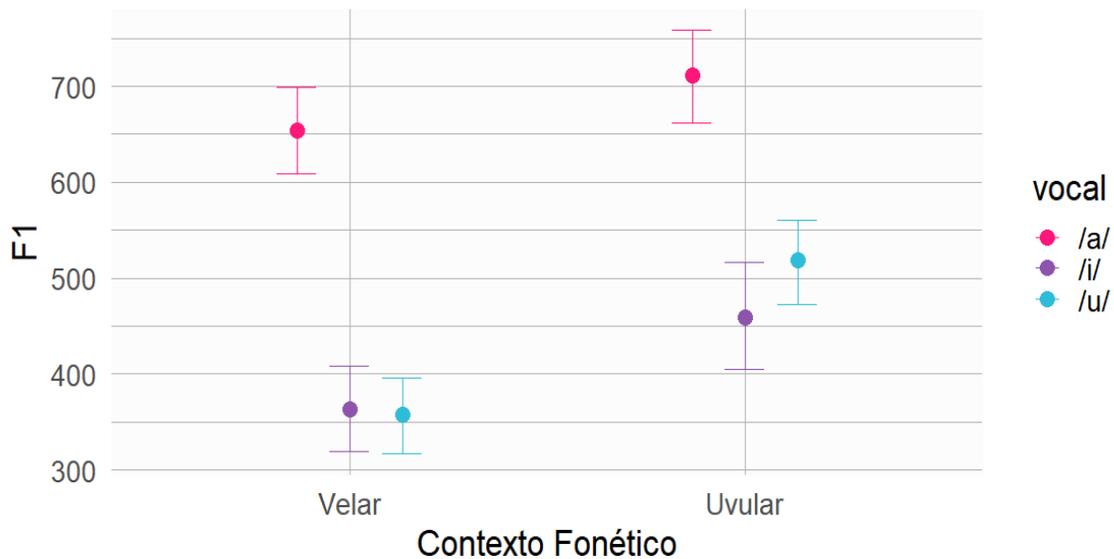


Figura 6. Valores de F1 estimados por el modelo estadístico distribuidos según tipo de vocal (/a/, /i/ y /u/) y tipo de oclusiva precedente (velar, uvular).

La Figura 7 muestra los valores de F2 de las vocales /a/, /i/ y /u/ en contexto velar y uvular, donde se observan cambios en el F2 dependiendo de la posición de la lengua. De este modo, /i/, la vocal más anterior, presenta los valores más altos de F2, seguidos de /a/ y luego de /u/. El contexto fonético no parece generar diferencias mayores en el F2 de /a/ y /u/, sin embargo, se observa un ligero descenso del F2 en el caso de /i/ en contexto uvular.

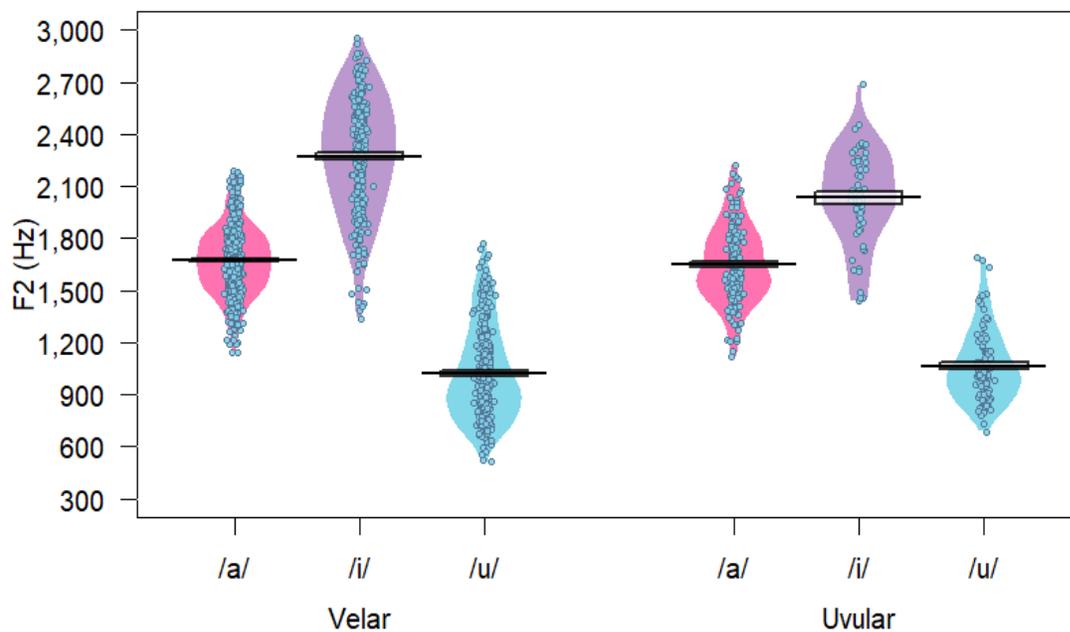


Figura 7. Distribución de los valores del F2 según tipo de vocal (/a/, /i/ y /u/) y tipo de oclusiva precedente (velar, uvular). Los valores del F2 representan la zona de articulación de cada vocal, siguiendo un eje anterior-posterior. Las barras centrales representan el promedio del F2 de cada vocal y los límites superior e inferior de las cajas corresponden al rango del error estándar.

La regresión lineal bayesiana, reportada en la Tabla 4 y en la Figura 8, corrobora las tendencias observadas en la Figura 7. Encontramos evidencia que apoya un efecto sustancial de las vocales en el F2. Específicamente, /i/ tuvo un efecto positivo en el F2 ($FB_{10} = \text{Inf}$), indicando que /i/ tiene un F2 mayor que /a/. Por su parte, encontramos un efecto negativo de /u/ ($FB_{01} = \text{Inf}$), lo que implica que su F2 es menor que el de /a/.

Observamos una disminución del F2 de /a/ en contexto uvular, indicado por un efecto negativo de contexto fonético ($FB_{01} = 10$). Sin embargo, esta tendencia no es sustantiva (IC incluye cero). Un caso similar se aprecia en /u/, ya que la interacción entre *contexto fonético* con esta vocal parece indicar que /u/ sufre un incremento del F2 en contextos uvulares ($FB_{10} = 18$), pero esta tendencia no es sistemática (IC incluye cero). Finalmente, encontramos evidencia de una interacción entre *contexto fonético* e /i/ ($FB_{10} = 230$, IC no incluye cero), demostrando que el F2 de /i/ decrece en contextos uvulares. Estos resultados parecen indicar cierto grado de centralización de las vocales del aymara en contextos uvulares. Sin embargo, mientras que la evidencia reportada indica solo una tendencia poco sistemática de /a/ y /u/ a centralizarse, este efecto sería más claro en el caso de /i/.

Tabla 4. Efectos del contexto uvular en el F2.

Efecto	Estimación	DS	95% IC		Prob. Posterior	FB ₁₀	FB ₀₁
			LI	LS			
Intercepción	1662.70	51.40	1557.54	1765.82	1.00	Inf	0.00
i	589.60	58.77	469.97	706.26	1.00	Inf	0.00
u	-627.03	43.10	-711.52	-540.05	0.00	0.00	Inf
Contexto Fonético	-34.60	26.68	-87.63	18.83	0.09	0.10	10.28
Contexto Fonético*i	-161.65	48.61	-253.43	-62.23	0.00	0.00	229.77
Contexto Fonético*u	81.06	49.62	-22.32	178.29	0.95	17.93	0.06

Nota. DS = Desviación Estándar; IC = Intervalo de Credibilidad; LI = Límite Inferior; LS = Límite Superior; $FB_{10/01}$ = Factor Bayes en apoyo de la hipótesis alterna/nula (Efecto > 0/Efecto < 0).

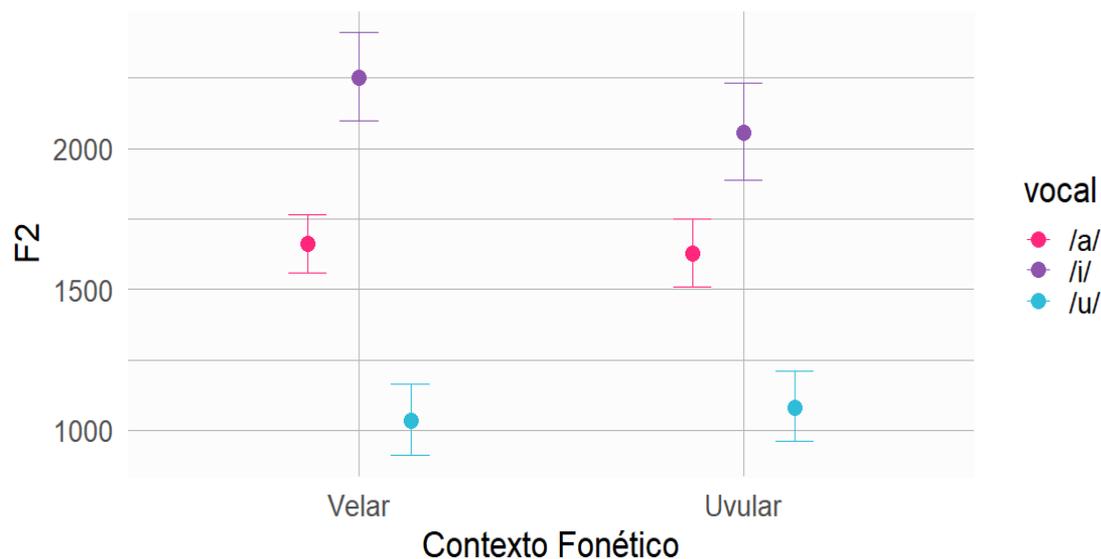


Figura 8. Valores de F2 estimados por el modelo estadístico distribuidos según tipo de vocal (/a/, /i/ y /u/) y tipo de oclusiva precedente (velar, uvular). Los valores del F2 se encuentran distribuidos según su zona de articulación.

3.2. Descenso coarticulatorio o alofónico

Los siguientes modelos tienen como propósito evaluar si los cambios en el F1 y F2 reportados previamente son de carácter alofónico o coarticulatorio. Según lo planteado por Holliday y Martin (2018), un proceso de carácter coarticulatorio se caracterizaría por efectos en los formantes al inicio de la vocal, los que debieran estabilizarse, es decir, regresar a sus valores habituales en el centro de la vocal. En el caso de un proceso alofónico, los formantes deberían ser estables a lo largo de toda la vocal, no solo en su inicio.

Los índices $F1_{50} - F1_{20}$ y $F2_{50} - F2_{20}$ tienen como propósito estudiar estas diferencias. En ambos índices, valores concentrados alrededor de cero indicarían estabilidad de los formantes, lo que se interpretaría como evidencia de un proceso fonológico. Un índice $F1_{50} - F1_{20}$ negativo indicaría que los valores de F1 al inicio de la vocal son mayores que en el centro de la vocal. Asumiendo una situación de descenso general, esto evidenciaría que los efectos de descenso vocálico (incremento del F1) son resultado de un proceso coarticulatorio que afecta principalmente el inicio de la vocal, dejando intactos sus valores

centrales. Un caso similar quedaría en evidencia si obtenemos valores positivos en el $F2_{50} - F2_{20}$ de /i/, que fue la única vocal para la cual encontramos un efecto del contexto uvular (reducción del F2, ver Tabla 4). Para este caso, valores positivos del índice $F2_{50} - F2_{20}$ indicarían que los valores de F2 al inicio de la vocal son menores que al centro de la vocal, lo que mostraría que la naturaleza de la centralización de /i/ en contexto uvulares sería el resultado de un proceso más bien coarticulatorio.

La Figura 9 reporta los valores de $F1_{50} - F1_{20}$ para cada vocal, mientras que los resultados del modelo de las diferencias en el F1 a lo largo de la vocal se encuentran reportados en la Tabla 5 y la Figura 10. En la Figura 9, se puede observar una amplia dispersión del $F1_{50} - F1_{20}$ de todas las vocales, la que parece centrarse sobre cero, excepto en /i/. El IC de la intercepción reportada en la Tabla 5 incluye cero, lo que parece indicar que los valores del F1 de /a/ no son sistemáticamente inestables a lo largo de la vocal. No encontramos evidencia que demuestre que /i/ y /u/ se diferencian de /a/ (ambos $FB_{10} < 9$, sus Intervalos de Credibilidad incluyen cero).

Sin embargo, es importante destacar que los FB_{10} de la intercepción y de /u/ son mayores a 3, lo que indica una tendencia de estas vocales a estar por sobre cero (ver Figuras 9 y 10). Esto muestra cierto grado de inestabilidad del F1 de estas vocales. Para esclarecer si los valores del $F1_{50} - F1_{20}$ de /u/ tienden a estar por sobre cero, realizamos un test específico para el efecto de esta vocal (a través de la función “hypothesis()” del paquete *brms* (Bürkner, 2017) con corrección de Bonferroni, que demostró que estos valores se encuentran sistemáticamente por sobre cero ($FB_{10} = 65$, IC no incluye cero).

En el caso de /i/, la evidencia que encontramos indicaría estabilidad del F1 a lo largo de esta vocal en contextos uvulares. Considerando que antes reportamos evidencia de un descenso vocálico para /i/ (ver Tabla 3), la estabilidad del F1 indicaría que este proceso tiene un carácter alofónico. En el caso de /a/ y especialmente /u/, si bien demuestran cierta inestabilidad, la dirección de esta (valores positivos del $F1_{50} - F1_{20}$) es inesperada. Abordamos más detalles de estos resultados en la discusión del artículo.

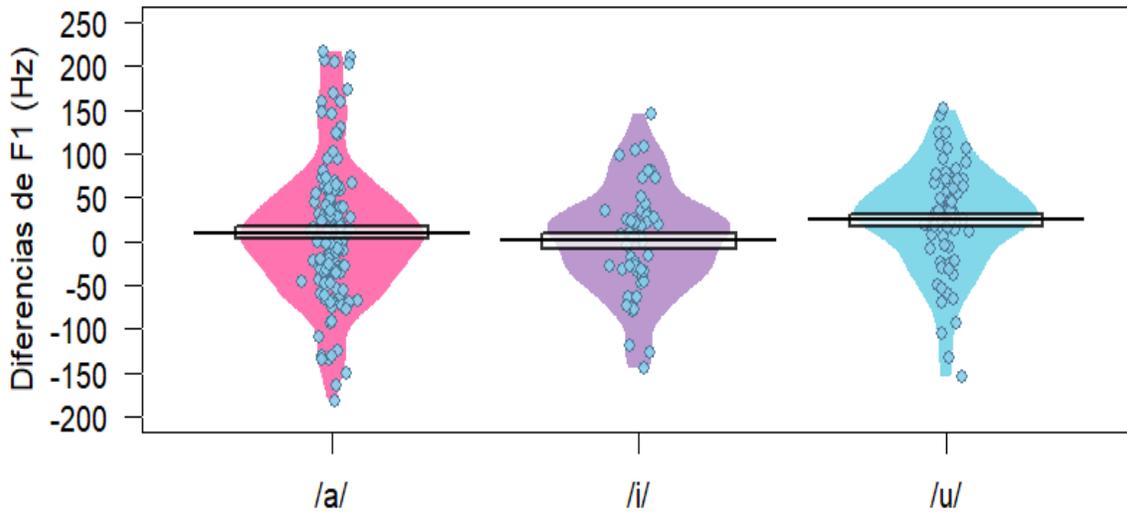


Figura 9. Distribución de los valores del índice $F1_{50} - F1_{20}$ según tipo de vocal (/a/, /i/ y /u/). Las barras centrales representan el promedio del índice $F1_{50} - F1_{20}$ de cada vocal y los límites superior e inferior de las cajas corresponden al rango del error estándar.

Tabla 5. Diferencias del F1 a lo largo de cada vocal.

Efecto	Estimación	DS	95% IC		Prob. Posterior	FB ₁₀	FB ₀₁
			LI	LS			
Intercepción	10.32	7.41	-4.11	25.22	0.93	12.70	0.08
i	-5.38	19.31	-43.53	33.63	0.38	0.60	1.67
u	14.95	12.53	-9.99	39.52	0.89	8.48	0.12

Nota. DS = Desviación Estándar; IC = Intervalo de Credibilidad; LI = Límite Inferior; LS = Límite Superior; FB_{10/01} = Factor Bayes en apoyo de la hipótesis alterna/nula (Efecto > 0/Efecto < 0).

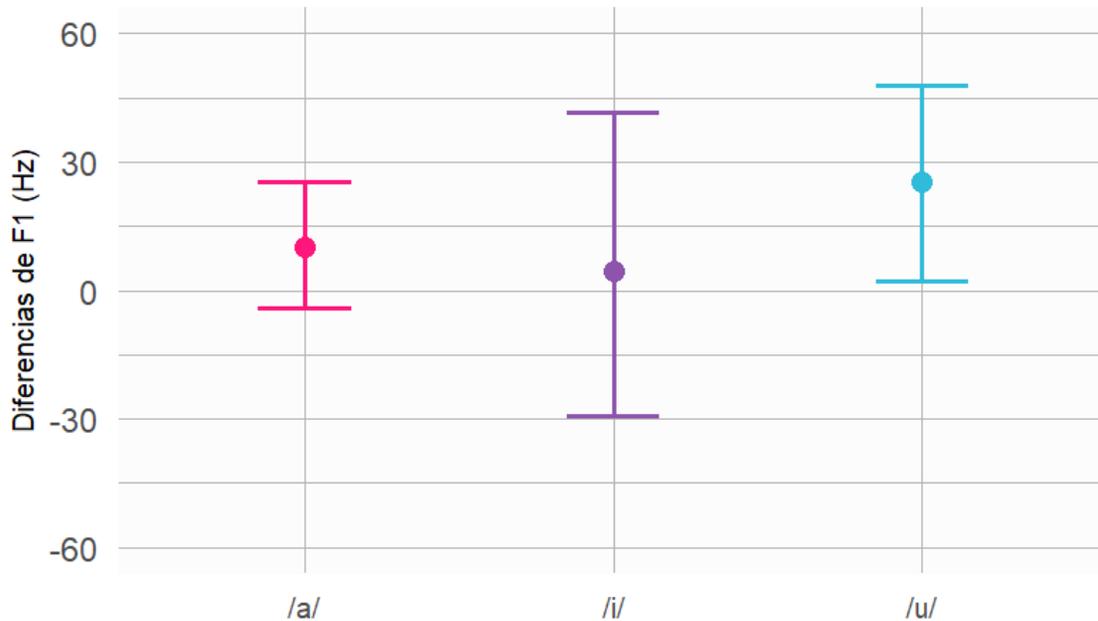


Figura 10. Diferencias de F1 estimadas por el modelo estadístico. Los diferentes valores están separados según tipo de vocal (/a/, /i/ y /u/).

En la Figura 11, que presenta los resultados descriptivos del índice $F2_{50} - F2_{20}$ a lo largo de las vocales, puede observarse que los valores de /a/ y /u/ tienden a centrarse por sobre cero, mientras que los de /i/ lo hacen alrededor de cero. Encontramos un patrón similar en el modelo de las diferencias del F2 a lo largo de la vocal, reportado en la Tabla 6 y en la Figura 12.

Este modelo evidencia un efecto positivo de /a/ en el $F2_{50} - F2_{20}$ ($BF_{10} = \text{Inf}$), lo que implica que el F2 de /a/ al inicio de la vocal es inferior al valor de /a/ al centro de la vocal. En una línea similar, la ausencia de un efecto de /u/ ($BF_{10} < 3$, IC incluye cero) indica que esta vocal presenta el mismo patrón observado en /a/, lo que también puede observarse en la Figura 11 y en la Figura 12. Dado que antes no encontramos evidencia que apoye un efecto sistemático del contexto uvular en el F2 de estas vocales (ver Tabla 4), estas diferencias parecieran indicar la existencia de efectos coarticulatorios.

Por otra parte, encontramos evidencia que apoya un efecto sustantivo de /i/ ($BF_{01} = 48$, IC no incluye cero), indicando que su $F2_{50} - F2_{20}$ es sistemáticamente menor al de

/a/. Al observar la Figura 12, se muestra que el $F2_{50} - F2_{20}$ de /i/ se concentra alrededor de cero, lo que supondría que los efectos del contexto uvular en el F2 de /i/ (reportados en la Tabla 4) corresponderían a un proceso alofónico.

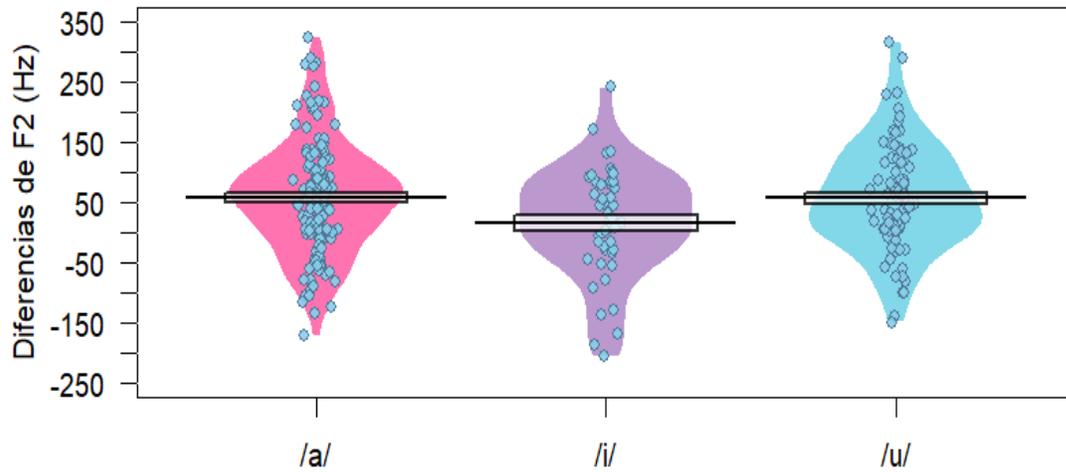


Figura 11. Distribución de los valores del índice $F2_{50} - F2_{20}$ según tipo de vocal (/a/, /i/ y /u/). Las barras centrales representan el promedio del índice $F2_{50} - F2_{20}$ de cada vocal y los límites superior e inferior de las cajas corresponden al rango del error estándar.

Tabla 6. Diferencias del F2 a lo largo de la vocal.

Efecto	Estimación	DS	95% IC		Prob. Posterior	FB ₁₀	FB ₀₁
			LI	LS			
Intercepción	58.80	10.05	39.02	78.55	1.00	Inf	0.00
i	-51.44	25.56	-104.44	-3.14	0.02	0.02	48.18
u	1.02	15.14	-28.05	31.11	0.52	1.10	0.91

Nota. DS = Desviación Estándar; IC = Intervalo de Credibilidad; LI = Límite Inferior; LS = Límite Superior; FB_{10/01} = Factor Bayes en apoyo de la hipótesis alterna/nula (Efecto > 0/Efecto < 0).

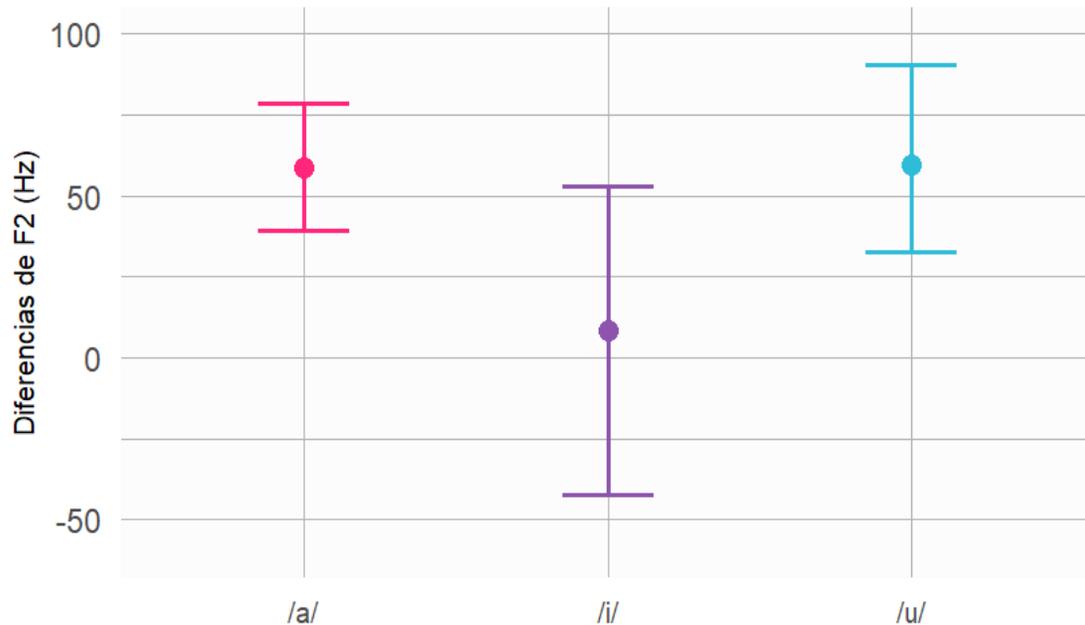


Figura 12. Diferencias de F2 estimadas por el modelo estadístico. Los diferentes valores están separados según tipo de vocal (/a/, /i/ y /u/).

4. DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y PROYECCIONES

El presente estudio tuvo como propósito explorar el descenso vocálico de las vocales del aymara desde una perspectiva acústico-estadística. Para ello, analizamos los primeros dos formantes de las vocales /a/, /i/ y /u/ en una muestra del aymara hablado en la región de Tarapacá, Chile. Analizamos el comportamiento de dichos formantes cuando sus vocales estaban precedidas por consonantes velares y uvulares. Además, buscamos determinar si los cambios provocados por contextos fonéticos uvulares son de carácter coarticulatorio o alofónico.

4.1. Sistema vocálico del aymara

El estudio acústico del F1 y F2 arrojó resultados esperados para las vocales analizadas. En el caso del F1, /a/ presentó los valores más altos, corroborando su estatus de vocal baja, mientras que /i/ y /u/ tuvieron valores sistemáticamente más bajos, lo

que corrobora su estatus de vocales altas. En el caso del F2, /i/ tuvo valores más altos que /a/, mientras que /u/ tuvo valores más bajos que /a/, reflejando el eje anterior-posterior asociado a este formante. En conjunto, estos resultados indican que las vocales del aymara tienen un comportamiento que no parece ser sistemáticamente diferente al descrito en la literatura (ver Tabla 1).

Si bien este resultado no parece novedoso, es importante recordar que al momento de realizar el análisis estadístico, los formantes fueron agrupados según su vocal fonológica y no según su realización fonética (por ejemplo, el F1 de /a/ fue analizado como /a/, independientemente de las variaciones fonéticas que esta vocal podría tener). Es decir que, a pesar del efecto que las posibles variaciones fonéticas pudieron haber tenido en los resultados, los primeros dos formantes de dichas vocales parecen comportarse como lo habría indicado la literatura previa. Esto cobra aún más relevancia al considerar que nuestros informantes son hablantes bilingües que están en constante contacto con el español de Chile. Desde esta perspectiva, nuestros resultados sugieren que el sistema trivocálico del aymara se mantendría relativamente intacto.

4.2. Descenso vocálico

Con respecto al descenso vocálico, encontramos evidencia clara de este proceso cuando las vocales estaban precedidas por consonantes uvulares. En específico, el F1 de las tres vocales del aymara, /a/, /i/ y /u/, fue mayor en contextos uvulares en comparación con contextos velares, lo que replica los resultados reportados por Holliday y Martin (2018) para el quechua. Dentro de este contexto general de descenso, los valores del F1 de /i/ y /u/ presentaron incrementos de F1 mayores que los de /a/. Esto sugiere que el descenso vocálico en las vocales altas del aymara es más sistemático y de mayor magnitud, lo que podría explicar por qué este fenómeno ha sido reportado para las vocales altas principalmente. Sin embargo, hay que precisar que la mayoría de los investigadores solo han realizado análisis auditivos y que, dado que son hispanohablantes, presentan un sesgo

para distinguir como categorías separadas de /i/ y /u/ a las vocales [e] y [o], que en español tienen estatus fonológico, no así una variante más baja de /a/.

La estabilidad del F1 de /i/ representada por el índice $F1_{50} - F1_{20}$ sugiere que su descenso vocálico en contextos uvulares corresponde a un proceso alofónico y no coarticulatorio, en línea con lo reportado por Holliday y Martin (2018, pp. 16-18) para la lengua quechua. De ser un proceso articulatorio, debiéramos observar valores mayores de F1 al inicio de la vocal, lo que resultaría en valores negativos del índice $F1_{50} - F1_{20}$ y nuestra evidencia no apoya dicho escenario. Al contrario, nuestros resultados sugieren que el F1 es estable a lo largo de la vocal, es decir, que los efectos que tiene el contexto fonético uvular en /i/ no se concentran únicamente al inicio de esta. Esto implica que las realizaciones de esta vocal en contextos uvulares tendrían características articulatorias distintivas que no son resultantes de un proceso puramente coarticulatorio y que son sistemáticamente diferentes de las realizaciones del mismo fonema en otros contextos, lo que les daría el estatus de alófono.

Es importante notar que /a/ y /u/ presentan un índice $F1_{50} - F1_{20}$ con una tendencia por sobre cero, es decir, sus valores de F1 en el inicio de la vocal son *menores* que los valores de F1 al final de la vocal. Nuestro modelo no corrobora esta tendencia en /a/ (IC incluye cero, ver Tabla 5), lo que indicaría que esta vocal presenta cierta estabilidad; sin embargo, sí lo hace en /u/ (IC no incluye cero). Este resultado es inesperado, dado que es el patrón opuesto al de un efecto coarticulatorio (valores de $F1_{50} - F1_{20}$ negativos), sin embargo, tampoco corresponde a la estabilidad de formantes que se esperaría de un proceso alofónico. Este patrón podría reflejar que el efecto de la consonante uvular (descenso vocálico/incremento del F1) es mayor en la mitad de la vocal que en el inicio de la vocal (de otro modo, los valores de $F1_{50} - F1_{20}$ serían negativos). Una posible explicación de este resultado es que las consonantes uvulares causan cambios a lo largo de /u/ que se intensifican en el centro de esta. Esta interpretación es coherente con la naturaleza alofónica de este proceso y con lo reportado en el primer modelo, en el que se observa que el efecto del contexto uvular en el F1 de /u/ (interacción entre contexto uvular y /u/, ver Tabla 3) presenta una mayor magnitud que el de /a/ e /i/ ($BF_{10} = \text{Inf}$).

En el caso del F2, solo encontramos evidencia de un efecto del contexto uvular en /i/. Específicamente, nuestros resultados muestran que el F2 de /i/ disminuye en contextos uvulares (ver Tabla 4) lo que indicaría una centralización de la vocal. Además, el índice $F2_{50} - F2_{20}$ de /i/ tiende a concentrarse alrededor de cero (ver Tabla 6 y Figura 12), lo que sustentaría que este proceso de centralización es de carácter alofónico (i.e., no coarticulatorio). No estamos al tanto de investigaciones que hayan reportado un fenómeno de este tipo para las vocales del aymara; sin embargo, Holliday y Martin (2018) reportan un efecto similar para el F2 de /i/ ante oclusivas uvulares, aunque los autores no profundizan en dicho efecto.

En el caso de /a/ y /u/, no encontramos evidencia de cambios en el F2 en contextos uvulares. Sin embargo, sí reportamos diferencias en el índice $F2_{50} - F2_{20}$ que indican que los valores del F2 en el centro de la vocal son mayores que sus valores al inicio. Aún así, es importante recordar que el análisis de un índice como el $F2_{50} - F2_{20}$ tiene como propósito esclarecer la naturaleza de procesos acústico-articulatorios previamente reportados. Es decir, para que este índice tenga sentido, tiene que existir evidencia de un cambio en el F2 en ciertas circunstancias. Dado que no reportamos un efecto del contexto fonético en el F2 de /a/ y /u/, no tenemos mayores interpretaciones respecto al comportamiento del $F2_{50} - F2_{20}$ de estas vocales. Solo nos limitamos a afirmar que, dado que el $F2_{50} - F2_{20}$ de /a/ y /u/ se encuentra por sobre cero, este índice puede estar reflejando efectos coarticulatorios que las consonantes uvulares tienen en el F2 al inicio de estas vocales.

Tanto en los estudios realizados con la variante del aymara hablado en Chile como en los de otras zonas geográficas, no se había descrito que las consonantes uvulares también tuvieran un efecto en el descenso de la vocal /a/, como sí se observó aquí. En este contexto, los resultados de nuestro trabajo sugieren además que este fenómeno no es producto de la coarticulación de los sonidos, sino que se trataría de un proceso alofónico. Considerando ambos hallazgos, proponemos añadir al sistema de sonidos del aymara el fono [a] como alófono de /a/, en distribución complementaria con [a]. Sin embargo, es importante recalcar que los datos solo provienen de la región de Tarapacá,

es decir, de la zona sur del territorio aymara en Chile y que puede que en otras zonas el comportamiento de los sonidos sea diferente.

Teniendo en cuenta lo anterior, la investigación aquí presentada contribuye al conocimiento del sistema fonético-fonológico de las lenguas originarias de Chile. Es evidente que la gran mayoría de los estudios ha estado enfocado en el mapudungun y también que la gran mayoría de ellos ha sustentado sus propuestas en análisis de tipo descriptivo. En el estudio presentado, contamos con evidencia acústica del aymara hablado en la región de Tarapacá, lengua que no había sido estudiada desde esta perspectiva, lo que constituye un punto de partida para ahondar en otros ámbitos del sistema vocálico, así como también en el sistema de consonantes de esta lengua.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adelaar, Willer y Peter Muysken. (2004). *The Languages of the Andes*. Cambridge University Press.
- Albó, Xavier. (2000). "Aymaras entre Bolivia, Perú y Chile". *Estudios Atacameños*, núm. 19, pp. 43-74.
- Boersma, Paul y David Weenink. (2021). "Praat: doing phonetics by computer", software, <http://www.praat.org>
- Bürkner, Paul Christian. (2017). "brms: An R package for Bayesian multilevel models using Stan". *Journal of Statistical Software*, núm 80, pp. 1-28.
- Cerrón-Palomino, Rodolfo. (2000). *Lingüística Aimara*. Centro de Estudios Regionales Andinos.
- Clairis, Christos. (1976). "Esquisse phonologique de l'Aymara parlé au Chili". *La linguistique*, núm. 12, pp. 143-152.
- Depaoli, Sara, Sonja Winter y Marieke Visser. (2020). "The Importance of Prior Sensitivity Analysis in Bayesian Statistics: Demonstrations Using an Interactive Shiny App". *Frontiers in Psychology*, núm 11, pp. 1-18.
- Gundermann, Hans. (1997). "Acerca de cómo los aymara aprendieron el castellano (terminando por olvidar el aymara)". *Estudios Atacameños*, núm. 12, pp. 89-104.
- Gundermann, Hans, Héctor González y Jorge Vergara. (2007). "Vigencia y desplazamiento de la lengua aymara en Chile". *Estudios filológicos*, núm. 42, pp. 123-140.

- Hardman, Martha et al. (2001). *Aymara: compendio de estructura fonológica y gramatical*. Instituto de Lengua y Cultura Aymara.
- Holliday, Nicole y Sean Martin. (2018). "Vowel categories and allophonic lowering among Bolivian Quechua–Spanish bilinguals". *Journal of the International Phonetic Association*, vol. 48., núm. 2, pp. 199-222.
- Ladefoged, Peter y Ian Maddieson. (1996). *The sounds of the world's languages*. Blackwell.
- Park, Hansang y Hyo-Ju Kim. (2015). "Acoustic characteristics of Aymara ejectives: A pilot study". *18th International Congress of Phonetic Sciences ICPhS*, Universidad de Glasgow, Escocia, pp. 1-5.
- Poblete, María Teresa y Adalberto Salas. (1997). "El aymara de Chile". *Revista de Filología y Lingüística de la Universidad de Costa Rica*, núm. 23, pp. 121-204.
- R Core Team. (2021). "R: A language and environment for statistical computing (4.0.2)". R Foundation for Statistical Computing, <https://www.r-project.org/>
- Salas, Adalberto. (1996). "Lenguas indígenas de Chile". *Etnografía. Sociedades indígenas contemporáneas y su ideología*, editado por Jorge Hidalgo y Virgilio Schiappacasse. Editorial Andrés Bello, pp. 275-295.
- Salas, Adalberto y Alba Valencia. (1988). "Fonología del aymara altiplánico chileno". *Revista de Filología y Lingüística de la Universidad de Costa Rica*, vol. 14, núm. 2, pp. 119-122.
- Tukey, John. (1997). *Exploratory data analysis*. Pearson.
- Wagenmakers, Eric-Jan et al. (2018). "Bayesian inference for psychology. Part I: Theoretical advantages and practical ramifications". *Psychonomic Bulletin and Review*, vol. 25, núm. 1, pp. 35–57.
- Wilson, Ian. (2007). "The effects of post-velar consonants on vowels in Nuu-chah-nulth: Auditory, acoustic, and articulatory evidence". *Canadian Journal of Linguistics / Revue Canadienne de Linguistique*, núm. 52, pp. 43-70.