

La tensión vocálica en el kaqchikel de Sololá, Guatemala: un estudio preliminar

Ryan Bennett

Yale University

1. Introducción

Kaqchikel es una lengua maya de la rama k'iche'. Cuenta con más de 500,000 hablantes, quienes viven principalmente en el centro sur y centro occidente de Guatemala, en las tierras altas del país (Fig. 1) (Richards 2003). Es uno de los idiomas indígenas que más se habla en Guatemala, junto con k'iche', q'eqchi, y mam.



Figura 1: Área kaqchikel. Las áreas agrisadas son los cuatro departamentos en los que el kaqchikel más se habla como idioma comunitario.

En este artículo presento los resultados de un estudio preliminar de la fonética y fonología del sistema vocálico del kaqchikel de Sololá (*Tz'oluj Ya'*). Mi base de datos viene de un corpus de narrativas espontáneas, grabado en Sololá en 2013 (Bennett & Ajsivinac Sian, en preparación). En primer lugar, la meta del proyecto es describir y analizar la distribución fonética de las vocales en este corpus, como primer acercamiento a un estudio más amplio de las vocales del kaqchikel. Además, quiero

ilustrar algunos métodos estadísticos para explorar la alofonía vocálica en cualquier corpus fonético. Estos métodos se pueden usar para verificar descripciones anteriores de la fonología vocálica de una lengua, o para descubrir patrones fonéticos que son difíciles de observar con métodos impresionistas.

Empiezo con un bosquejo de la fonología segmental del kaqchikel (§2). En la sección 3 paso al estudio actual, una investigación de las vocales acentuadas en el kaqchikel de Sololá. Los resultados que presento en esa sección sugieren que el contraste fonético entre vocales tensas y relajadas en esta variante de kaqchikel refleja un contraste fonológico basado en el rasgo [TENSA] en lugar de [ATR]/[RTR] o [LARGA], rasgos que se han propuesto por sistemas superficialmente semejantes como el de inglés o de k'iche'. En la sección 4.1 muestro el uso de métodos estadísticos para identificar alófonos de la vocal relajada /ä/, tanto al nivel fonético que al nivel fonológico. Un breve resumen de los resultados se da en la sección 6.

2. La fonología de kaqchikel

El inventario de consonantes fonémicas de kaqchikel se presenta en el Cuadro 1. Por lo menos hay dos cosas que se deben notar: la presencia de consonantes uvulares /q q' χ/, y el contraste entre oclusivos simples /p t k q/ y glotalizados /b t' k' q'/.

| | Bilabial | Dental/ alveolar | Post- alveolar | Velar | Uvular | Glotal |
|--------------------|----------|---------------------|-------------------|-------|--------|--------|
| Plosivas | p b | t t' | | k k' | q q' | ʔ |
| Africadas | | ts ts' | tʃ tʃ' | | | |
| Fricativas | | s | ʃ | x ~ χ | | |
| Nasales | m | n | | | | |
| Semivocales | w | | j | | | |
| Líquidas | | l r | | | | |

Cuadro 1: Las consonantes fonémicas del kaqchikel (Campbell 1977, Chacach Cutzal 1990, Cojtí Macario & Lopez 1990, García Matzar et al. 1999, Majzul et al. 2000, etc.)

Todos las variantes de kaqchikel tienen este sistema de contrastes consonánticos (aunque hay diferencias entre dialectos en cuanto a la realización alofónica de algunas

consonantes; véanse Majzul et al. 2000). El sistema vocálico del kaqchikel, por su parte, muestra mucha más variación. Cada dialecto de kaqchikel tiene entre 5-10 vocales fonémicas. El dialecto de Sololá, en que nos concentramos aquí, ha sido caracterizado como variante que tiene 10 vocales distintas (Figura 2): cinco tensas /V/, que se realizan en el periférico del espacio vocálico, y cinco relajadas /V̥/, que son más centralizadas.¹

Algunos ejemplos de estos contrastes vocálicos se dan en (1) (todos los ejemplos vienen del corpus fonético que se describe en §3.1; algunas formas, como *nb'än* 'lo hace', son formas dialectales de Sololá que no se usan en otras variantes; véanse p.e. Majzul et al. 2000:69-70).

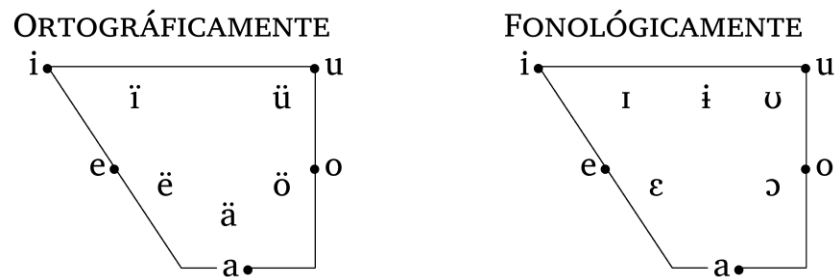


Figura 2: Las vocales del kaqchikel de Sololá (según Majzul et al. 2000:24,35,40-1).

| (1) | | <u>TENSA</u> | | | <u>RELAJADA</u> | |
|-----|----------------|---------------|----------------|----|-----------------|----------------------|
| a. | <i>nb'an</i> | [nʙan] | 'se hace' | b. | <i>nb'än</i> | [nʙin] 'lo hace' |
| c. | <i>achi'el</i> | [ʔa.tʃi.'ʔel] | 'como' | d. | <i>jeb'ël</i> | [χe.'ʙel] 'bonito' |
| e. | <i>ajq'ij</i> | [ʔaχ.'ʒiχ] | 'chamán' | f. | <i>k'iy</i> | [k'ij] 'mucho' |
| g. | <i>kochoch</i> | [ko.tʃot] | 'su (PL) casa' | h. | <i>chiköp</i> | [tʃi.'kɔpʰ] 'animal' |
| i. | <i>ruwuj</i> | [ru.'wuχ] | 'su libro' | j. | <i>ütz</i> | [ʔuts] 'bueno' |

Las vocales relajadas se restringen a la sílaba acentuada en kaqchikel, que casi siempre es la última sílaba de la palabra. Esta restricción fonotáctica provoca alternancias alofónicas entre vocales relajadas y tensas cuando un sufijo se agrega a un base que contiene una vocal relajada.

¹ Uso las corchetes [] para representaciones fonéticas y / / para representaciones fonémicas.

- (2) a. *ixöq* [ʔi.ʃɔqˣ] ‘mujer’ b. *ixoqi’* [ʔi.ʃo.ʔqiʔ] ‘mujeres’
 c. *yekäm* [je.ʔkɨm] ‘se mueren’ d. *nqakamisaj* [nqa.kɑ.mi.ʔsaɣ] ‘lo matamos’

Entre las vocales de kaqchikel, la /ä/ relajada muestra la más variación en su realización fonética. Por ejemplo, se produce como [ə] en Tecpán, y como [ɛ] en Comalapa (Chacach Cutzal 1990, Majzul et al. 2000, Léonard & Gendrot 2007, Léonard & Tuyuc Sucuc 2009). Esta variación también se puede encontrar dentro de un solo dialecto. Para el kaqchikel de Sololá, se han reportado tres realizaciones de la vocal /ä/: el alófono más común es [i], pero también se encuentran [ə ɜ] (Majzul et al. 2000:24,35,40-1; Fig. 3). Estos tres alófonos forman una columna vertical en la región .

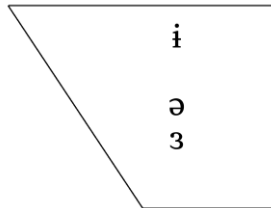


Figura 3: Alófonos de la /ä/ relajada en el kaqchikel de Sololá, según Majzul et al. (2000:24,35,40-1).

Parece que esta variación fonética se puede analizar como la subespecificación fonética de altura (p.e. Keating 1988, 1996, Cohn 1993, Choi 1995, Rice 1995, etc.). Podemos suponer que la /ä/ se especifica fonológicamente como vocal [-ANTERIOR] y [-POSTERIOR] en el kaqchikel de Sololá, ya que se realiza consistentemente como vocal central (por lo menos según Majzul et al. 2000). Al otro lado, si la /ä/ carece de especificación para los rasgos [ALTA] y [BAJA], se sigue que la altura de la /ä/ pueda variar libremente en la fonética. Sin embargo, no queda claro si estos tres alófonos de /ä/ son variantes libres o si son condicionados de alguna manera sistemática. Además, en la sección 4.1 muestro que los patrones fonéticos que se encuentran en nuestro corpus de kaqchikel no coinciden con esta caracterización de /ä/, y propongo otro análisis fonológico de la alofonía de esa vocal en el kaqchikel de Sololá.

3. Análisis fonético de las vocales acentuadas

3.1. El corpus

Bennett & Ajsivinac Sian (en prep.) es un corpus fonético de kaqchikel hablada. Consta

de una serie de narrativas espontáneas, compartidas por 16 hablantes de kaqchikel en la ciudad de Sololá en 2013 (Fig. 1). Estas grabaciones se hicieron con la ayuda de La Comunidad Lingüística Kaqchikel (*Kaqchikel Cholchi'*; <http://kaqchikel.almg.org.gt/>) y la asociación comunitaria CEIBA (<http://ceibaguatemala.org/>).

Las grabaciones se transcribieron ortográficamente por Juan Ajsivinac Sian, lingüista Guatemalteca y hablante nativo de kaqchikel. Después de transcribirse, la ortografía se convirtió a una transcripción alofónica, usando un script de PYTHON (<http://www.python.org/>). En ese punto, las transcripciones y las grabaciones se sometieron juntos a alineamiento forzado, usando el PROSODYLAB-ALIGNER (<http://prosodylab.org/tools/aligner/>; Gorman et al. 2011). El alineamiento forzado es un herramienta computacional que facilita el proceso de marcar los límites entre segmentos en una anotación fonética (véanse DiCano et al. 2013). El resultado de alineamiento forzado es una serie de TextGrids, anotaciones fonéticas que se pueden abrir con el programa Praat (Boersma & Weenink 2010); las anotaciones se hacen automáticamente por el programa. Se puede revisar un ejemplo de la marcación automática en la Fig. 4. Se ve que hay algunos errores en este caso: por ejemplo, los límites de las vocales no se ubican perfectamente. Últimamente estos errores tienen que corregirse a mano. Pero a pesar de que estas anotaciones son aproximadas, bastan para el análisis fonético a condición de que nos enfoquemos en los puntos centrales de las vocales, como hago aquí (DiCano et al. 2013).²

En total, el corpus contiene más o menos cuatro horas de habla espontánea (~40,000 palabras). Aquí presento los resultados de un análisis preliminar de 40 minutos extraídos de estas grabaciones (el 'sub-corpus'). Este sub-corpus incluye datos de cada uno de los 16 hablantes que se grabaron en Sololá (10 mujeres, 6 hombres; 19-84 años, promedio de 33, mediana de 28). Todos los hablantes vivían en el departamento de Sololá cuando se hicieron las grabaciones (6 en la ciudad de Sololá, 10 en otras aldeas). Quince hablantes nacieron en el departamento de Sololá (6 en la ciudad); el otro hablante nació en el departamento de Sacatepéquez, hacia el este. Hay

² En la sección 3.3 presento algunos resultados sobre la duración vocálica que se basan en anotaciones automáticas que todavía no se han corregido. La suposición que hago aquí es que los errores en la marcación fonética del sub-corpus afectan igualmente a todo tipo de vocales, así que siguen una distribución normal (DiCano et al. 2013:2244).

4445 vocales en el sub-corpus (Cuadro 2). Se puede notar que algunas vocales, como /ü/, no son muy frecuentes en estos datos. En el presente artículo solo se analizan las 2194 vocales acentuadas en el sub-corpus.

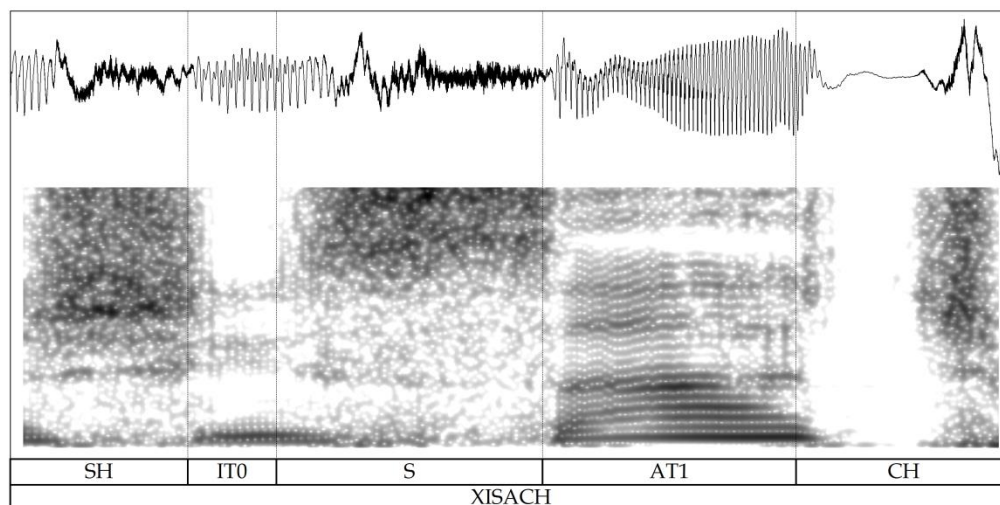


Figura 4: *xisach* [xi.'satʃ] 'fui perdido' (hablante OC)

| | [^h V] | [^h Ṽ] | [Ṽ] | Total |
|---------------|-------------------|-------------------|-------------|-------------|
| /a/ | 634 | 179 | 800 | 1613 |
| /e/ | 364 | 38 | 176 | 278 |
| /o/ | 284 | 32 | 229 | 545 |
| /i/ | 455 | 104 | 660 | 1219 |
| /u/ | 90 | 14 | 386 | 490 |
| Total: | 1827 | 367 | 2251 | 4445 |

Cuadro 2: Frecuencia de cada vocal en el sub-corpus.

3.2. Calidad vocálica

El contraste fonémico entre vocales tensas /V/ y vocales relajadas /Ṽ/ en kaqchikel se ha descrito fonéticamente como una diferencia de centralización (Chacach Cutzal 1990, Majzul et al. 2000, Léonard & Tuyuc Sucuc 2009, etc.). En esta sección confirmo que este contraste vocálica sí se realiza como una diferencia de calidad. A la vez, parece que las vocales /i/ y /i/ están fusionándose en el sistema vocálico del kaqchikel de Sololá, así que este dialecto quizás tendría no más de nueve vocales fonémicas.

Además, en la sección 4.1 muestro que la /ä/ tiene tres alófonos distintos, [a i u], y por eso la realización fonética de esta vocal no se puede describir simplemente como la centralización de la /a/ tensa.

Los valores de los formantes F1 y F2 fueron medidos para cada vocal en el sub-corpus con el programa Praat. Estas medidas corresponden a los valores promedios en Hz de cada formante durante el quinto medio de su duración (el período entre 40-60% de su duración total). Después, todas las vocales se normalizaron según el método Lobanov para que los datos de los 16 hablantes pudieran juntarse para al análisis (Lobanov 1971, Adank et al. 2004).

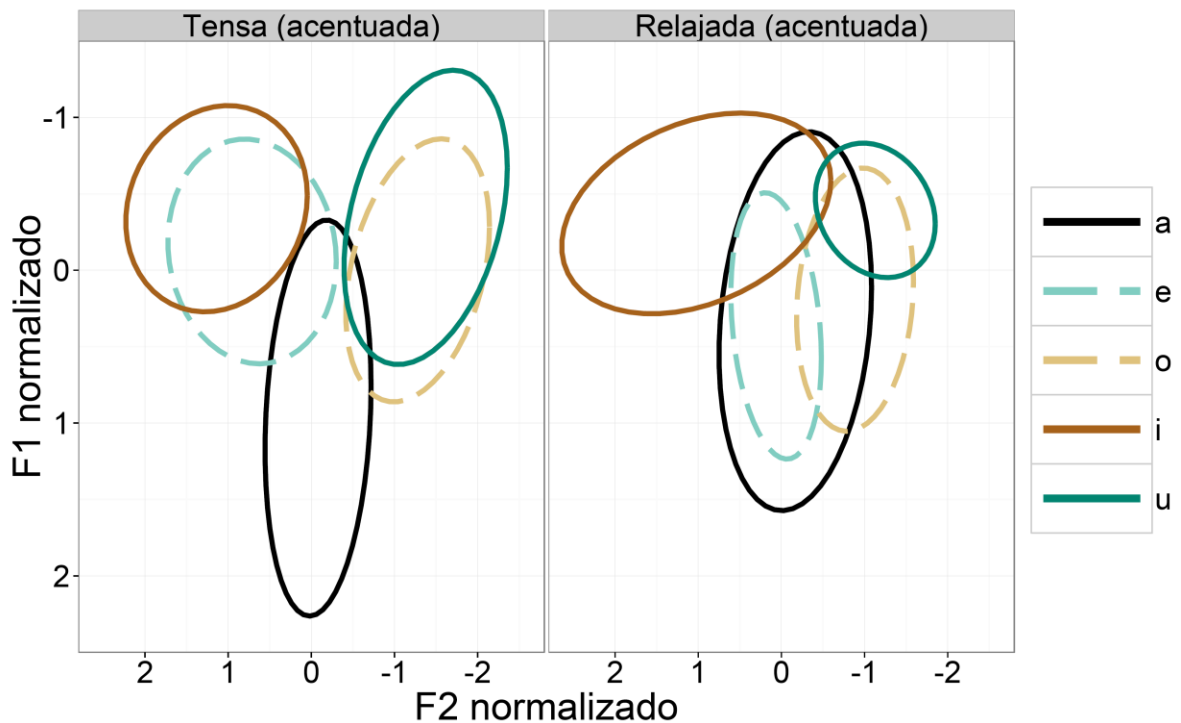


Figura 5: Espacio acústico para las vocales acentuadas en el sub-corpus, normalizado según el método Lobanov. Las elipses indican intervalos de confianza de 95%. Vocales medias se marcan con líneas discontinuas. Hecho con stat-ellipse.R (<https://github.com/JoFrhwld/FAAV/blob/master/r/>).

La Figura 5 muestra el espacio acústico que ocupa cada vocal (todos los diagramas se hicieron con GGLOT2 en el programa R; R Development Core Team 2013, Wickham 2009). Se puede ver que hay mucha variación en la cualidad de cada vocal

en el sub-corpus. Es probable que esta variación se debe a diversos factores: errores aleatorios en la marcación de las vocales o la medición de los formantes; variación entre hablantes; y sobre todo, variación contextual, como variación alofónica o coarticulatoria. A pesar de haber tanta variación, ya podemos ver que las vocales relajadas tienen distribuciones más centralizadas, y menos dispersadas, que las vocales tensas.

Este hecho también se puede observar si nos concentramos en los puntos promedios de la distribución de cada vocal (Fig. 6). Aquí vemos otra vez la centralización de las vocales relajadas en relación con las vocales tensas. Además, podemos ver que la cualidad vocálica no distingue igualmente entre todas las pares vocálicas. Claramente hay una diferencia de cualidad entre /a/~ /ä/ y /e/~ /ë/: la /ä/ es más alta (centralizada) que la /a/, y la /ë/ es más baja y posterior que la /e/. Aunque la magnitud de esta diferencia de cualidad es más pequeña para /o/~ /ö/, basta para distinguirlas en la dimensión de posterioridad (F2). (De todos modos no podemos concluir mucho del comportamiento de /u/~ /ü/, porque hay no más de 14 ejemplos de la /ü/ en el sub-corpus, y 9 de estos ocurren en la misma palabra, *ütz* ‘bueno’).

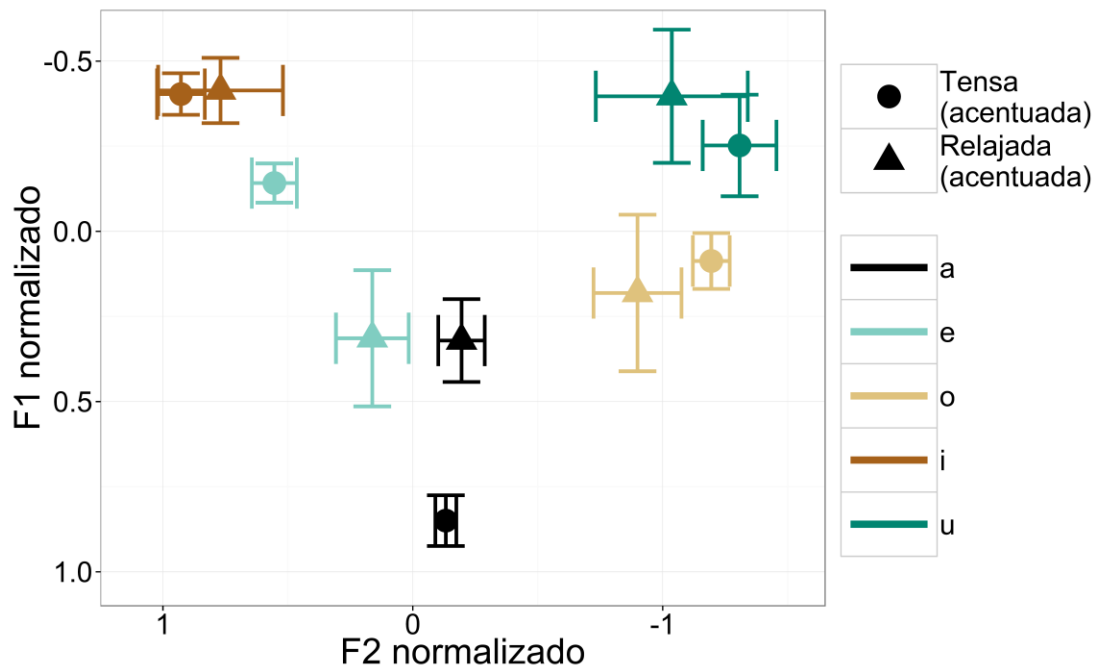


Figura 6: Valores promedios de F1 y F2 para las vocales acentuadas en el sub-corpus, normalizado según el método Lobanov. Las líneas marcan intervalos de confianza de 95%.

Lo más sorprendente es que las vocales /i/ y /i/ no se distinguen en altura ni posterioridad (pruebas-*t* despareadas de una cola: F1 normalizado, $t(198)=0.18$, $p=.43$; F2 normalizado, $t(135)=1.17$, $p=.12$). Esta falta de separación no se puede atribuir al método de normalización, ni tampoco a la exclusión del F3 del análisis: otros métodos de normalización, como F1 (Bark) x F2 (Bark) o F1 (Bark) x F3-F2 (Bark) rinden resultados muy semejantes (Adank et al. 2004, Harrington 2010). Además, no hay diferencia significativa entre los valores de F3 para /i/ y /i/ (F3 normalizado, $t(162)=0.64$, $p=.52$).

Estos resultados sugieren que el contraste fonémico entre /i/ y /i/ en el kaqchikel de Sololá está perdiéndose, o por lo menos debilitándose. Es decir que el kaqchikel de Sololá quizás no tenga diez vocales distintas como se ha reportado antes, sino nueve. Lo interesante es que este tipo de sistema vocálico no se ha descrito antes para kaqchikel u otra lengua de la rama k'iche' de la familia maya. Todos los idiomas k'icheanas tienen un contraste fonémico entre vocales tensas y relajadas /V/~Ṽ/, o entre vocales largas y cortas /V:/~/V/. En muchos dialectos de estos idiomas, los contrastes de tensión o longitud vocálica no se mantienen para todas las vocales: por ejemplo, el contraste entre /e/ y /ë/ se pierde en muchas variantes de kaqchikel, e igualmente las vocales /e:/ y /e/ se han fusionado en algunas variantes de k'iche' (Majzul et al. 2000, Par Sapón & Can Pixabaj 2000, Baird 2010, etc.). Sin embargo, contrastes entre /i/ y /i/ o /i:/ y /i/ son muy comunes. Hasta donde sé, no hay otro sistema de nueve vocales en la rama k'iche' que ha perdido solamente el contraste /i/~i/ o /i:/~/i/.

En la siguiente sección presento el análisis de la duración vocálica en el subcorpus. Los resultados indican que no hay distinción confiable de duración fonética entre las vocales tensas y relajadas, y así apoyan la conclusión que no ya hay contraste fonémica entre /i/~i/ en el kaqchikel de Sololá.

3.3. Duración

Se sabe que vocales relajadas, como vocales centralizadas, suelen ser más cortas que las vocales tensas en muchas lenguas (por los menos las de la familia germánica; Jakobson et al. 1952, Maddieson & Ladefoged 1985, Harrington 2010, y otros). Por eso vale la

pena investigar la duración vocálica como indicio potencial del contraste entre las vocales tensas y relajadas en el kaqchikel del Sololá.

La Figura 7 muestra las duraciones para las vocales tensas y relajadas (se excluyeron del análisis de duración vocálicas con una duración de más de tres desviaciones estándares más del promedio de duración para todas las vocales en el sub-corpus). Gráficamente parece que las vocales tensas sí son más largas que las vocales relajadas, pero debe de notarse que la diferencia entre los promedios de duración es solo 12ms, y la diferencia entre las medianas solo 10ms ($W = 363100, p < .001$).³ Como punto de comparación, el *jnd* para duración (la magnitud de un cambio de duración que casi no se puede percibir) es aproximadamente 5-13ms (dentro de las gamas 40-180ms; Nootboom & Doodeman 1980, Stevens 2000:228). En inglés, como ejemplo, la diferencia entre vocales tensas y relajadas es aproximadamente 30-50ms en posición acentuada (Peterson & Lehiste 1960, van Santen 1992). Para distinguir vocales tensas y relajadas, una diferencia de 12ms no vale mucho.

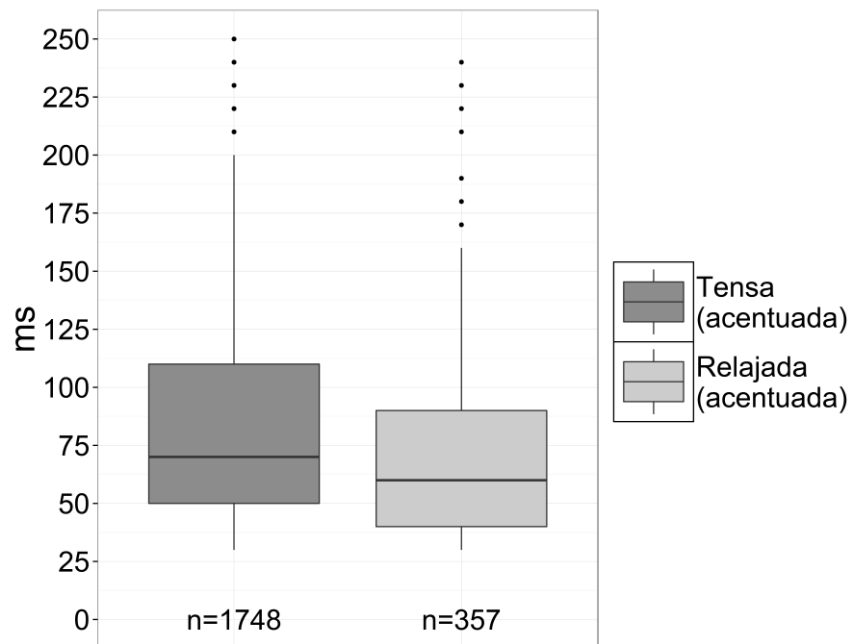


Figura 7: Duración vocálica para las vocales acentuadas en el sub-corpus. Líneas negras

³ En esta sección uso pruebas de suma de rangos Wilcoxon porque las duraciones medidas no se distribuyen normalmente; pruebas-t sobre el logaritmo de duración rinden resultados muy semejantes.

horizontales marcan las medianas de cada categoría. Las cajas indican el primer cuartil y el tercer cuartil (25-75% de los datos). Los bigotes marcan puntos dentro de 1.5 veces el rango intercuartílico del primer o tercer cuartil.

Aun más, la duración no distingue tensión vocálica para cada cualidad vocálica (Fig. 8). Una diferencia de duración se observa para las vocales bajas (Δ_{dur} de promedios = 20ms, de medianas = 20ms; $W = 69260$, $p < .001$). Pero no hay diferencia para las vocales medias (/e/~ /ë/: $W = 6821$, $p = .38$; /o/~ /ö/: $W = 4832$, $p = .12$), ni tampoco para las vocales altas (/i/~ /i/: $W = 22588$, $p = .55$; /u/~ /ü/: $W = 469$, $p = .18$; recuérdense que es difícil interpretar los resultados para /u/~ /ü/ porque no hay muchos ejemplos de /ü/ en el sub-corpus).

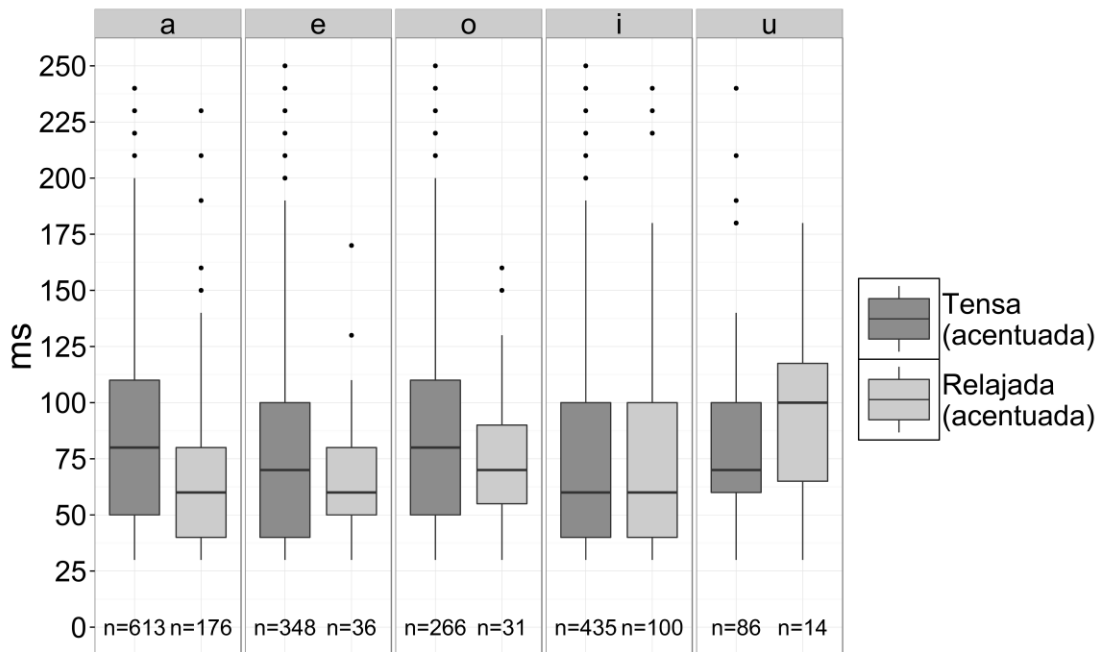


Figura 8: Duración vocálica para las vocales acentuadas en el sub-corpus. Líneas negras horizontales marcan las medianas de cada categoría. Las cajas indican el primer cuartil y el tercer cuartil (25-75% de los datos). Las líneas verticales marcan puntos dentro de 1.5 veces el rango intercuartílico del primer o tercer cuartil.

En resumen, parece que la duración fonética solamente distingue entre vocales relajadas y tensas para las vocales bajas. No obstante, el tamaño del efecto no es muy

grande. Además, es posible que la diferencia de duración entre /a/~ä/ se puede reducir a otros factores. Vamos a ver que la /ä/ relajada tiene dos alófonos categóricos [i u] que se producen alto en el espacio vocálico (sección 4.1). Las vocales altas suelen ser más cortas que las bajas (House 1961, Lehiste 1970, Parker 2002); esta tendencia también se observa en el sub-corpus (Δ_{dur} de promedios=11ms, de medianas=10ms, $W=1650800$, $p<.001$). El cambio de altura entre la /a/ tensa y los alófonos altos [i u] de la /ä/ relajada quizás puede explicar por qué el efecto de duración es más confiable para las vocales bajas.

Por último, el análisis de cualidad vocálica (sección 3.2) sugiere que ya no hay contraste fonémico entre /i/~i/ en el kaqchikel de Sololá. De acuerdo con estos resultados, tampoco hay diferencia de duración entre /i/~i/ en el sub-corpus.

3.4. Resumen intermedia

Hemos visto que el indicio principal del contraste entre vocales tensas /V/ y relajadas /Ṽ/ es la centralización. Está bien establecido que la centralización y la duración son correlacionados en muchos idiomas, por razones articulatorias: a veces las vocales cortas no pueden alcanzar su posición en el periférico del espacio vocálico, dado que el dorso no mueve muy rápidamente; y al otro lado, no se requiere tanto tiempo para mover el dorso a una posición centralizada (Lindblom 1963, Liljencrants & Lindblom 1972, Flemming 2004, Gordon et al. 2012). Es interesante, entonces, que no encontramos una correlación entre duración y centralización aquí para el contraste entre las vocales tensas y las relajadas.

Tampoco hay una correlación fuerte entre la centralización y la duración al nivel fonético. Los Cuadros 3 y 4 muestran la falta de una relación sistemática entre centralización y duración en el sub-corpus. Con estos resultados quizás la única cosa que podríamos concluir sería que las vocales posteriores /u ü o ö/ son más centralizadas cuando son más cortas (Cuadro 4).

| Vocal | Tensa | Relajada |
|-------------------|--------------|--------------|
| Altas /i ĩ u ü/ | -0.098 (545) | -0.109 (118) |
| Medias /e ẽ o ö/ | -0.097 (648) | 0.155 (70) |
| Bajas /a ä/ | 0.228 (634) | 0.222 (179) |

Cuadro 3: Correlaciones entre F1 normalizado y el logaritmo de duración (r de Pearson)

| Vocal | Tensa | Relajada |
|-----------------------|-------------|--------------|
| Anteriores /i ĩ e ë/ | 0.101 (819) | -0.298 (142) |
| Centrales /a ä/ | 0.054 (634) | -0.132 (179) |
| Posteriores /u ü o ö/ | -0.44 (374) | -0.416 (46) |

Cuadro 4: Correlaciones entre F2 normalizado y el logaritmo de duración (r de Pearson)

La independencia de los rasgos fonéticos de duración y centralización también se puede ver si separamos las vocales según su duración fonética. En la Figura 9 vemos la cualidad vocálica para dos clases de vocales, los que son fonéticamente cortas (<70ms) y los que son fonéticamente más largas (≥ 70 ms). Las vocales cortas son más centralizadas que las largas, pero la centralización afecta igualmente a las vocales relajadas y las tensas. Además, entre las vocales largas las relajadas son aún más centralizadas que las tensas. Este hecho confirma que la centralización de las relajadas no se puede reducir a su duración.

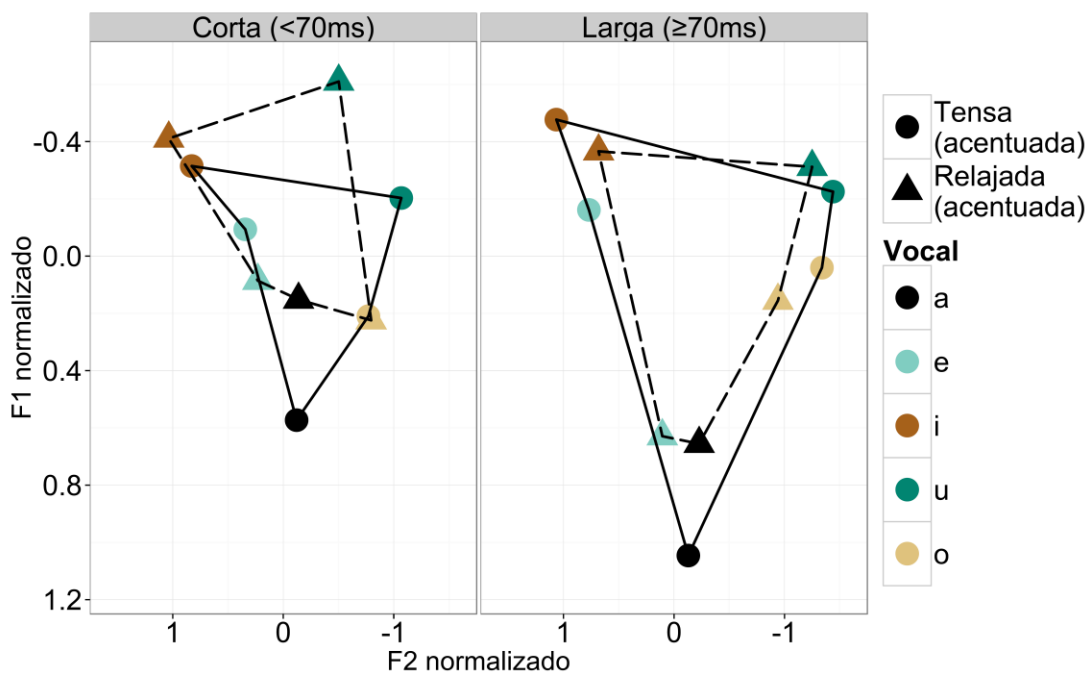


Figura 9: Cualidades normalizadas para las vocales acentuadas, separadas según su duración fonética y su tensión fonológica.

4. Representación fonológica de la tensión vocálica

Los datos acústicos que se analizan aquí sugieren que el contraste fonológico entre vocales tensas /V/ y relajadas /ä/ es principalmente un contraste de centralización en el kaqchikel de Sololá (véanse también Léonard & Gendrot 2007, Léonard & Tuyuc Sucuc 2009). Estos resultados fonéticos así implican un sistema fonológico basado en el rasgo [TENSA], lo cual clasifica las vocales según su desviación del centro del espacio vocálico: las vocales relajadas se especifican como [-TENSA] (centralizadas), y las tensas como [+TENSA] (periféricas). Otros rasgos fonológicos que se han propuesto para distinguir vocales tensas y relajadas, como [ATR]/[RTR] o [LARGA], no nos sirven aquí porque no se refieren directamente a la centralización sino a la posición de la raíz de la lengua o a la duración vocálica (véanse p.e. Ladefoged & Maddieson 1996:300-6, Tiede 1996, Labov et al. 2006:16-7, Gick et al. 2006).

Mientras el rasgo [TENSA] bien caracteriza la fonética y fonología del contraste entre vocales relajadas y tensas en el kaqchikel de Sololá, en la siguiente sección vamos a ver que no basta para describir todos los patrones acústicos que se encuentran en el sub-corpus. En particular, la /ä/ relajada muestra dos patrones de variación alofónica que implican la existencia de otras restricciones fonéticas y fonológicas sobre vocales acentuadas en este idioma.

4.1. Alófonos de la /ä/ relajada

En las Figuras 5 y 6 vimos las distribuciones acústicas de las vocales acentuadas en el subcorpus. Esos diagramas son útiles porque nos muestran las tendencias fonéticas de cada vocal acentuada, como su promedio acústico y su dispersión sobre el espacio vocálico. Sin embargo, los promedios, como estadísticas de resumen, también pueden esconder variación sistemática en los datos. Por ejemplo, variación alofónica—entendido como un cambio categórico en la posición acústica de una vocal—no se puede identificar a través del uso de promedios, desviaciones estándares, u otros estadísticas de resumen. Se necesitan otros métodos.

En las Figuras 10 y 11 tenemos mapas de contorno para cada categoría vocálica en los datos. Los mapas de contorno representan la densidad de los valores de F1 y F2 para cada tipo de vocal en el sub-corpus: muestran la distribución de cada vocal, junto con la frecuencia de cada uno de sus realizaciones acústicas (DiCanio et al. 2015). En la Figura 10 se puede ver claramente que las vocales tensas /a e i o u/ tienen distribuciones que están centrados un sólo punto de concentración—es decir que tienen un enfoque único en el espacio vocálico. Podemos identificar los enfoques de estas distribuciones con la meta acústica de cada vocal, entendido como la interpretación fonética de sus rasgos fonológicos como se especifican al nivel alofónico (lo cual es la etapa final de la fonología propiamente dicho). La variación acústica alrededor de cada enfoque se debe a la influencia del contexto fonético (coarticulación), ritmo de habla, o ruido aleatorio en la producción de los segmentos (p.e. Lindblom 1963, Pierrehumbert 2001, 2002). (Junto con estos factores lingüísticos, seguramente hay errores de marcación y medición en los datos que también contribuyen variación a los resultados; sección 3.2).

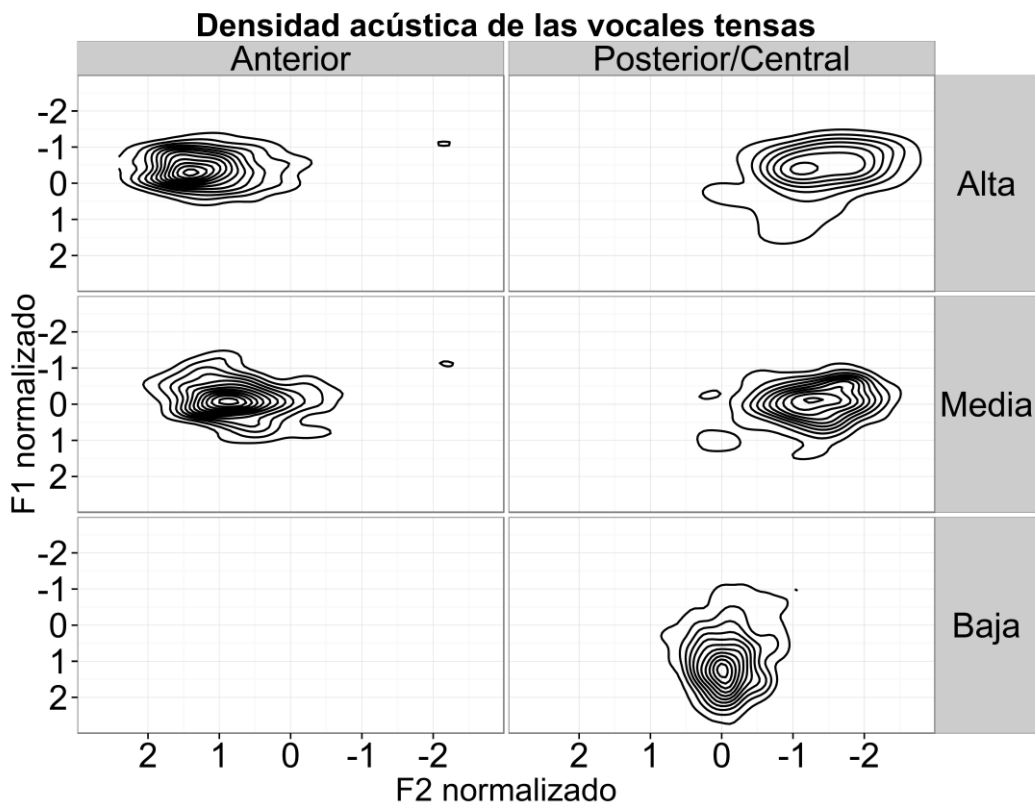


Figura 10: Mapas de contorno (densidad) para las vocales acentuadas tensas en el subcorpus.

En cuanto a las vocales relajadas, vemos en la Figura 11 que las vocales relajadas altas y medias también tienen distribuciones acústicas que se centran en un solo punto en el espacio vocálico. Pero la /ä/ relajada no sigue este patrón: en vez de tener un punto único de concentración, esta vocal tiene *tres* enfoques acústicos. Hay dos enfoques altos, uno posterior y uno central, junto con un enfoque bajo y central. Podemos identificar estos tres enfoques con tres alófonos distintos de la /ä/ relajada.

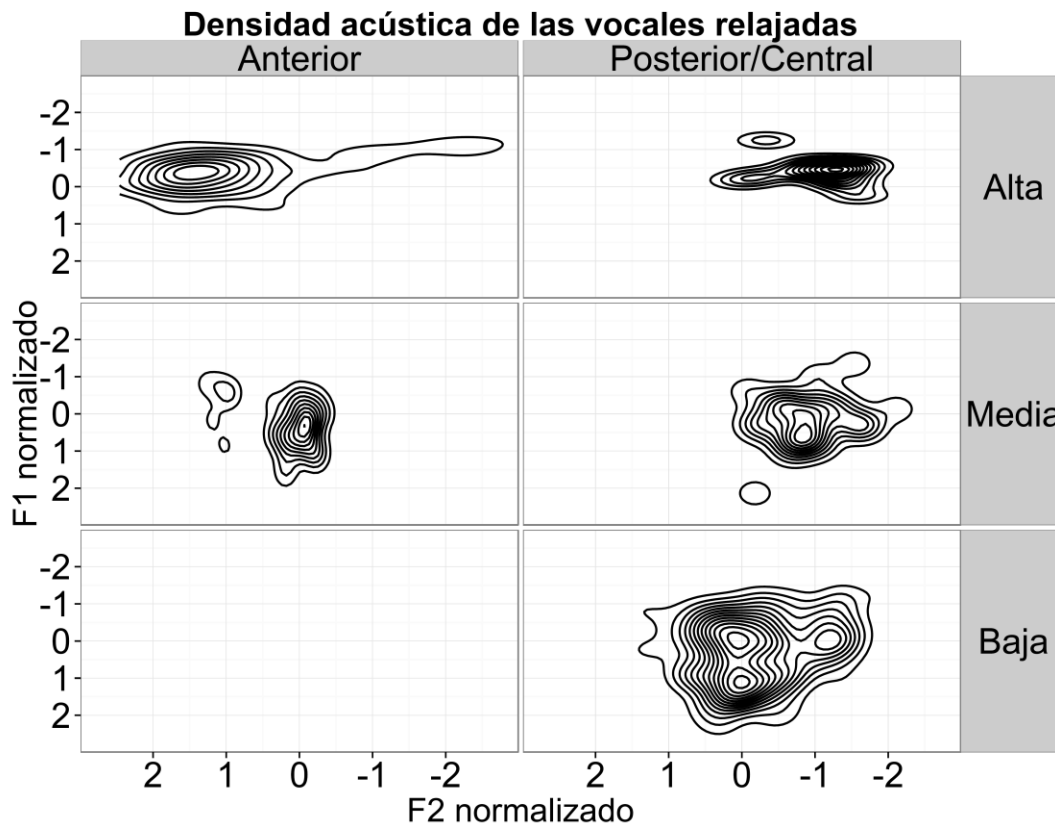


Figura 11: Mapas de contorno (densidad) para las vocales acentuadas relajadas en el sub-corpus.

Se puede confirmar la existencia de los tres alófonos de /ä/ a través del método estadístico *k*-means (MacQueen 1967; también Dillon et al. 2013, Shosted et al. 2015

para ideas semejantes). El algoritmo *k*-means es una técnica de agrupamiento: identifica grupos escondidos en una colección de datos, y asigna cada punto en la distribución de datos a uno de esos grupos. La Figura 12 muestra que tres grupos bastan para capturar la mayoría de la variación acústica que está presente en los datos para la /ä/ relajada. El modelo que supone tres grupos acústicos recibe apoyo del criterio de información bayesiano (CIB) (Fig. 12): aunque los modelos con cuatro o más grupos acústicos explican más variación acústico, la complejidad de esos modelos no se justifica por el aumento que llevan en la calidad del ajuste estadística.

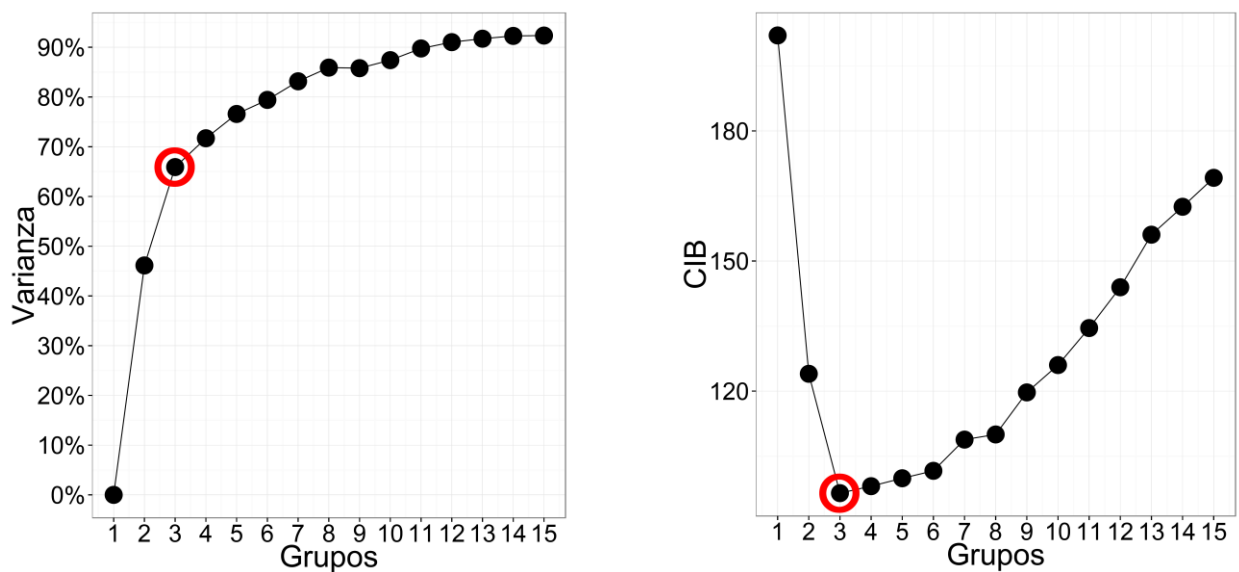


Figura 12: Número de grupos acústicos en los datos para /ä/, según el método *k*-means: Varianza capturada (izquierda) y criterio de información bayesiano (CIB, derecha).

La distribución acústica de los tres grupos alofónicos de /ä/ se presenta en la Figura 13, y los promedios de estas tres categorías se muestran en la Figura 14. Aunque los límites entre los tres grupos no son perfectamente nítidos, es obvio que los tres grupos que se identificaron por el algoritmo *k*-means corresponden bien a los tres picos de densidad—los tres puntos de concentración—que vimos en el mapa de contorno para la /ä/ relajada.

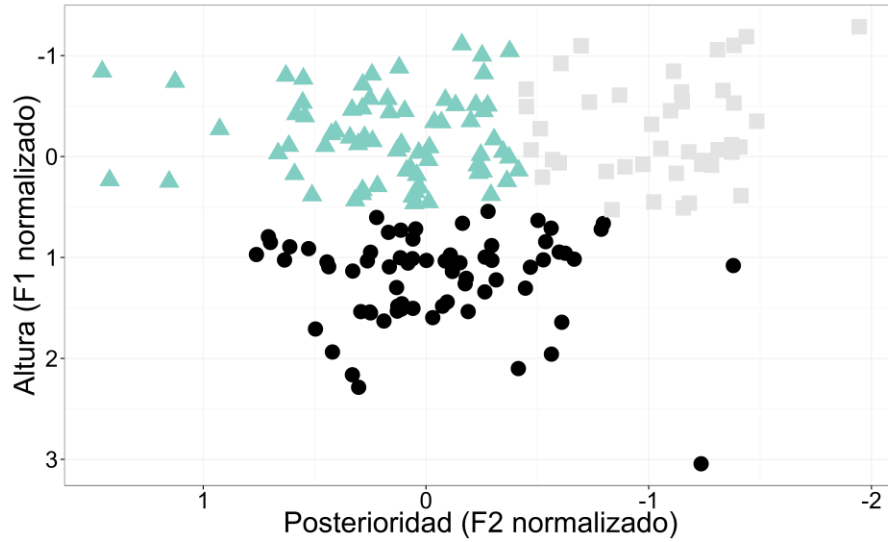


Figura 13: Instancias de /ä/ en el sub-corpus (n=179), asignadas a categorías alofónicas por una solución *k*-means de tres grupos.

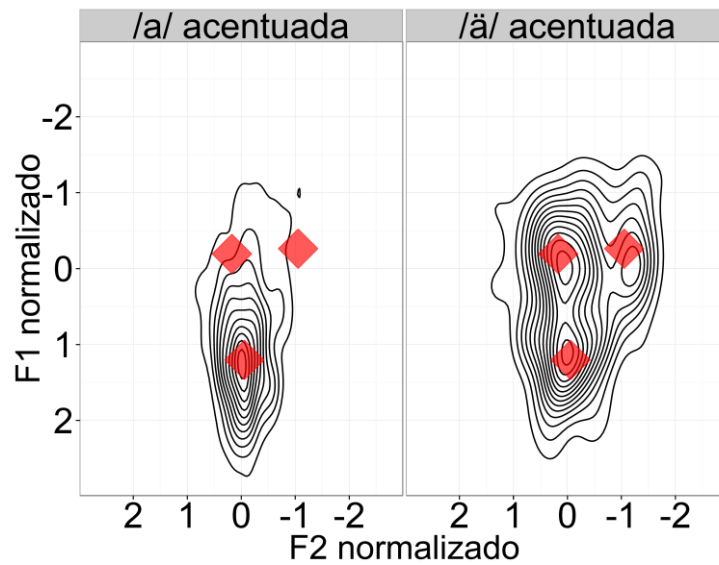


Figura 14: Promedios acústicos de los tres alófonos de /ä/, mostrados como diamantes sobrepuestos encima de mapas de contorno para /a ä/.

Lo que queda hacer es comparar estos tres alófonos de /ä/ a las otras vocales en el sistema para localizarlos en el espacio vocálico. La Figura 15 muestra los alófonos de

/ä/ juntos con las otras vocales. En base a esta comparación, podemos asignar etiquetas fonéticas a los tres alófonos de la /ä/ relajada: son [a i u].⁴

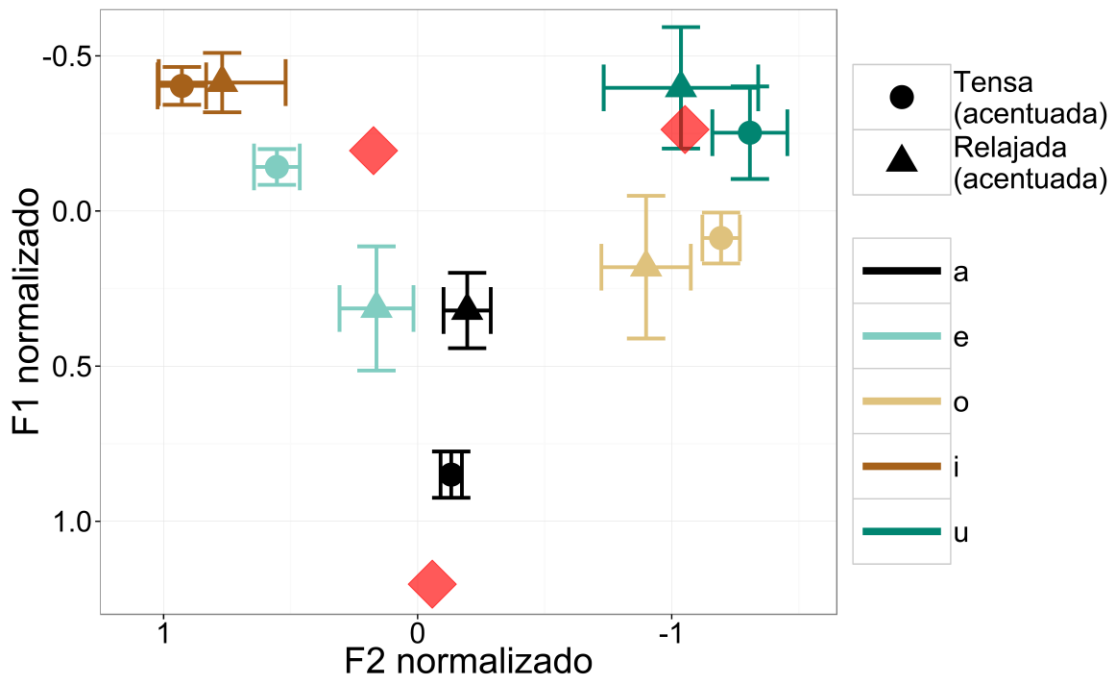


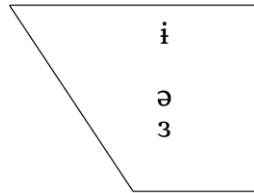
Figura 15: Promedios acústicos de los tres alófonos de /ä/, mostrados como diamantes en el espacio vocálico completo.

En este punto ya podemos notar que los tres alófonos de /ä/ que he identificado aquí no corresponden a lo que ha sido reportado antes sobre la alofonía de esta vocal en el kaqchikel de Sololá. Majzul et al. (2000) también describen tres alófonos para la /ä/ relajada, pero en vez de [a i u] reportan una columna vertical de alófonos, [ɜ ə ɪ] (sección 2 y Fig. 16). En cierto sentido no hay desacuerdo entre la descripción de

⁴ He escogido el símbolo [ɯ] en vez de [ʊ] para el alófono alto y posterior de /ä/ por razones acústicas. El valor mediano del tercer formante F3 para [ɯ] es 2596 Hz (valor normalizada: -0.202). En comparación, el F3 mediano para la /u/ tensa es un poco más alto (2609 Hz; valor normalizada: -0.082). En inglés, el F3 es más alta para [ʊ] que para [u] (Hillenbrand et al. 1995); pero en estos datos el valor del F3 para [ɯ] es más *bajo* del valor del F3 para [u]. Como otro punto de comparación, el F3 en el [ɯ] de japonés es también más bajo que el F3 en el [u] de inglés (Nishi et al. 2008). Por estas razones me parece apropiado escoger la etiqueta [ɯ] para el alófono alto y posterior de /ä/. Además, el uso de [ɯ] está de acuerdo con la falta de redondeamiento en los otros alófonos [a ɪ].

Majzul et al. (2000) y los resultados actuales: sí hay instancias de la /ä/ relajada en el sub-corpus que se realizan fonéticamente como [ə] u otra vocal relajada, media, y central (véanse las Figuras 5, 13, y 14). Al otro lado, el análisis estadístico sugiere que estas realizaciones no son enfoques alofónicos de la /ä/, sino realizaciones variables, al nivel fonético, de otras categorías alofónicas.

SEGÚN MAJZUL ET AL. (2000):



SEGÚN LOS RESULTADOS ACTUALES:

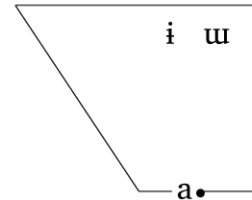


Figura 16: Realizaciones alofónicas de /ä/ en Sololá: dos perspectivas

Ya que no sabemos los criterios que usaron Majzul et al. (2000) para identificar los alófonos de /ä/ en Sololá, es difícil precisar la fuente del desacuerdo entre sus resultados y los datos del presente sub-corpus. Puede ser, quizás, que existen diferencias sociolingüísticas (como edad, género, o lugar de nacimiento) entre las personas a quienes consultaron Majzul et al. (2000) y las personas que contribuyeron al corpus de Bennett & Ajsivinac Sian. Si tales diferencias demográficas se manifiestan como diferencias en la producción acústica de la /ä/, eso explicaría por qué los dos estudios no llegaron a los mismos resultados. De todos modos, tenemos que dejar la investigación de esta posibilidad para otra ocasión.

4.2. Factores contextuales en la distribución de /ä/ → [a i u]

Mientras he identificado tres alófonos de la /ä/ relajada, todavía no sabemos si estos alófonos son variantes libres o condicionados, determinados de alguna manera por su contexto fonético. Podemos investigar este asunto a través de una examinación de los ambientes consonánticos de los tres alófonos [a i u]. Los alófonos de la /ä/ relajada varían en dos dimensiones: la altitud ([a] vs. [i u]) y la posterioridad ([a i] vs. [u]). La cuestión, entonces, es si podemos identificar algún contexto fonético que sea responsable para estas diferencias de cualidad vocálica (véanse también Léonard & Gendrot 2007, Léonard & Tuyuc Sucuc 2009).

Empiezo con el análisis de posterioridad. La Figura 17 presenta la frecuencia de cada alófono de /ä/ en dos contextos: después de una consonante coronal (a la izquierda) y después de una consonante labial, velar, o uvular (a la derecha). Se juntan las consonantes labiales, velares, y uvulares aquí porque estos tres puntos de articulación se asocian con F2 bajo en vocales adyacentes (Ladefoged & Maddieson 1996, Reetz & Jongman 2011); por eso, tendría sentido si el alófono más posterior [ɯ] (con F2 más bajo) ocurriera con más frecuencia en ambientes que incluyen estas consonantes.

En la Fig. 17 vemos que la [a] y la [i] ocurren con la misma frecuencia después de consonantes coronales. El alófono [ɯ] no es muy común en este contexto. Al otro lado, la [ɯ] es bien común después de consonantes que se asocian con F2 bajo, ocurriendo con más o menos la misma frecuencia que los otros dos alófonos. Sin embargo, la diferencia entre los dos contextos no alcanza significancia estadística (prueba χ^2 , $\chi^2 = 3.00$, $p = .1$).

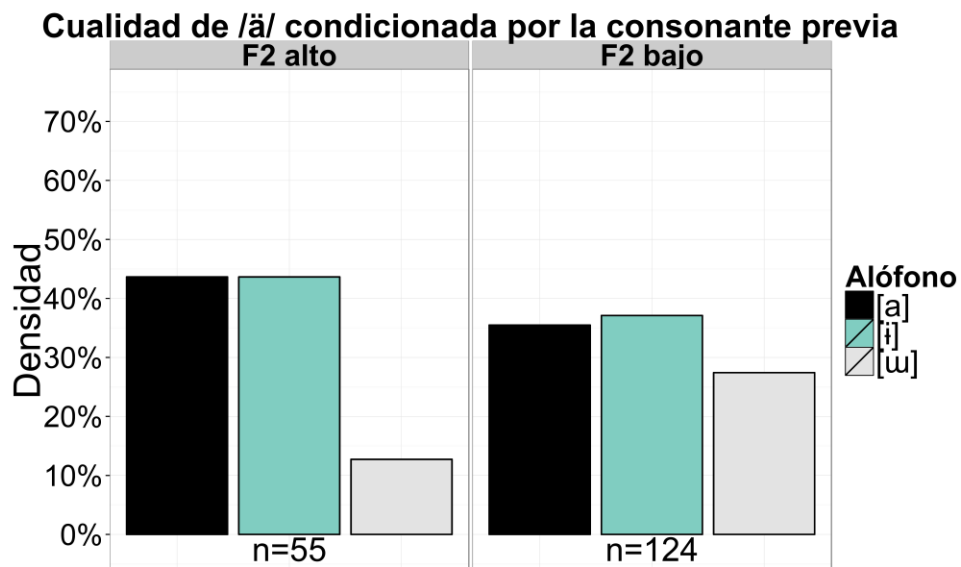


Figura 17: Distribución de los tres alófonos de /ä/ agrupados según la consonante previa. Consonantes que se asocian con F2 alto (las coronales) están a la izquierda, y consonantes que se asocian con F2 bajo (las labiales, velares, y uvulares) están a la derecha.

También podemos examinar el efecto del siguiente consonante en la realización de la /ä/. La Fig. 18 confirma que la cualidad alofónica de la /ä/ depende del contexto consonántico: otra vez, el alófono [u] es más común en los ambientes que incluyen una consonante asociada con F2 bajo (las labiales, velares, y uvulares). Además, se ve claramente que el alófono [i] ocurre con frecuencia ante consonantes asociadas con F2 alto (las coronales). Aquí la diferencia entre los dos contextos sí alcanza significancia estadística ($\chi^2=19.47$, $p<.001$). (Vamos a ver que la frecuencia de la [a] en el diagrama a la derecha en Fig. 18 se debe al efecto de las uvulares.)

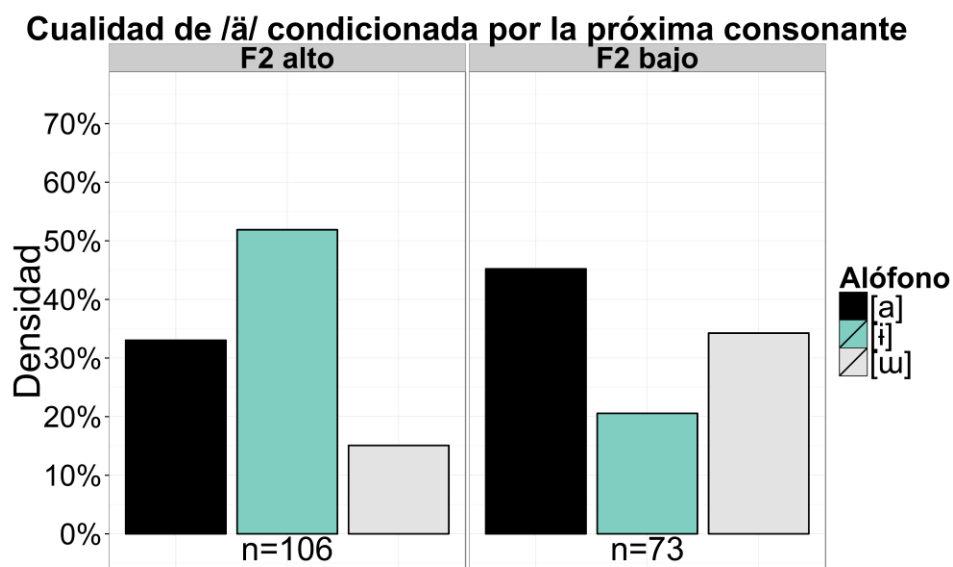


Figura 18: Distribución de los tres alófonos de /ä/ agrupados según la próxima consonante. Consonantes que se asocian con F2 alto (las coronales) están a la izquierda, y consonantes que se asocian con F2 bajo (las labiales, velares, y uvulares) están a la derecha.

En cuanto a la altura vocálica, es más difícil extraer patrones confiables de los datos en el sub-corpus. Se sabe que en muchos idiomas las vocales altas suelen realizarse más bajas en el ambiente de consonantes uvulares (Wilson 2007, entre otros). Sería posible, entonces, que las uvulares de kaqchikel también afectaran sistemáticamente la altitud de la /ä/. La Fig. 19 muestra que el alófono bajo [a] ocurre con más frecuencia ante consonantes uvulares ($\chi^2=12.11$, $p<.005$). Este hecho confirma que las uvulares sí provocan una bajada en la altura de /ä/.

(Desgraciadamente hay no más de 16 casos de la /ä/ después de una consonante uvular en el sub-corpus, y por eso no podemos estimar el efecto que tenga la consonante previa en la altura vocálica.)

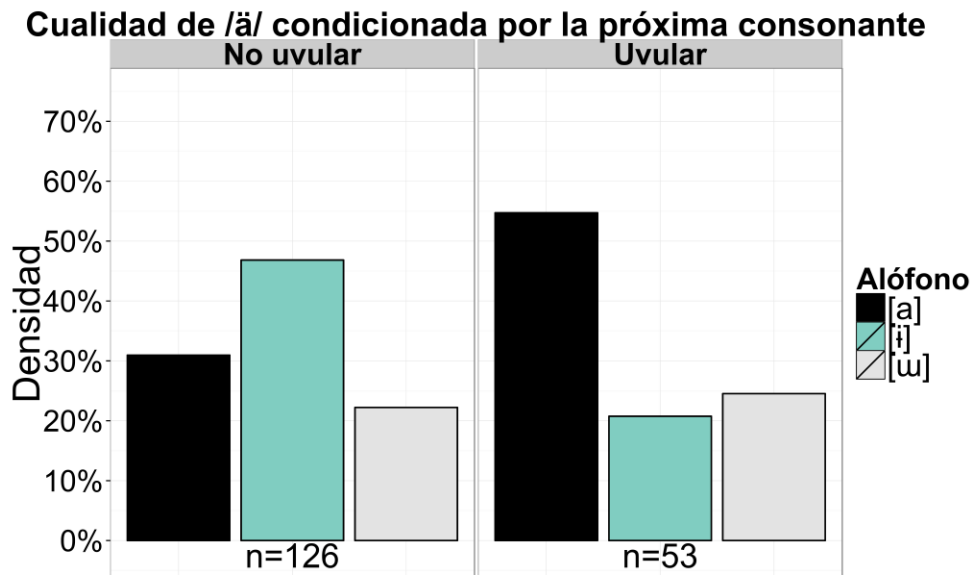


Figura 19: Distribución de los tres alófonos de /ä/ agrupados según la próxima consonante. Las uvulares están a la derecha, y las otras consonantes están a la izquierda.

Concluyo que la realización acústica de la /ä/ relajada (y sus alófonos [a i ɯ]) se afecta por su contexto segmental: la [a] se favorece en el ambiente de uvulares, la [i] en el ambiente de coronales, y el [ɯ] en el ambiente de consonantes que se asocian con F2 bajo (labiales, velares, y uvulares). Además, el efecto de la siguiente consonante es más fuerte que el efecto de la consonante previa; este hecho corresponde bien a la observación que la coarticulación anticipatoria suele ser más fuerte que la coarticulación regresiva (p.e. Manuel 1999, Hyman 2002, entre otros).

5. Alofonía de la /ä/: ¿fonología, fonética, o ambos?

A pesar de haber tanta varianza en la realización de la /ä/ relajada, a través de un análisis estadístico pudimos establecer que la distribución fonética de sus alófonos muestra patrones sistemáticos, sensatas, y esperadas. El asunto pendiente es si estos patrones se ubican al nivel fonético o al nivel fonológico. Ya observamos que las

realizaciones de la /ä/ pertenecen a tres grupos distintos, que he indicado con los símbolos [a i u]. Además, parece que la cualidad de la /ä/ depende de su contexto segmental, y que la realización de la /ä/ se influye más por el siguiente consonante. Sin embargo, el efecto del contexto segmental no es categórico: cada uno de los tres alófonos ocurre en todos los contextos investigados aquí.

El carácter variable de estos resultados quizás sugiere que la cualidad de la /ä/ es condicionada por la coarticulación fonética. Pero a la vez sabemos que patrones de coarticulación fonética pueden desarrollarse en procesos plenamente fonológicos de asimilación o armonía, con propiedades muy parecidos a la coarticulación (Ohala 1993, Cohn 1993, Flemming 2001, Hyman 2002, Blevins 2004, y otros). También se sabe que patrones fonológicos de alofonía categórica pueden ser variables, así que la mera existencia de variación no nos ayuda distinguir entre procesos fonológicos y procesos fonéticos (p.e. Cohn 1993, Strycharczuk 2012:Ch.6, Coetzee & Pater 2011, Bermúdez-Otero 2015). Al otro lado, sabemos que patrones de coarticulación fonética pueden variar entre idiomas, lo cual sugiere que están controlados como parte de la gramática (Whalen 1990, Keating 1990, Manuel 1999, Beckman 1999, Flemming 2001, 2011, etc.). Por eso, puede ser difícil en instancias individuales distinguir entre la coarticulación fonética y la asimilación fonológica. ¿Cómo podemos decidir entre estas dos posibilidades en el caso de la /ä/ relajada?

Una prueba que se ha usado para distinguir entre la coarticulación y procesos fonológicos de asimilación es su estabilidad bajo cambios en el ritmo de habla. La idea es que la coarticulación debe afectar más a segmentos que son fonéticamente más cortas, mientras que procesos de asimilación fonológica deben afectar igualmente a segmentos cortas que a las largas (p.e. Solé 1992, 1995, 2007, Myers 2000, Strycharczuk 2012). Como índice muy crudo de ritmo de habla, podemos dividir las instancias de la /ä/ en dos grupos: las cortas (<60ms, n=86) y las largas (≥60ms, n=93) (60ms es la mediana de duración para la /ä/ en el sub-corpus). Dado que la realización fonética de la /ä/ se afecta principalmente por la próxima consonante, me concentro aquí en ese contexto. En la Figura 20 vemos que el efecto del contexto consonántico aún persiste para las vocales largas: el alófono [u] es más común ante labials y velares; y el alófono [a] es más común ante uvulares. Al otro lado, el alófono [i] ya no es el alófono más común ante coronales, aunque sí ocurre en este contexto con más frecuencia que en los otros contextos.

**Cualidad de /ä/ condicionada por la próxima consonante:
Vocales largas (≥60ms)**

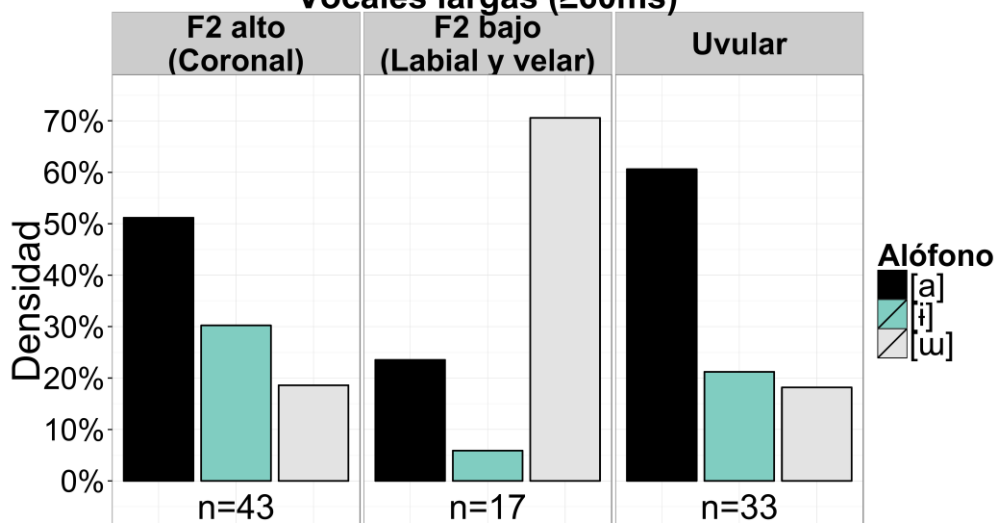


Figura 20: Distribución de los tres alófonos de /ä/ agrupados según la próxima consonante. Solo se muestran los datos para instancias de la /ä/ que son más de 60ms en duración.

De estos resultados concluyo que los alófonos [a] y [u] se derivan en el componente fonológico de la gramática, ya que están bien correlacionados con la siguiente consonante aún cuando son fonéticamente largas. En cuanto al alófono [i], es más difícil interpretar los datos: parece que [i] sí se favorece ante consonantes coronales, incluso para vocales con más duración, pero el efecto se disminuye con cambios del ritmo de habla. Por lo menos podemos concluir que algunos aspectos de la cualidad vocálica de la /ä/ se determinan en la fonología propia, aún si otros factores, como la coarticulación, también afectan su realización al nivel fonético (p.e. Zsiga 1997, Bermúdez-Otero 2015). Sin embargo, quiero enfatizar que estos resultados son preliminares, y se deben confirmar con más datos del kaqchikel de Sololá.

Al fin, quiero regresar a la idea de subespecificación fonética (sección 2). Parece que la distribución acústica de la /ä/ en el sub-corpus no se puede atribuir a la subespecificación de altura. Entre los tres enfoques alofónicos de la /ä/, solo hay vocales altas [i u] y bajas [a]. La falta de alófonos medios como [ə] indica que sí hay restricciones sobre la altura de /ä/. Es cierto que hay instancias de la /ä/ en el sub-corpus que son fonéticamente medias, pero estas realizaciones no parecen ser *enfoques*

alofónicos como [a i u]. Por eso parece que la subespecificación fonética de altura no nos ayuda explicar la distribución acústica de la /ä/ en el presente sub-corpus.

6. Resumen

En este artículo he ilustrado algunos métodos para investigar la fonología de las vocales a través del análisis estadístico de un corpus fonético de habla espontánea. Aunque los resultados de esta obra son preliminares, fue posible desarrollar dos propuestas sobre la fonología de las vocales del kaqchikel de Sololá. Primero, la oposición fonológica entre vocales tensas y relajadas se realiza fonéticamente como la centralización de las relajadas; este patrón fonético implica el rasgo [TENSA] como principio organizador del sistema vocálico. Todavía quedan varias cosas que explorar en más detalle: por ejemplo, es posible que hay otros indicios acústicos del contraste fonológico entre las vocales tensas y relajadas, como cambios dinámicos del F1 a través de la vocal (Slifka 2003, Harrington 2010) o diferencias de fonación (Maddieson & Ladefoged 1985, Tiede 1996, Guion et al. 2004, Edmondson & Esling 2006).

La segunda propuesta se trata de la fonología de la /ä/ relajada. Los datos indican que la variación acústica de la /ä/ se trata, por lo menos parcialmente, de una alternancia fonológica. Aquí también hay muchas preguntas pendientes. En particular, ¿por qué muestra la /ä/ tanta variación acústica, tanto al nivel fonético que al nivel alofónica? Hay varias marcas teóricas que niegan la distinción entre la coarticulación fonética y procesos de asimilación fonológica (p.e. Browman & Goldstein 1992, Flemming 2001, 2011, Iskarous et al. 2012); quizás estos modelos podrían explicar mejor el comportamiento fonético de la /ä/ en el kaqchikel de Sololá. Desgraciadamente, estos asuntos interesantes tendrán que esperar hasta un análisis más detallado y más profundo del corpus de Bennett & Ajsivinac Sian (En preparación).

Agradecimientos: Agradezco a los participantes de la Cuarta Mesa de Trabajo del Seminario Phonologica y a Robert Henderson por sus comentarios sobre este proyecto. Muchas gracias a Esther Herrera Zendejas por invitarme a compartir mi trabajo con el Seminario.

Ryan Bennett
Yale University
Dept. of Linguistics
P.O. Box 208366
New Haven, CT 06520-8366
ryan.bennett@yale.edu
<http://campuspress.yale.edu/ryanbennett/>

Referencias

- Adank, Patti, Roel Smits & 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.
- Baird, Brandon. 2010. Un análisis acústico de las vocales de K'ichee'. In *Conference on indigenous languages of Latin America (CILLA) IV*, Austin, Texas: The Center for Indigenous Languages of Latin America (CILLA) at the University of Texas at Austin. Available online at http://www.ailla.utexas.org/site/cilla4/Baird_CILLA_IV.pdf.
- Beckman, Mary. 1999. Implications for phonological theory. In William Hardcastle & Nigel Hewlett (eds.), *Coarticulation: theory, data, and techniques*, 199-226. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Bennett, Ryan & Juan Ajsivinac Sian. En preparación. Un corpus fonético del kaqchikel de Sololá, Guatemala: narrativas espontáneas. Corpus electrónico, grabado en 2013.
- Bermúdez-Otero, Ricardo. 2015. Amphichronic explanation and the life cycle of phonological processes. In Patrick Honeybone & Joseph Salmons (eds.), *The Oxford handbook of historical phonology*, 374-399. Oxford, UK: Oxford University Press.
- Blevins, Juliette. 2004. *Evolutionary phonology: the emergence of sound patterns*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Boersma, Paul & David Weenink. 2010. Praat: doing phonetics by computer (version 5.1.32). Computer program. Retrieved from <http://www.praat.org/>.
- Browman, Catherine & Louis Goldstein. 1992. Articulatory phonology: An overview.

- Phonetica* 49(3-4). 155-180.
- Campbell, Lyle. 1977. *Quichean linguistic prehistory*, vol. 81 University of California Publications in Linguistics. Berkeley, CA: University of California Press.
- Chacach Cutzal, Martín. 1990. Una descripción fonológica y morfológica del kaqchikel. In Nora England & Stephen Elliott (eds.), *Lecturas sobre la lingüística maya*, 145-190. Antigua, Guatemala: Centro de Investigaciones Regionales de Mesoamérica.
- Choi, John D. 1995. An acoustic-phonetic underspecification account of Marshallese vowel allophony. *Journal of Phonetics* 23(3). 323-347.
- Coetzee, Andries & Joe Pater. 2011. The place of variation in phonological theory. In John Goldsmith, Alan C.L. Yu & Jason Riggle (eds.), *The handbook of phonological theory*, 401-434. Malden MA: Wiley-Blackwell.
- Cohn, Abigail. 1993. Nasalisation in English: phonology or phonetics. *Phonology* 10(1). 43-81.
- Cojtí Macario, Narciso & Margarita Lopez. 1990. Variación dialectal del idioma kaqchikel. In Nora England & Stephen Elliott (eds.), *Lecturas sobre la lingüística maya*, 193-220. Antigua, Guatemala: Centro de Investigaciones Regionales de Mesoamérica.
- DiCanio, Christian, Hosung Nam, Douglas H. Whalen, H. Timothy Bunnell, Jonathan D. Amith & Rey Castillo García. 2013. Using automatic alignment to analyze endangered language data: testing the viability of untrained alignment. *The Journal of the Acoustical Society of America* 134(3). 2235-2246.
- DiCanio, Christian, Hosung Nam, Jonathan Amith, Rey Castillo García & D.H. Whalen. 2015. Vowel variability in elicited versus spontaneous speech: evidence from Mixtec. *Journal of Phonetics* 48. 45-59.
- Dillon, Brian, Ewan Dunbar & William Idsardi. 2013. A single-stage approach to learning phonological categories: Insights from Inuktitut. *Cognitive Science* 37(2) 344-377.
- Edmondson, Jerold & John Esling. 2006. The valves of the throat and their functioning in tone, vocal register and stress: laryngoscopic case studies. *Phonology* 23(2). 157-191.
- Flemming, Edward. 2001. Scalar and categorical phenomena in a unified model of phonetics and phonology. *Phonology* 18(1). 7-44.
- Flemming, Edward. 2004. Contrast and perceptual distinctiveness. In Bruce Hayes,

- Robert Kirchner & Donca Steriade (eds.), *Phonetically based phonology*, 232-276. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Flemming, Edward. 2011. La grammaire de la coarticulation. In Mohamed Embarki & Christelle Dodane (eds.), *La coarticulation: Des indices à la représentation*, 189-211. Paris: L'Harmattan.
- García Matzar, Pedro Oscar, Valerio Toj Cotzajay & Domingo Coc Tuiz. 1999. *Gramática del idioma Kaqchikel*. Antigua, Guatemala: Proyecto Lingüístico Francisco Marroquín.
- Gick, Bryan, Douglas Pulleyblank, Fiona Campbell & Ngessimo Mutaka. 2006. Low vowels and transparency in Kinande vowel harmony. *Phonology* 23(1). 1-20.
- Gordon, Matthew, Edita Ghushchyan, Bradley McDonnell, Daisy Rosenblum & Patricia Shaw. 2012. Sonority and central vowels: A cross-linguistic phonetic study. In Steve Parker (ed.), *The sonority controversy*, 219-256. Berlin: De Gruyter.
- Gorman, Kyle, Jonathan Howell & Michael Wagner. 2011. Prosodylab-aligner: A tool for forced alignment of laboratory speech. *Canadian Acoustics* 39(3). 192-193.
- Guion, Susan, Mark Post & Doris Payne. 2004. Phonetic correlates of tongue root vowel contrasts in Maa. *Journal of Phonetics* 32(4). 517-542.
- Harrington, Jonathan. 2010. Acoustic phonetics. In William Hardcastle, John Laver & Fiona Gibbon (eds.), *The handbook of phonetic sciences*, 81-129. Oxford, UK: Blackwell.
- Hillenbrand, James, Laura A. Getty, Michael J. Clark & Kimberlee Wheeler. 1995. Acoustic characteristics of American English vowels. *The Journal of the Acoustical Society of America* 97(5). 3099-3111.
- House, Arthur S. 1961. On vowel duration in English. *The Journal of the Acoustical Society of America* 33(9). 1174-1178.
- Hyman, Larry. 2002. Is there a right-to-left bias in vowel harmony? In John Rennison, Fredrich Neubarth & Markus Pochtrager (eds.), *Phonologica 2002*, Berlin: Mouton.
- Iskarous, Khalil, Joyce McDonough & Douglas Whalen. 2012. A gestural account of the velar fricative in Navajo. *Laboratory Phonology* 3(1). 195-210.
- Jakobson, Roman, C. Gunnar M. Fant & Morris Halle. 1952. *Preliminaries to speech analysis: The distinctive features and their correlates*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Keating, Patricia. 1988. Underspecification in phonetics. *Phonology* 5(2). 275-292.

- Keating, Patricia. 1990. The window model of coarticulation: articulatory evidence. In John Kingston & Mary Beckman (eds.), *Papers in laboratory phonology I: Between the grammar and the physics of speech*, 451-470. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Keating, Patricia. 1996. The phonology-phonetics interface. In *UCLA working papers in phonetics*, vol. 92, 45-60. Los Angeles: University of California, Los Angeles.
- Labov, William, Sharon Ash & Charles Boberg. 2006. *Atlas of North American English: Phonetics, phonology and sound change*. Berlin: Mouton de Gruyter.
- Ladefoged, Peter & Ian Maddieson. 1996. *The sounds of the world's languages*. Malden, MA: Blackwell.
- Lehiste, Ilse. 1970. *Suprasegmentals*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Léonard, Jean Léo & Cédric Gendrot. 2007. Variation de la corrélation de tension vocalique en maya kaqchikel: alternance grammaticale de la voyelle basse, entre centralité et palatalité. In Olivier Crouzet & Jean-Pierre Angoujard (eds.), *Proceedings of journées d'études linguistiques (JEL) 2007*, 95-104. Nantes, France: Université de Nantes. Available online at <http://ling.fr/actes/actes-jel2007.pdf#page=111>.
- Léonard, Jean Léo & Cecilio Tuyuc Sucuc. 2009. A sociolinguistic sketch of vowel shifts in Kaqchikel. In James Stanford & Dennis Preston (eds.), *Variation in indigenous minority languages*, 173-210. Amsterdam: John Benjamins.
- Liljencrants, Johan & Lindblom. 1972. Numerical simulation of vowel quality systems: the role of perceptual contrast. *Language* 48(4). 839-862.
- Lindblom, Björn. 1963. Spectrographic study of vowel reduction. *Journal of the Acoustical Society of America* 35(11). 1773-1781.
- Lobanov, Boris. 1971. Classification of Russian vowels spoken by different speakers. *The Journal of the Acoustical Society of America* 49(2B). 606-608.
- MacQueen, James. 1967. Some methods for classification and analysis of multivariate observations. In *Proceedings of the fifth Berkeley symposium on mathematical statistics and probability*, vol. 1, 281-297. Berkeley: University of California Press. <http://projecteuclid.org/euclid.bsmsp/1200512992>.
- Maddieson, Ian & Peter Ladefoged. 1985. "Tense" and "Lax" in four minority languages of China. In *UCLA working papers in phonetics*, vol. 60, 59-83. Los Angeles: University of California, Los Angeles.

- Majzul, Filiberto Patal, Pedro Oscar García Matzar & Carmelina Espantzay Serech. 2000. *Rujunamaxik ri Kaqchikel chi': variación dialectal en Kaqchikel*. Ciudad de Guatemala, Guatemala: Cholsamaj.
- Manuel, Sharon. 1999. Cross-language studies: relating language-particular coarticulation patterns to other language-particular facts. In William Hardcastle & Nigel Hewlett (eds.), *Coarticulation: theory, data, and techniques*, 179-198. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Myers, Scott. 2000. Boundary disputes: the distinction between phonetic and phonological sound patterns. In Noel Burton-Roberts, Philip Carr & Gerard Docherty (eds.), *Phonological knowledge: Conceptual and empirical issues*, 245-272. Oxford, UK: Oxford University Press.
- Nishi, Kanae, Winifred Strange, Reiko Akahane-Yamada, Rieko Kubo & Sonja Trent-Brown. 2008. Acoustic and perceptual similarity of Japanese and American English vowels. *Journal of the Acoustical Society of America* 124(1). 576-588.
- Nooteboom, Sieb & Gert Doodeman. 1980. Production and perception of vowel length in spoken sentences. *The Journal of the Acoustical Society of America* 67(1). 276-287.
- Ohala, John. 1993. Coarticulation and phonology. *Language and speech* 36(2-3). 155-170.
- Par Sapón, María Beatriz & Telma Angelina Can Pixabaj. 2000. *Ujunamaxiik ri K'ichee' Ch'ab'al: variación dialectal en K'ichee'*. Ciudad de Guatemala, Guatemala: Cholsamaj.
- Parker, Stephen. 2002. *Quantifying the sonority hierarchy*: University of Massachusetts Amherst dissertation.
- Peterson, Gordon & Ilse Lehiste. 1960. Duration of syllable nuclei in English. *The Journal of the Acoustical Society of America* 32(6). 693-703.
- Pierrehumbert, Janet. 2001. Exemplar dynamics: Word frequency, lenition and contrast. In Joan Bybee & Paul Hopper (eds.), *Frequency and the emergence of linguistic structure*, 137-157. Amsterdam: John Benjamins.
- Pierrehumbert, Janet. 2002. Word-specific phonetics. In Carlos Gussenhoven & Natasha Warner (eds.), *Papers in laboratory phonology VII*, 101-139. Berlin: Mouton de Gruyter.
- R Development Core Team. 2013. *R: A language and environment for statistical computing*.

- R Foundation for Statistical Computing Vienna, Austria. Version 3.0.1, retrieved from <http://www.R-project.org/>.
- Reetz, Henning & Allard Jongman. 2011. *Phonetics: Transcription, production, acoustics, and perception*. Malden MA: Wiley-Blackwell.
- Rice, Keren. 1995. On vowel place features. In *Toronto working papers in linguistics*, vol. 14, 73-116. Toronto: University of Toronto. Available online at <https://fiq.ischool.utoronto.ca/index.php/twpl/article/view/6321>.
- Richards, Michael. 2003. *Atlas lingüístico de Guatemala*. Instituto de Lingüístico y Educación de la Universidad Rafael Landívar.
- Shosted, Ryan, Marissa Barlaz & Di Wu. 2015. Modeling Iu Mien tone with eigenpitch representations. In The Scottish Consortium for ICPHS 2015 (ed.), *Proceedings of the 18th International Congress of the Phonetic Sciences*, 1-5. Glasgow: University of Glasgow. Available online at <https://www.internationalphoneticassociation.org/icphsproceedings/ICPhS2015/Papers/ICPHS0728.pdf>.
- Slifka, Janet. 2003. Tense/lax vowel classification using dynamic spectral cues. In Maria-Josep Solé, Daniel Recasens & Joaquin Romer (eds.), *Proceedings of the 15th International Congress of the Phonetic Sciences*, 921-924. Barcelona, Spain.
- Solé, Maria-Josep. 1992. Phonetic and phonological processes: The case of nasalization. *Language and Speech* 35(1-2). 29-43.
- Solé, Maria-Josep. 1995. Spatio-temporal patterns of velopharyngeal action in phonetic and phonological nasalization. *Language and Speech* 38(1). 1-23.
- Solé, Maria-Josep. 2007. Controlled and mechanical properties in speech. In Maria-Josep Solé, Patrice Beddor & Manjari Ohala (eds.), *Experimental approaches to phonology*, 302-321. Oxford, UK: Oxford University Press.
- Stevens, Kenneth. 2000. *Acoustic phonetics*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Strycharczuk, Patrycja. 2012. *Phonetics-phonology interactions in pre-sonorant voicing*: University of Manchester dissertation.
- Tiede, Mark. 1996. An MRI-based study of pharyngeal volume contrasts in Akan and English. *Journal of Phonetics* 24(4). 399-421.
- van Santen, J.P.H. 1992. Contextual effects on vowel duration. *Speech Communication* 11(6). 513-546.
- Whalen, Douglas. 1990. Coarticulation is largely planned. *Journal of Phonetics* 18. 3-35.

Wickham, Hadley. 2009. *ggplot2: elegant graphics for data analysis*. New York: Springer.

<http://had.co.nz/ggplot2/book>.

Wilson, Ian. 2007. The effects of post-velar consonants on vowels in Nuu-chah-nulth:

Auditory, acoustic, and articulatory evidence. *The Canadian Journal of Linguistics/La revue canadienne de linguistique* 52(1). 43-70.

Zsiga, Elizabeth. 1997. Features, gestures, and Igbo vowels: An approach to the phonology-phonetics interface. *Language* 72(3). 227-274.