

Contribución Original

Granados-Trejo María del
Pilar, Castañeda-Villa Norma,
Cornejo-Cruz Juan Manuel

Laboratorio de Audiología,
Departamento de Ingeniería
Eléctrica, Universidad Autónoma
Metropolitana-Iztapalapa; Ciudad de
México, México.

Características temporales y distribución topográfica de los potenciales evocados auditivos corticales evocados por palabras en español en una población adulta

Temporal characteristics and topographical distribution of cortical auditory evoked potentials elicited by Spanish words in an adult population

Resumen

Introducción: Los potenciales evocados auditivos corticales (PEAC) se han utilizado para evaluar la percepción del habla tanto en sujetos con audición normal como en aquellos usuarios de auxiliares auditivos (AA) y/o implantes cocleares (IC). Sin embargo poco se ha hecho utilizando como estímulos palabras en español.

Objetivo: Caracterizar en el tiempo (latencia y amplitud) y espacialmente (mapas topográficos), el PEAC elicitado por cuatro palabras de uso común en el español en adultos normooyentes.

Métodos: Se realizó un registro multicanal del PEAC en 10 adultos con audición normal y sin problemas neurológicos. Los estímulos utilizados fueron las palabras /bota/ /papa/, /lobo/ y /sabor/. Mediante un análisis de varianza se determinaron las diferencias entre las latencias y amplitudes de los picos del PEAC, así como las diferencias en los mapas topográficos de los picos de dicha respuesta.

Resultados: Se identificó el complejo P1-N1-P2, seguido del Complejo de Cambio Acústico (CCA) en todos los registros. El primer complejo se presenta dentro de los 210ms posteriores al inicio del estímulo y el segundo entre los 230 y 400 ms. Para las palabras /lobo/ y /sabor/ el complejo P1-N1-P2 es el de mayor amplitud; contrario a lo observado en /bota/ y /papa/ con prominente CCA. Los mapas topográficos tienen sobre todo una distribución fronto-central.

Conclusiones: Fue posible elicitar PEACs utilizando palabras en español. Se sientan las bases de una prueba objetiva para medir la percepción del habla en español, susceptible de utilizarse en sujetos usuarios de AA y/o IC.

Palabras clave

Potenciales Evocados Auditivos Corticales, Palabras en español, Complejo P1-N1-P2, Complejo de Cambio Acústico, Mapas topográficos

Abstract

Introduction: Cortical auditory evoked potentials (CAEP) have been used to objectively evaluate speech perception in normal hearing subjects and hearing aid (AA) and/or cochlear implant (IC) users. However, there is not a lot of literature about these potential elicited using Spanish words.

Objective: To characterize in time (latency and amplitude) and space (topographic maps) the CAEP elicited by four commonly used words in Spanish language, in normal hearing adults.

Methods: Multichannel recordings of CAEP from 10 subjects were analyzed; subjects have not hearing loss or neurological disorders. Stimuli used were the Spanish words: /bota/, /papa/, /lobo/ and /sabor/. One way analysis of variance was performed to determine significant differences between the latencies and amplitudes of the CAEP peaks, as well as differences in topographic maps of the peaks of the response.

Results: P1-N1-P2 complexes followed by an acoustic complex change (ACC) were identified in all the recordings. The first complex appears within 210 ms and the second between 230 and 400 ms after the stimulus onset. For words /lobo/ and /sabor/ P1-N1-P2 complex had high amplitude; contrary to what was observed in /bota/ and /papa/ with prominent ACC. Topographic maps mainly have a fronto-central distribution.

Conclusions: It was possible to record CAEP using words in Spanish as stimulation. The characterization of this response lays the foundation of an objective test to measure speech perception in Spanish; it could be used to measure objectively the performance of subject user of AA and / or IC.

Keywords

Cortical Auditory Evoked Potentials (CAEP), Spanish words, P1-N1-P2 complex, Acoustic Complex Change (ACC), topographic maps.

Correspondencia:

Castañeda-Villa Norma
San Rafael Atlixco No. 186, Col. Vicentina, Iztapalapa, 09340, México.
Laboratorio de Audiología, Edificio T022.

Introducción

El registro de los Potenciales Evocados Auditivos Corticales (PEACs) ha sido una herramienta utilizada en el área de las neurociencias para explicar las relaciones neurológicas involucradas en la percepción/discriminación del habla.¹ El PEAC está formado por tres picos P1-N1-P2 que aparecen dentro los 300ms post-estímulo, seguidos del Complejo de Cambio acústico (CCA).² Dada su naturaleza endógena, los PEACs evalúan objetivamente funciones superiores del sistema auditivo³⁻⁴ y pueden estimar la sensibilidad auditiva en personas con déficit auditivo, usuarios de prótesis auditivas e implantes cocleares.⁵⁻¹⁰ Existen diversos estudios en este sentido pero la mayoría utilizan sílabas o palabras cortas del Inglés.¹¹⁻¹⁴ Pocos trabajos que se encuentran en la literatura utilizan fonemas del español, y de estos la mayoría estudian poblaciones monolingües/bilingües que viven en Norte América.¹⁵⁻¹⁸ Entre los trabajos que utilizan palabras del español se encuentra el de Granados et. al, aunque el objetivo de este era determinar las relaciones de los PEACs con los problemas de lenguaje, en una población de niños mexicanos en edad pre-escolar.¹⁹

Por lo anterior resulta importante realizar un análisis más detallado de las características temporales –latencia y amplitud- y las espaciales –distribución topográfica- de los picos de los PEACs, de manera de entender los procesos neurales y cognitivos involucrados en la percepción de palabras en español. Se plantea pues como hipótesis de este trabajo que es posible registrar PEACs utilizando como estímulos palabras de uso común en el español, de manera de identificar y caracterizar diferentes picos asociados a los cambios acústicos y espectrales de un grupo de palabras, así como describir las áreas de actividad cortical relacionadas con cada uno de estos picos. Para esto se analizan las formas de onda y los mapas topográficos del PEACs elicidos por cuatro palabras de uso común en el español en adultos con audición normal.

Métodos

Se realizó un estudio descriptivo y retrospectivo en un grupo de 10 adultos (5 mujeres y 5 hombres) normoyentes, umbrales de audición promedio menores a 20 dBHL e intervalo de edad entre 18 y 29 años [23.67, (SD: 3.56)] estudiantes universitarios cuya participación fue voluntaria; se obtuvo un consentimiento por escrito de cada uno de los sujetos para participar en este estudio. Todos los participantes reportaron no tener problemas neurológicos y/o antecedentes familiares de problemas de audición. El comité ético de la Universidad Autónoma Metropolitana - Iztapalapa (UAM-I) aprobó el estudio.

Los registros de EEG se realizaron en el Laboratorio de Audiología de la UAM-I de marzo a junio de 2012. Los sujetos permanecieron en un sillón reclinable en el interior de una cámara anecoica, relajados y con ojos cerrados. Se les colocaron 20 electrodos (FP1, FP2, AFZ, F7, F3, FZ, F4, F8, T3, C3, CZ, C4, T4, T5, P3, PZ, P4, T6, O1 y O2) usando una gorra de registro Electrocap International, Inc., dichos electrodos están distribuidos en la gorra según el sistema internacional¹⁰⁻²⁰. Se tomó como referencia los electrodos M1 y M2 interconectados y la tierra fue el electrodo FPZ. Las impedancias de los electrodos se mantuvieron balanceadas y a menos de 5kΩ durante toda la prueba. El registro continuo de EEG se realizó con amplificadores Synamp de Neuroscan, Inc., con un filtrado en línea de 0.1 a 1500 Hz -12 dB/octava. Las señales se adquirieron a una frecuencia de muestreo de 500Hz. Se promediaron aproximadamente 320 épocas de EEG, en una ventana de análisis de 600 ms.

Las palabras utilizadas como estímulos se seleccionaron de un corpus para logoaudiometría en Español, con un enfoque lingüístico frecuencial.²⁰ La grabación de las palabras se realizó en cinta magnética de uso profesional, en un estudio de grabación profesional por un hablante femenino entrenado. Para realizar el análisis en el tiempo y en la frecuencia de cada una de las palabras que se utilizaron como estímulos en este trabajo

se usó el software libre Praat.²¹ Las palabras seleccionadas fueron /bota/, /papa/, /lobo/ y /sabor/ con una duración de 480, 354, 456 y 481 ms respectivamente. En la figura 1 se muestran los oscilogramas y las envolventes espectrales de las cuatro palabras. El primer y segundo formante para /bota/ se localizan alrededor de 1000 y 4000Hz

respectivamente, mientras que para la palabra /papa/ F1 está ligeramente por debajo de 1000 Hz y F2 está ligeramente por arriba 4000Hz. En el caso de la palabra /lobo/ F1 presenta una transición entre 2000 y 1000 Hz y F2 está alrededor de 4000Hz; para la palabra /sabor/ la frecuencia F1 cambia de aproximadamente 3000 a 1000 Hz,

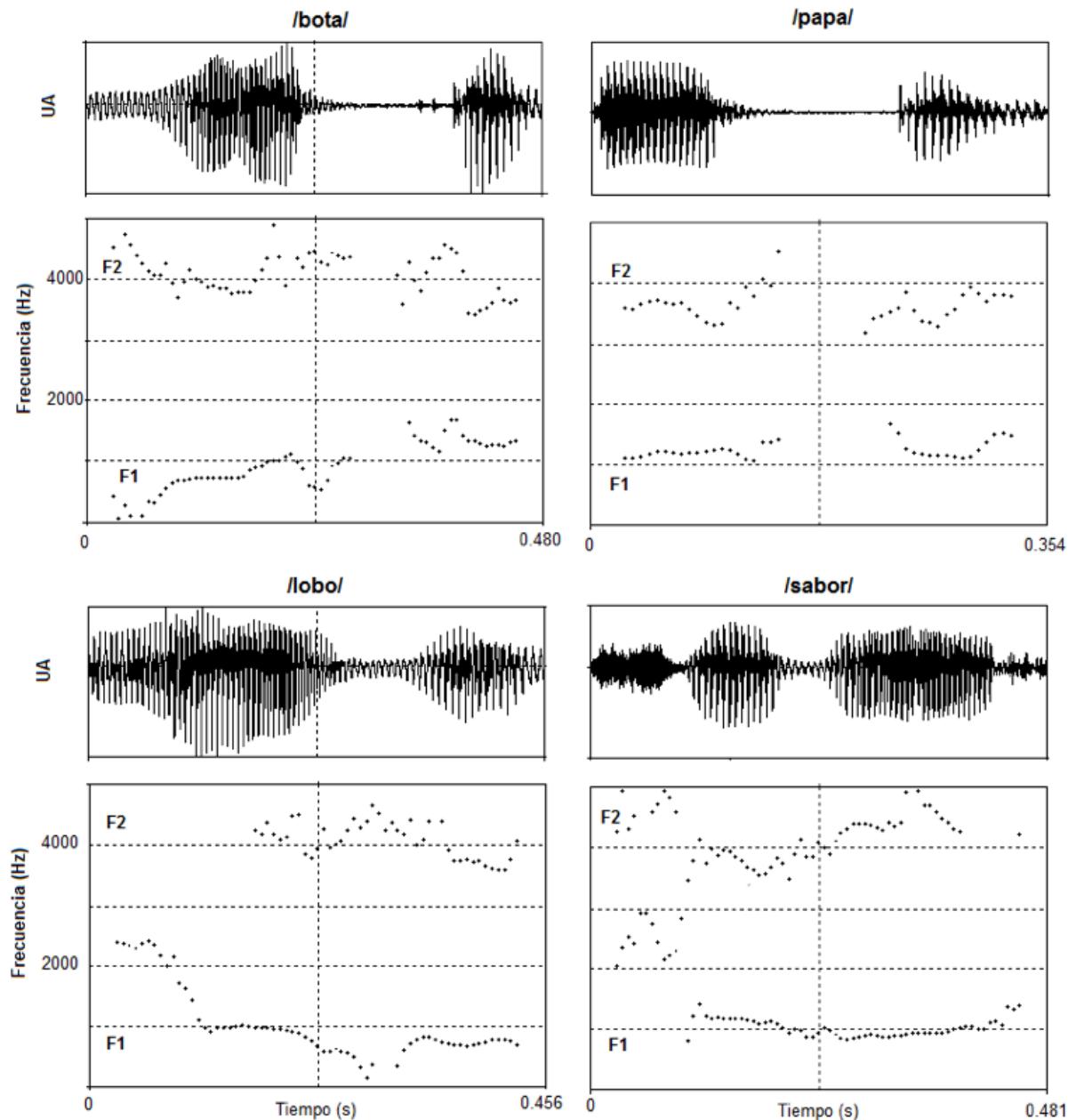


Figura 1 Oscilograma (relación temporal) y envolventes espectrales de las palabras /bota/, /papa/, /lobo/ y /sabor/. F1: Primer formante, F2: Segundo formante y UA: unidades arbitrarias.

mientras que F2 se mantiene alrededor de los 4000 Hz. La estimulación fue binaural, con un intervalo inter estimulación de 1s, a través de audífonos TDH-39 utilizando el módulo STIM de Neuroscan. La intensidad de los estímulos fue aproximadamente 75 dB SPL, calibrados con un sonómetro marca Brüel & Kjaer, modelo 223.(Figura 1).

El procesamiento del registro continuo de EEG se realizó con EEGLAB,²² las épocas de 700ms de duración se segmentaron y promediaron fuera de línea. Además de utilizar un filtrado entre 1-30Hz, se eliminaron los artefactos típicos del EEG como son parpadeos, movimientos oculares y ruido de línea, utilizando el Análisis por Componentes Independientes (ACI).²³⁻²⁴ ACI es una herramienta matemática, que estima componentes de una señal asumiendo que son estadísticamente independientes y tienen distribuciones de probabilidad no-Gaussianas. Toma en cuenta la información espacial de los datos y asume ciertas características de las fuentes que lo generaron, por ejemplo que las mediciones de EEG, son el resultado de una combinación lineal de diferentes fuentes y que los artefactos son independientes de la señal de EEG, dándonos la posibilidad de removerlos de la señal original, sin alterar la información clínica que proporciona el EEG y los PEACs. Para esto se utilizó el algoritmo Infomax-ext, ampliamente empleado en este tipo de señales; para más detalles sobre ACI e Infomax-ext revisar.²⁵⁻²⁶

Finalmente, se usó un Análisis de varianza (ANOVA de un factor) para determinar las diferencias significativas entre las latencias y amplitudes y distribución topográfica de los diferentes picos del PEACs elicidos con las palabras utilizadas en esta investigación -/bota/, /papa/, /lobo/ y /sabor/. Posterior a determinar si existían diferencias significativas entre el grupo de respuestas mediante ANOVA, se utilizó una prueba de rango post hoc para determinar qué respuestas presentaban las diferencias. Las latencias de los picos y las amplitudes inter-picos de las cuatro palabras se compararon directamente utilizando una prueba t-student de dos colas.

Resultados

Formas de onda del PEAC

En la figura 2 se muestran las formas de onda promedio ($n=10$) de los PEACs, para el electrodo CZ elicidos con las palabras /bota/, /papa/, /lobo/ y /sabor/. Los picos del complejo P1-N1-P2 se localizaron en los intervalos de 20 a 90ms (primera deflexión positiva), 90 a 160ms (deflexión negativa) y 160 a 230ms (segunda deflexión positiva) respectivamente, mientras que la deflexión negativa (CCAN) y positiva (CCAP) del CCA se localizaron entre 230 a 300 ms y 300 a 400ms respectivamente. En la tabla 1 se muestran los resultados de la estadística descriptiva realizada con los datos de las latencias de los picos de la respuesta en el electrodo CZ. La mayor latencia de los P1 y N1 se encontraron en la palabra /papa/ [61.40ms (SD:25.11)] y [138.00ms (SD:15.11)] respectivamente. Por otro lado los picos P2 [210.20ms (SD:23.90)], CCAN [282.80ms (SD:6.75)] y CCAP [361.60ms (SD:14.69)] de la palabra /bota/ tienen en promedio mayores latencias que las otras palabras. (Figura 2).

Las amplitudes inter-picós de los PEACs se determinaron restando la amplitud absoluta de cada pico de la amplitud del pico anterior. La tabla 2 muestra las inter-amplitudes promedio, de los picos de los PEACs elicidos con las cuatro palabras mencionadas anteriormente. En promedio la respuesta obtenida con la palabra /bota/ tuvo mayor amplitud inter-picós CCAP- CCAN [4.99 μ V (SD:1.30)], lo mismo que /papa/[3.48 μ V (SD:1.26)]. Por otro lado, tanto en la palabra /lobo/ como /sabor/ la mayor amplitud inter-picós la tuvo P2-CCAN [3.55 μ V (SD:3.02)] y [3.23 μ V (SD:1.52.02)] respectivamente.

Análisis estadístico

ANOVA mostró que para el caso de P1 no hubo diferencias significativas entre las latencias de las respuestas ($p=0.5305$). Hubo diferencias significativas en las latencias de la negatividad N1 entre el grupo de respuestas ($p=0.0003$). No hubo diferencias significativas para las latencias de las

Palabra	P1	N1	P2	CCA _N	CCA _P
	Latencia	Latencia	Latencia	Latencia	Latencia
	M±SD	M±SD	M±SD	M±SD	M±SD
/Bota/	50.00±22.19	120.40±18.69	210.20±23.90	282.80±6.75	361.60±14.69
/Papa/	61.40±25.11	138.00±15.11	196.60±12.76	259.40±13.13	349.60±21.22
/Lobo/	51.80±16.37	117.20±9.30	192.00±17.61	279.00±19.92	346.80±35.72
/Sabor/	49.60±15.99	108.20±11.09	193.60±23.01	278.00±10.91	349.80±28.29

Tabla 1. Media (M en ms) y desviación estándar (SD) de las latencias de cada uno de los picos identificados en las respuestas PEACs

Palabra	P1-N1	P2-N1	P2-CCA _N	CCA _P – CCA _N
	Inter-Amplitud	Inter- Amplitud	Inter-Amplitud	Inter-Amplitud
	M±SD	M±SD	M±SD	M±SD
/Bota/	2.21±1.04	3.03±0.91	3.04±0.79	4.99±1.30
/Papa/	1.73±0.96	2.41±1.01	2.80±0.88	3.48±1.26
/Lobo/	2.97±1.08	1.62±1.72	3.55±3.02	2.12±2.02
/Sabor/	2.77±1.15	1.65±0.78	3.23±1.52	1.23±0.83

Tabla 2. Media (M en μ V) y desviación estándar (SD) de las inter-amplitudes de cada uno de los picos identificados en las respuestas PEACs

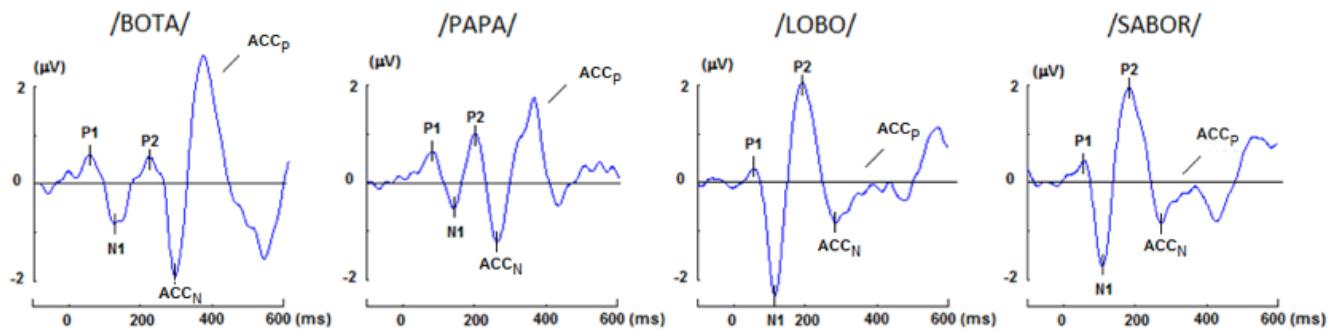


Figura 2. PEACs promedio ($n=10$) para las palabras /bota/, /papa/, /lobo/ y /sabor/ registrados en el electrodo Cz. Se marcan los picos del complejo P1-N1-P2, así como los picos negativo y positivo del Complejo de Cambio Acústico (CCAN y CCAP respectivamente).

respuestas en el caso de P2 ($p=0.1749$), contrario a las latencias de CCAN, se obtuvo una diferencia significativa entre respuestas ($p=0.0020$). Finalmente el análisis de varianza mostró que no existían diferencias significativas para las latencias de CCAN ($p=0.5997$) entre el grupo de respuestas. En cuanto a las amplitudes inter-picós se obtuvieron diferencias significativas entre grupos para P2-N1 ($p=0.0013$) y CCAP- CCAN ($p=4.8886 \times 10^{-6}$). Contrario a lo que ocurrió para las amplitudes inter-picós P1-N1 ($p=0.05274$) y P2-N2 ($p=0.8167$) donde no se encontraron diferencias significativas.

La comparación post hoc indicó que existen diferencias significativas entre las latencias de N1 para /papa/ y /lobo/ ($p=0.0016$) y entre /papa/ y /sabor/ ($p=8.7711 \times 10^{-5}$). En ambos casos la latencia de N1 estuvo más alargada para /papa/ [138.00 ms (SD:15.11)] que para /lobo/ [117.20 ms (SD:9.30)] y /sabor/ [108.20 ms (SD:11.08)]. En el caso de N2 hubo únicamente diferencias significativas ($p=0.0029$) entre las palabras /papa/ [259.40 ms (SD:13.13)] y /sabor/ [278.00 ms (SD:10.91)] (ver figura 3).

Para las amplitudes inter-picós la comparación post hoc mostró que existen diferencias significativas para P2-N1 ($p=0.0018$) únicamente entre /bota/ [3.03 μ V (SD:0.91)] y sabor [1.65 μ V (SD:0.78)]. Mientras que para la amplitud CCAP-CCAN hubieron diferencias significativas entre /bota/ y /lobo/ ($p=0.0014$) con una mayor amplitud para /bota/ [4.99 μ V (SD:1.30)] que para /lobo/ [2.12 μ V (SD:2.02)]. En el caso de /bota/ y /sabor/ ($p=3.9993 \times 10^{-7}$), nuevamente /bota/ tiene mayor amplitud que /sabor/ [1.23 μ V (SD:0.83)]. Finalmente, existe también una diferencia significativa ($p=0.0002$) entre las palabras /papa/ [3.48 μ V (SD:1.26)] y /sabor/ [1.23 μ V (SD:0.83)]; con mayor amplitud la primera (ver figura 4).

Distribución topográfica del PEAC

En la figura 5 se muestran las distribuciones topográficas en los intervalos donde se identificaron los picos del PEAC, obtenido para cada una de las palabras utilizadas en este estudio. La distribución topográfica que puede distinguirse en los diferentes picos del PEAC es predominantemente fronto-central. No hubo diferencias significativas entre electrodos en los intervalos de los picos P1 y CCAN ($p>0.05$). Por otro lado existen diferencias significativas ($p<0.05$) entre electrodos en los intervalos de N1, P2 y CCAN. Entre 90 y 160 ms los electrodos con diferencias significativas son FP1, FP2, AFZ, F7, F3, Fz, F4, F8, C3, Cz, C4, Pz y P4. En el caso del intervalo 160 a 230ms hubo diferencia significativa entre los electrodos AFZ, F7, F3, Fz, F4, C3, Cz, C4, P3, Pz y P4. Finalmente para el intervalo entre 300 y 400ms los electrodos FP1, FP2, AFZ, F7, F3, Fz, F4, F8, T3, C3, Cz, C4, T4, Pz, P4 y T6 tienen diferencias significativas.

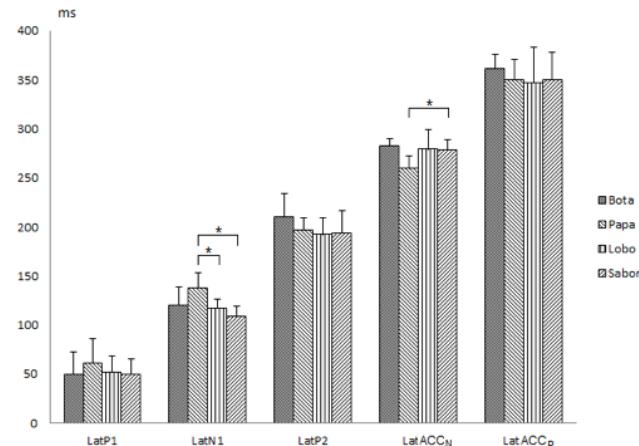


Figura 3. Latencias promedio ($n=10$) y desviación estándar obtenidos en el electrodo Cz para cada uno de los picos del PEAC utilizando cuatro palabras diferentes. El asterisco indica diferencia significativa ($p<0.05$).

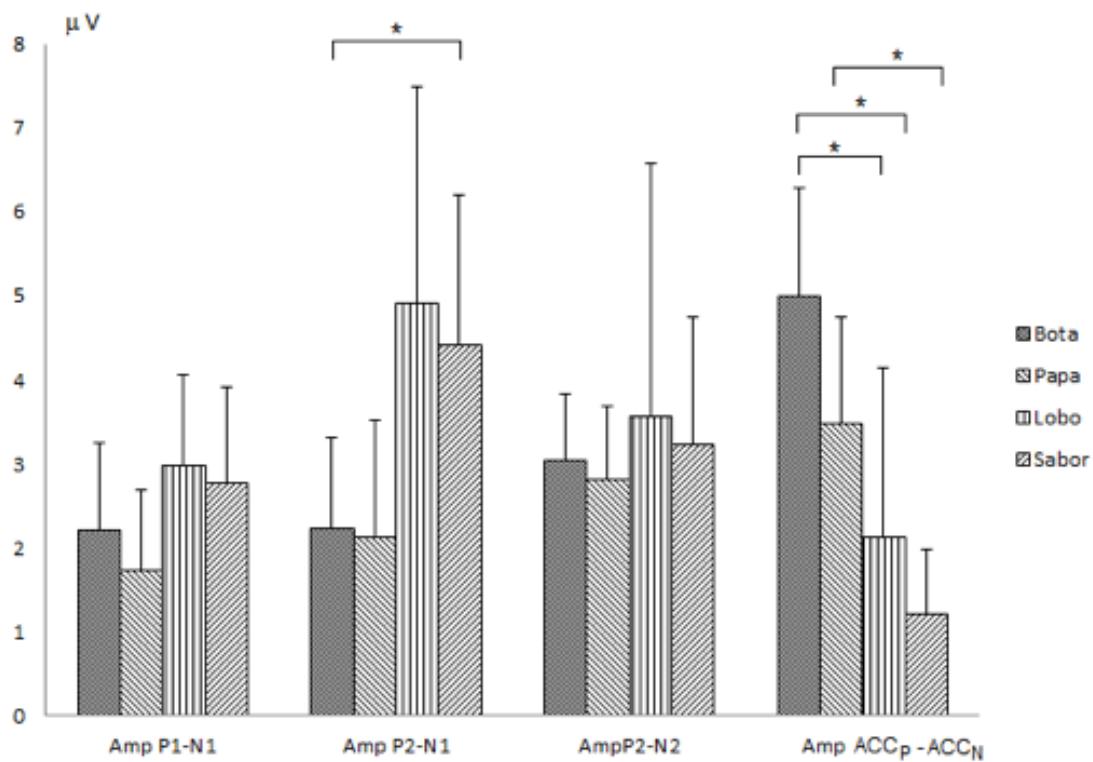


Figura 4. Amplitudes inter-picos promedio ($n=10$) y desviación estándar obtenidos en el electrodo Cz para cada uno de los picos del PEAC utilizando cuatro palabras diferentes. El asterisco indica diferencia significativa ($p<0.05$).

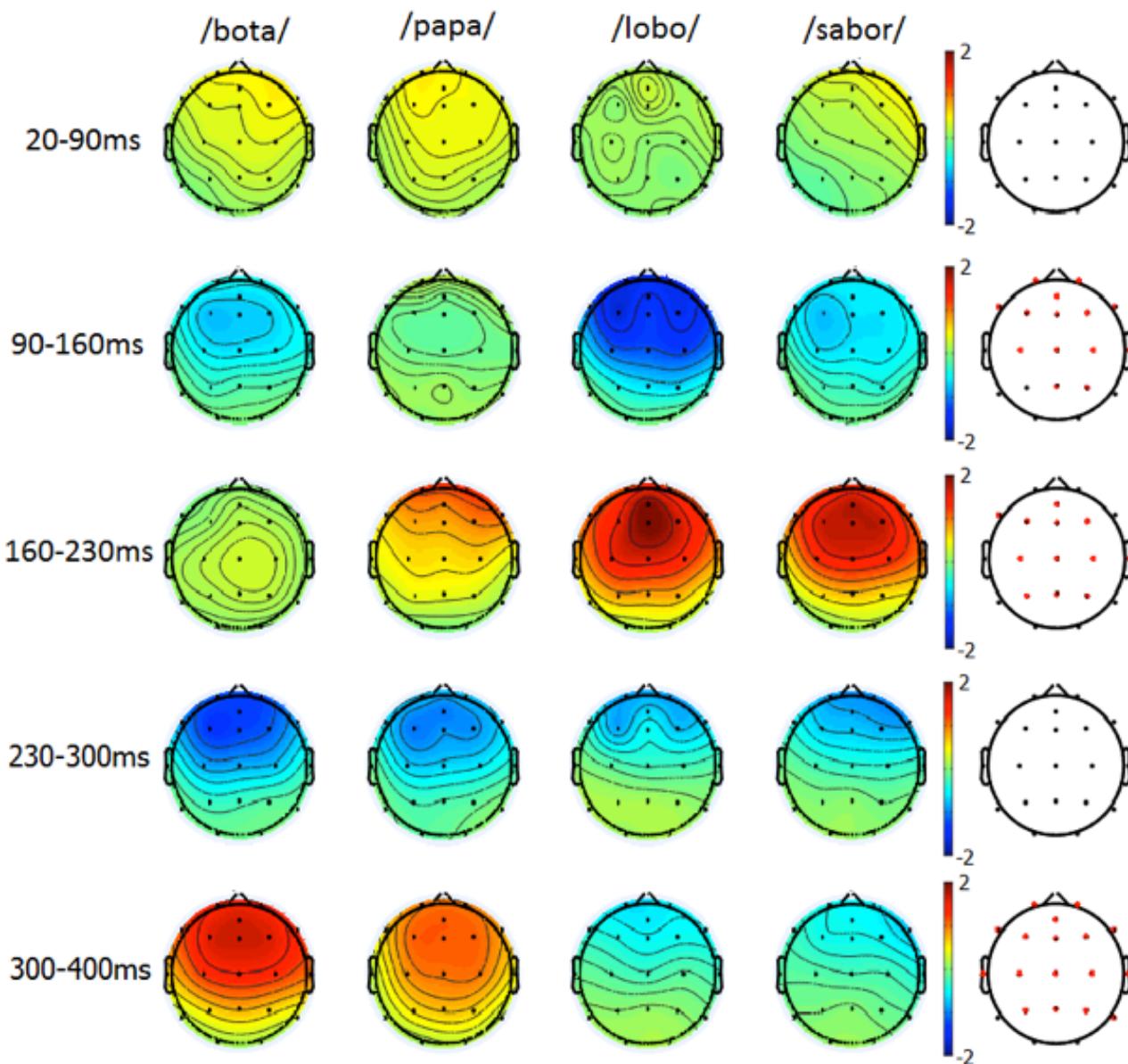


Figura 5. Mapas topográficos para cada uno de los picos del PEAC: P1 (20-90ms), N1 (90-160ms), P2 (160-230), CCAN (230-300) y CCAP (300-400ms). Los puntos rojos en las cabezas a la izquierda corresponden a los electrodos con diferencias significativas ($p < 0.05$) para cada una de las palabras utilizadas para eliciar el PEAC, en los intervalos donde se identificaron cada uno de los picos de esta respuesta.

Discusión

Los PEACs elicitudes con cuatro palabras de uso común en el español, presentan una morfología reconocible en todos los sujetos, donde se identifica el complejo formado por tres picos P1-N1-P2 seguido del CCA (Negatividad/Positividad); lo anterior coincide con lo reportado por otros autores; además las latencias de estos picos se encuentran dentro de las latencias promedio reportadas en la literatura.^{11,27-28} Aunque no existe consenso en la literatura sobre las amplitudes promedio de estos picos, es posible decir observando nuestros resultados, que un par de palabras tuvieron mayores amplitudes en el complejo P1-N1-P2 /lobo/ y /sabor/ y el par /bota/ y /papa/ en el CCA; además estas últimas palabras tuvieron en general mayores latencias de los picos. Esta diferencia de las características en tiempo -latencia y amplitud- entre estos pares de palabras podría atribuirse a las diferencias en el intervalo de silencio entre sílabas de las palabras, más evidente en/bota/y/papa/, que en/lobo/y/sabor/. Las formas de onda de las respuestas podrían utilizarse para evaluar objetivamente procesamiento neuronal de palabras en español en usuarios de AA e IC.

La distribución topográfica que puede distinguirse en este tipo de potenciales tiene una localización fronto-central reportada antes en la literatura,²⁹ se propone utilizar esta distribución como una herramienta objetiva para el seguimiento de la rehabilitación de sujetos usuarios ICs.

En estudios subsecuentes se explorará la posibilidad de eliciar el Potencial de disparidad (Mismatch Negativity) usando pares mínimos de palabras en español lo cual podría coadyuvar

a la evaluación objetiva de la percepción/discriminación de palabras en sujetos con audición normal e hipoacúsicos. Además de aumentar la población estudiada tanto en número como en intervalo de edad, es necesario correlacionar los resultados de esta investigación con los obtenidos en pruebas conductuales de uso común en la clínica neurológica.

Conclusión

En este estudio se demostró que era posible obtener PEACs utilizando como estímulos auditivos palabras de uso común en el español. Aunque los patrones de las respuestas para las cuatro palabras utilizadas fueron similares, el complejo P1-N1-P2 seguido del CCA, se observó que para un par de palabras el primer complejo era de amplitud mayor que para el otro par con prominente CCA; junto latencias alargadas; consecuencia lo anterior de las características fonéticas de las palabras.

A partir de los resultados obtenidos es posible decir que se sientan las bases de una prueba objetiva para medir la percepción del habla en español, que podría utilizarse como una herramienta para evaluar la discriminación de sujetos usuarios de AAs y/o en el seguimiento de la terapia de rehabilitación de usuarios de ICs.

Declaración de conflictos de interés

Los autores declaran que en este estudio no existen conflictos de interés relevantes.

Fuentes de financiamiento

No existió una fuente de financiamiento particular para este informe científico

Referencias

1. Picton TW, Bentin S, Berg P, Donchin E., Hillyard SA, Johnson R, et al. Guidelines for using human event-related potentials to study cognition: Recording standards and publication criteria. *Psychophysiology* 2000; 37: 127–152.
2. Martin A, Brett A, Boothroyd, Martin. Cortical, Auditory, Event-Related Potentials in Response to Periodic and Aperiodic Stimuli with the Same Spectral Envelope. *Ear & Hearing* 1999; 20: 33–44.
3. Pulvermüller F, Shtyrov Y. Language outside the focus of attention: the mismatch negativity as a tool for studying higher cognitive processes. *Prog Neurobiol* 2006; 79: 49–7.
4. Witteman J, Goerlich-Dobre KS, Martens S, Aleman A, Van Heuven VJ, and Schiller NO. The nature of hemispheric specialization for prosody perception. *Cogn. Affect. Behav. Neurosci.* 2014; 143: 1104–1114.
5. Sharma A, Martin K, Roland P. P1 latency as a biomarker for central auditory development in children with hearing impairment. *J. Academy Audiol* 2005; 16: 564–573.
6. Tremblay KL, Billings CJ, Friesen LM, Souza PE. Neural Representation of Amplified Speech Sounds, *Ear Hear* 2006; 27: 93–103.
7. Tremblay KL, Kalstein L, Billings C, and Souza PE. The neural representation of consonant-vowel transitions in adults who wear hearing Aids. *Trends Amplif* 2006; 10: 155–62.
8. Tremblay KL, Piskosz M, Souza P. Effects of age and age-related hearing loss on the neural representation of speech cues. *Clin. Neurophysiol* 2003; 114: 1332–1343.
9. Friesen L, Tremblay K, and Rohila N. Evoked cortical activity and speech recognition as a function of the number of simulated cochlear implant channels. *Clin Neurophysiol* 2009; 120: 776–782.
10. Billings CJ, Papesh MA, Penman TM, Baltzell LS, Gallun FJ. Clinical use of aided cortical auditory evoked potentials as a measure of physiological detection or physiological discrimination. *Int. J. Otolaryngol.* 2012; 1: 1–15.
11. Sharma A, Kraus N, McGee TJ, and Nicol TG. Developmental changes in P1 and N1 central auditory responses elicited by consonant-vowel syllables. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol Potentials Sect* 1997; 104: 540–545.
12. Gilley PM, Sharma A, Dorman M, Martin K. Developmental changes in refractoriness of the cortical auditory evoked potential. *Clin Neurophysiol* 2005; 116: 648–57.
13. Garinis A, Cone-Wesson B. Effects of stimulus level on cortical auditory event-related potentials evoked by speech, *J. Am Acad Audiol* 2007; 18:2, 107–116.
14. Bellis TJ, Nicol T, Kraus N, Aging Affects Hemispheric Asymmetry in the Neural Representation of Speech Sounds. *J. Neursoscience* 2000; 20: 791–797.
15. Rivera-Gaxiola M, Garcia-Sierra A, Lara-Ayala L, Cadena C, Jackson-Maldonado D, Kuhl PK. Event-related potentials to an english/spanish syllabic contrast in mexican 10-13-month-old infants. *ISRN Neurol* 2012; 2012: 1-9.
16. Garcia-Sierra A, Rivera-Gaxiola M, Percaccio CR, Conboy BT, Romo H, Klarman L, et al. Bilingual language learning: An ERP study relating early brain responses to speech, language input, and later word production. *J Phon* 2011; 39: 546–557.
17. Rivera-Gaxiola M, Silva-Pereyra , Klarman L, Garcia-Sierra A, Lara-Ayala L, Cadena-Salazar C et al. Principal component analyses and scalp distribution of the auditory P150-250 and N250-550 to speech contrasts in Mexican and American infants. *Dev. Neuropsychol* 2007; 31: 363–78.
18. Rivera-Gaxiola M, Klarman CAL, Garcia-sierra A, Kuhl PK. Neural patterns to speech and vocabulary growth in American infants. *Dev Neurosci* 2005; 4: 495–8.
19. Granados-Ramos DE, Torres-Morales P, Cervantes-Méndez HDJ, Castañeda-Villa N, Romero-Esquiliano G. Mismatch Negativity (MMN) y lenguaje en niños preescolares hablantes del idioma español. Mismatch negativity (MMN) and language in Spanish-speakers preschool children. *Rev Chil Neuropsicol* 2013; 8: 1–5.
20. Martínez A, Rufiner L, Cornejo JM, Cadena M, Herrera E., Análisis Espectral de una Lista de Palabras. *An. del VIII Congr. la Asociación Mex. Audiol. Foniatria y Comun. Humana* 1997, 1–6.
21. Boersma BP, Van Heuven V, Speak and unSpeak with PRAAT. *Glot Int* 2001; 5: 341–347.

22. Delorme A, Makeig S. EEGLAB: an open source toolbox for analysis of single-trial EEG dynamics including independent component analysis. *J. Neurosci. Methods* 2004; 134: 9–21.
23. Jung T, Humphries C, T. Lee T, Makeig S. Extended ICA Removes Artifacts from Electroencephalographic Recordings. *Adv Neural Inf Process Syst* 1998; 10: 894–900.
24. Vigário RN, Extraction of ocular artefacts from EEG using independent component analysis. *Electroencephalogr. Clin Neurophysiol* 1997; 103: 395–404.
25. Hyvärinen A, Oja E. Independent component analysis: algorithms and applications. *Neural Networks* 2000; 13: 411–430.
26. Bell AJ, TJ Sejnowski. An information-maximisation approach to blind separation and blind deconvolution. *Tech Rep* 1989; 1034: 1004–1034.
27. Tremblay KL, Kalstein L, Billings CJ, Souza PE, Consonant-Vowel Transitions. *Tren Amplif* 2006; 10: 155–162.
28. Purdy SC, Kelly AS. Cortical auditory evoked potential testing in infants and young children 2001; 11: 1–8.
29. Fitzroy AB, Krizman J, Tierney A, Agouridou M, Elmer S, Longitudinal maturation of auditory cortical function during adolescence. *Front. Hum. Neurosci.* 2015, 9:1–13.