

UNIVERSIDAD DE OVIEDO
FACULTAD DE PSICOLOGÍA



GRADO EN LOGOPEDIA
CUARTO CURSO

**CARACTERÍSTICAS ACÚSTICAS DE LA VOZ DE
LOS NIÑOS USUARIOS DE IMPLANTE COCLEAR**
**ACOUSTIC CHARACTERISTICS IN PEDIATRIC
COCHLEAR IMPLANT USERS'S VOICE**

(Trabajo empírico)

AINOA ÁLVAREZ AMADOR

Oviedo, junio 2024

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD

EL TRABAJO FIN DE GRADO

(De acuerdo con lo establecido en el artículo 8.3 del Acuerdo de 5 de marzo de 2020, del Consejo de Gobierno de la Universidad de Oviedo, por el que se aprueba el Reglamento sobre la asignatura Trabajo Fin de Grado de la Universidad de Oviedo)

D/Dña. Ainoa Álvarez Amador, estudiante del Grado en Logopedia de la Facultad de Psicología,

DECLARO QUE:

El Trabajo Fin de Grado titulado: “Características acústicas de la voz de los niños usuarios de implante coclear” que presento para su exposición y defensa, es original y he citado debidamente todas las fuentes de información utilizadas, tanto en el cuerpo del texto como en la bibliografía.

En Oviedo, a 28 de mayo de 2024.

Firmado: *Ainoa Álvarez Amador*

RESUMEN.....	2
ABSTRACT.....	3
GLOSARIO DE ABREVIATURAS	4
INTRODUCCIÓN	5
1. Antecedentes.....	5
2. Problema.....	11
3. Objetivos e hipótesis.....	11
METODOLOGÍA	13
RESULTADOS.....	18
1. Análisis intergrupar.....	18
1.1. Análisis acústico de la vocal sostenida.....	18
1.2. Análisis acústico de la vocal extraída de la palabra	22
2. Análisis intra-grupo.....	27
2.1. Comparación entre vocal aislada y vocal extraída en el grupo implantado coclear.....	27
2.2. Comparación entre vocal aislada y vocal extraída en el grupo normativo.....	29
DISCUSIÓN	32
1. Frecuencia fundamental.....	32
2. <i>Jitter rap</i> y <i>shimmer apq5</i>	34
3. Primer y segundo formante.....	35
4. Pico cepstral suavizado	36
5. Limitaciones del estudio.....	38
CONCLUSIONES	39
REFERENCIAS	40

RESUMEN

Antecedentes: La hipoacusia bilateral profunda cuando es congénita impide el correcto desarrollo del habla y la voz. Este trabajo valora determinados parámetros acústicos con el fin de determinar su normalidad en la población implantada y la posibilidad de ser utilizados como método indirecto de evaluación del implante.

Método: Un total de 32 niños con hipoacusia bilateral severa-profunda implantados bilateralmente entre 3 y 14 años y 45 niños con audición normal entre 6 y 9 años. Las variables *median pitch*, CPPS, F_1 , F_2 , *jitter rap* y *shimmer apq5* fueron evaluadas en un ejercicio de fonación aislada y otro de habla conectada para el fonema /a/ con el programa PRAAT. Se aplicaron los análisis de varianzas t de Student y test de Wilcoxon.

Resultados: Se obtuvieron diferencias significativas intergrupales para todas las variables en el habla conectada, no así en la vocal aislada. La población con hipoacusia mostró algunas diferencias significativas en el análisis intra-grupo.

Conclusión: La implantación bilateral precoz permite al usuario con implante coclear aproximar sus valores acústicos a los normativos en términos de tono, estabilidad, calidad y precisión articulatoria.

Palabras clave: Implante Coclear; Producción Vocal; Análisis Acústico; Calidad Vocal; Control Vocal.

ABSTRACT

Background: Profound bilateral hearing loss when congenital prevents the typical development of speech and voice. This study evaluates certain acoustic parameters in order to determine their normality in the implanted population and the possibility of their use as an indirect method of implant examination. **Method:** A total of 32 children with severe-profound congenital bilateral hearing loss, implanted between the ages of 3 and 14, and 45 children with normal hearing, between 6 and 9 years, were studied. The variables median pitch, CPPS, F₁, F₂, *jitter rap*, and *shimmer apq5* were measured in isolated phonation exercise and a connected speech exercise for the phoneme /a/ using the PRAAT program. Student's T-test and Wilcoxon's test were applied. **Results:** Inter-group significant differences were obtained for all variables in connected speech, but not in isolated vowels. The population with hearing impairment showed some significant differences in the intra-group analysis. **Conclusions:** Early bilateral implantation allows the cochlear implant user to approximate their acoustic values to normative levels in terms of pitch, stability, quality, and articulatory precision.

Key words: Cochlear Implant; Vocal Production; Acoustic Analysis; Vocal Quality; Vocal Control.

GLOSARIO DE ABREVIATURAS

- AN: Audición normal
- CODEPEH: Comisión para la Detección Precoz de la Sordera Infantil
- CPPS: Pico Cepstral Suavizado
- CV: Cuerdas vocales
- dB: Decibelios
- F₀: Frecuencia fundamental
- F₁: Primer formante
- F₂: Segundo formante
- F₃: Tercer formante
- FIAPAS: Confederación Española de Familias de personas Sordas
- Fz: Tono
- HS: Hipoacusia
- HNR: *Harmonic to Noise Ratio*
- HUCA: Hospital Universitario Central de Asturias
- Hz: Hercios
- IAYTS: Instituto de Atención Temprana y Seguimiento de la Fundación Vinjoy
- IC: Implante Coclear
- OEA: Oto-Emisiones Acústicas
- OMS: Organización Mundial de la Salud
- OTOF: Mutación en el gen Otoferlina
- PADAI: Programa de Atención al Déficit Auditivo Infantil
- PEACTION: Potenciales Evocados del Tronco Cerebral
- RM: Resonancia Magnética
- SNC: Sistema Nervioso Central
- SPL: *Sound Pressure Level* (Nivel de presión sonora)
- TC: Tomografía Computarizada
- TCE: Traumatismo Cráneo-Encefálico
- TMF: Tiempo Máximo de Fonación
- UHI: Unidad de Hipoacusia Infantil
- VAM: Variabilidad de la amplitud
- VF₀: Variabilidad del tono.

INTRODUCCIÓN

1. Antecedentes.

1.1. Marco teórico

Es un hecho que la audición es un aspecto fundamental para una correcta adquisición del lenguaje. Los niños aprenden su lengua materna y desarrollan el conocimiento a través de la imitación de los modelos que se encuentran en su entorno, es decir, la familia.

Este aprendizaje atraviesa un periodo crítico durante los tres primeros años, en lo que los estímulos sonoros son clave para el correcto desarrollo de las conexiones nerviosas aferentes y de la corteza auditiva. (Benito y Silva, 2013)

Respecto a ello, Hickok y Poeppel realizaron una investigación en 2007 sobre el modelo de doble ruta, que establece que hay una vía ventral, que comprende estructuras superiores y medias del lóbulo temporal y que se relaciona con el procesamiento y reconocimiento del habla; y una dorsal que une la corteza premotora con dos áreas cerebrales: La corteza temporal y el área de Broca. La primera unión ya se presenta durante los primeros 6 meses y se encarga del proceso de retroalimentación auditiva; y la segunda se presenta alrededor de los 7 años y se relaciona con la elaboración de palabras y la ejecución motora. (Hickok y Poeppel., 2007; Moruno et al., 2016)

Por tanto, a lo largo de este periodo crítico, el niño con audición normal desarrolla una serie de habilidades de detección (reconocimiento) discriminación (distinción) y comprensión del sonido, así como de localización, atención y memoria auditivas (Ibañez y Muro., 2015).

En concreto, durante el primer año (etapa pre-lingüística), el bebé recoge, haciendo uso de estas habilidades, la información más superficial de su lengua y, poco a poco, se sensibiliza ante los aspectos suprasegmentales de la misma:

1. La intensidad o volumen de la voz es la amplitud de la onda sonora medida en decibelios, que depende de la fuerza ejercida y de la resistencia del medio a la vibración. En los niños su valor oscila, según Teixeira en su análisis sobre la acústica vocal, entre los 69,7 y los 78,9 dB (Teixeira et al., 2011) y su regulación depende de la presión subglótica generada por el soplo fonatorio.

2. El tono, frecuencia o altura de la voz es el número de ciclos glóticos que se producen por cada unidad de tiempo medido en hercios o Hertz (Hz). La frecuencia fundamental o F_0 es la onda sonora simple más baja y el resto de las frecuencias más complejas, múltiplos de esta, son los armónicos. Cuanto más baja es la frecuencia más largo es el ciclo vocal y más grave es la percepción del tono, y viceversa. Su regulación depende, además de la presión subglótica, de la tensión de las cuerdas vocales.

3. La resonancia es el efecto producido por el tracto vocal que, actuando como filtro, amplía o reduce determinados armónicos de la vibración de las cuerdas vocales durante el habla, con el propósito de definir sus formantes. De esta manera se configuran los diferentes patrones vocálicos y es posible diferenciarlos entre sí. (Cobeta et al., 2013)

4. El timbre está conformado por la configuración particular que cada persona tiene de su F_0 , a sus armónicos y sus formantes. Su regulación depende en gran medida de la morfología del aparato fonador, aunque también influyen la presión subglótica y la intensidad de vibración.

5. La duración depende de la cantidad de aire (soplo fonatorio) utilizada durante la fonación y de la velocidad con la que se desplaza dicho flujo.

El proceso de retroalimentación o *feedback* consiste, por tanto, en que el sistema nervioso central (SNC) envía un señal eferente como respuesta a los movimientos articulatorios del niño, que es posteriormente comparada con la percepción de la señal auditiva real que produce. En consecuencia, si se detecta una discrepancia entre los aspectos suprasegmentales de ambos, el sistema motor se adapta para reducirla y almacena dicho aprendizaje en la memoria. (Nuñez et al., 2019) Este proceso no tiene lugar en aquellos individuos que presentan un pérdida o ausencia total de la audición.

La hipoacusia (HS) es una discapacidad de carácter crónico y prevalente característica de aquellos usuarios con una pérdida de audición superior a los 20 decibelios.

Esta condición presenta una serie de factores de riesgo antecedentes que, tal y como establecen la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Comisión para la Detección Precoz de la Sordera Infantil (CODEPEH) son: el historial familiar, las anomalías estructurales, las infecciones intrauterinas (TORCH), las patologías de

carácter neonatal como la hiperbilirrubinemia, las infecciones perinatales, la displasia broncopulmonar, los síndromes asociados, los ototóxicos, las otitis recurrentes, la ventilación asistida, la meningitis bacteriana, las enfermedades neurodegenerativas y los TCE. (Constanza et al., 2016)

La clasificación de la hipoacusia se establece a partir de tres variables:

1. Según la localización pueden ser transmisivas, donde el trayecto del sonido se ve obstruido en algún punto desde el oído externo hasta el interno; neurosensoriales o de percepción, que presentan un daño en el oído interno (coclear) o el nervio auditivo (retro coclear); o mixtas.

2. Según el momento de la sordera pueden ser prelocutivas (0-3 años), o postlocutivas (3-4 años).

3. Según el grado de pérdida auditiva puede ser leve (de 20 a 40 dB), moderada (de 40 a 70 dB), severa (de 70 a 90 dB) o profunda (de más de 90 dB). (Monsalve., 2011)

Tomando en cuenta lo previamente expuesto, se hace evidente la necesidad de una detección precoz que permita la puesta en marcha de medidas terapéuticas. Por ello en los últimos 20 años se han desarrollado diversos protocolos de cribado neonatal para la hipoacusia como el Programa de Atención al Déficit Auditivo (PADAI) del Principado de Asturias. En él, desde 2002, se lleva a cabo un proceso de detección, tratamiento y rehabilitación de estos niños, con el fin de garantizar su desarrollo integral y asegurar una vida adulta independiente.

El procedimiento inicia en la unidad de cribado donde se somete al recién nacido con y sin factores de riesgo a pruebas de otoemisiones acústicas (OEA) y, en el caso de los primeros, potenciales evocados del tronco cerebral (PEATC). Atendiendo a las respuestas recogidas puede descartarse la patología y, por tanto, abandonar el circuito o repetir las evaluaciones a lo largo de los 3 primeros meses y, en caso continuar presentando alteraciones, confirmar un diagnóstico antes de los 6 meses. Esta decisión corre a cargo la unidad de hipoacusia infantil (UHI) compuesta por otorrinolaringólogos, pediatras, foniatras y la unidad de genética; y que se apoya en una serie de pruebas audiológicas, genéticas y de competencia comunicativa.

Es muy importante que, junto a la detección precoz, se inicie de forma inmediata un proceso terapéutico de estimulación sensorial y protesización con el fin de compensar el déficit inicial y obtener los mejores resultados. Dicho tratamiento, que inicia en la UHI, es de carácter médico-quirúrgico y foniátrico. A su vez el instituto de atención temprana y seguimiento de la Fundación Padre Vinjoy de Asturias (IAYTS) complementa el proceso con intervención logopédica; gestión, valoración y adaptación de prótesis; estimulación en unidades de atención temprana y tratamiento psicológico. Es crucial mantener un seguimiento de la evolución durante todo el programa y ofrecer asesoramiento constante a las familias. (Prieto et al., 2015)

El implante coclear (IC) es un dispositivo electrónico utilizado en aquellos niños que cuentan con una hipoacusia neurosensorial bilateral severa o profunda y que obtienen mínimos o ningún beneficio de los audífonos tras un periodo de prueba de 3 a 6 meses.

Para iniciar el proceso de protesización se deben realizar, previamente, una serie de estudios de imagen (resonancia magnética (RM) y tomografía computarizada (TC)) que aseguren la posibilidad de insertar los componentes de la prótesis y una evaluación psicológica, pediátrica y neurológica que garantice sus beneficios. (Manrique et al, 2017)

Esta implantación se hace vía quirúrgica y el dispositivo consta de:

1. Una parte externa compuesta por un micrófono que capta los sonidos del ambiente de igual forma que el pabellón auditivo, un procesador que los selecciona y organiza y un transmisor y receptor que los recibe y transforma en impulsos eléctricos.

2. Una parte interna conformada por una cadena de electrodos implantados en la cóclea que recogen esos impulsos eléctricos y que los envían al nervio auditivo. Todo este funcionamiento depende de una batería externa que le proporciona energía al mecanismo.

Aproximadamente un mes después de la cirugía se procede a la programación del implante, es decir, el ajuste de los parámetros mediante los cuales el dispositivo analiza y transforma la señal acústica en eléctrica. Para ello se determina la estrategia y se elabora un mapa auditivo, almacenado en el procesador, que comprende tanto el umbral de estimulación eléctrica (cantidad mínima de estimulación detectable) como el

de confort en cada caso. En la población infantil este proceso es largo y complejo, con sesiones repetitivas y numerosas pruebas audiométricas para ajustar ambas variables, así como aquellos parámetros que influyen en la intensidad de la señal: El rango dinámico, la sensibilidad, el volumen y la tasa de estimulación, entre otros. (Banda et al., 2017)

1.2. Estado de la cuestión.

Tras su primera aparición en 1957 en Francia, este procedimiento se ha ido convirtiendo en la técnica de mayor uso para tratar las hipoacusias profundas. Su efectividad a la hora de compensar el déficit y restaurar un *feedback* auditivo que haga posible una mejora en la calidad de voz de estos pacientes, ha sido motivo de estudio durante los últimos 50 años. Para establecer un marco conceptual del estado de la cuestión, en este trabajo se han seleccionado diez estudios, expuestos a continuación:

1. Steven Leder *et al* realizaron varios estudios acerca del efecto del IC sobre el tono (Fz), la intensidad (dB) y la duración (s) de la voz en una población de 9 adultos con hipoacusia profunda. Tres años después evaluaron sus efectos a largo plazo, hasta un año después de la activación, y lo compararon con un grupo control de audición normal. (Leder et al., 1987; Leder et al., 1990)

2. Perkell *et al* añadió a su valoración los dos primeros formantes (F₁, F₂), los índices de apertura glótica (H1-H2) y el nivel de presión sonora (SPL) en una población de 4 adultos con cofosis e implantación postlocutiva. Ese mismo año reanudaron el estudio con tres de los participantes para evaluar los efectos a corto plazo resultantes de encender y apagar el procesador. (Perkell et al., 1992; Svirsky et al., 1992)

3. Campisi *et al* analizaron a 14 niños implantados prelocutivamente de entre 3 y 11,5 años con cofosis, en su mayoría, congénita, y estudiaron el efecto del implante en F₀, intensidad, *jitter*, *shimmer* y los primeros tres formantes para vocales sostenidas.

4. En el estudio longitudinal de Evans y Deliyski se realizó un análisis acústico similar en 3 adultos implantados prelocutivamente y se comparó con los valores de tres sujetos con audición normal. (Evans y Delyski, 2006)

5. Peng et al estudiaron y compararon un grupo de 26 sujetos de entre 7 y 20 años con sordera prelocutiva e implante coclear con otro de 17 sujetos de entre 6 y 19 con audición normal en lectura de oraciones. (Peng et al., 2008)

6. Dehqan et al comparó el *jitter*, el *shimmer* y el ruido interarmónico (HNR) entre 15 niños iraníes con hipoacusia profunda bilateral sin implante y otros 15 de audición normal. (Dehqan et al., 2010)

7. Eksander et al estudiaron el *jitter*, *shimmer*, vF_0 y vAM en 16 niños implantados unilateralmente durante la emisión sostenida de vocales y lo compararon con un grupo control. (Eksander et al., 2014)

8. Lee et al estudiaron el efecto lombard en 6 adultos implantados con sordera post-locutiva en un ejercicio de discurso espontáneo en un colegio. (Lee et al., 2017)

9. Nuñez et al estudiaron el primer, segundo y tercer formante en la producción vocal en de 25 niños con sordera bilateral profunda prelocutiva y lo compararon con un grupo control de 47 niños (5-7 años) y uno de 31 niños con sordera profunda y audífonos. (Nuñez et al., 2019)

10. En 2023 Ranjan et al estudiaron a 3 poblaciones infantiles de entre 3 y 4 años con IC, con audífonos y con audición normal, y evaluaron su F_0 , *jitter* y *shimmer*. (Ranjan et al., 2023)

Esta literatura, desde finales de los años ochenta hasta la actualidad, arroja numerosos datos acerca del comportamiento vocal de los niños con IC antes y después de su activación. Sin embargo, no hay un consenso establecido que permita asegurar la actitud vocal de esta población.

Las investigaciones parecen coincidir en que los usuarios con hipoacusia presentan un tono e intensidad superiores a los normativos que se reducirían con la activación del implante, aunque el tiempo transcurrido para percibir cambios en la voz y su estabilidad en el tiempo es muy variable de unos estudios a otros. No obstante, hay quienes niegan este hecho y establecen, en base a sus resultados, que no hay cambios relevantes o que, de haberlos, se dirigen hacia valores más altos que los iniciales.

También existen discrepancias evidentes en cuanto a la perturbación de estos parámetros: Mientras unos estudios aseguran disminuciones tras la implantación, otros mantienen que no se aprecian diferencias significativas. Algunos, incluso, establecen que no hay diferencias previas a la colocación del implante.

En cuanto a los primeros formantes, que en la población implantada no parecen perceptivamente diversos, hay concordancia en la comunidad científica acerca de la

efectividad del implante a la hora de generar cambios en ellos, que se traduce en una disminución del primero y aumento del segundo.

También es de relevancia destacar otros parámetros relacionados, como la duración e intensidad del habla, el SPL y el HNR. En cuanto a ellos, la literatura coincide en que la duración del habla y el SPL son variables inicialmente elevadas que, con el implante, se reducen considerablemente. El HNR, en cambio, se muestra previamente elevado en algunos estudios y en otros se encuentra por debajo de la media normativa.

Un parámetro que ha sido menos estudiado y que adquiere gran importancia en este trabajo es el pico cepstral suavizado, que se ha posicionado como una prueba eficaz para la evaluación de la calidad vocal (Delgado-Hernández et al., 2017), generalmente mayor en la población con audición normal.

2. Problema.

La audiometría tonal es un método exploratorio de la audición utilizado para evaluar los umbrales auditivos. En las personas con implante esta prueba representa una evidencia a corto plazo de la eficacia de la prótesis. Sin embargo, si se pretende evaluar la efectividad a medio y largo plazo del implante coclear en la restauración de los mecanismos de control de la producción del habla y la voz se puede recurrir al estudio de otros parámetros como los que se analizan en el presente trabajo de fin de grado.

Tomando en consideración la importancia de un seguimiento de esta población a lo largo de todo su ciclo vital, conocer y controlar estos indicadores permitiría una sencilla comprobación del correcto funcionamiento del implante o de la necesidad de un ajuste en su programación.

La logopedia ejerce una importante labor en la fase terapéutica de los programas de rehabilitación de la población implantada, incidiendo en los aspectos comunicativos del lenguaje, el habla y la voz. Sin embargo, como profesionales, también es esencial estar presente en el ámbito de la investigación combinando nuestros conocimientos con otras disciplinas científicas con el fin de progresar en la búsqueda de la mejor calidad de vida posible.

3. Objetivos e hipótesis.

El objetivo principal de este proyecto es constatar si el implante coclear permite a la población con hipoacusia neurosensorial prelocutiva acercarse, mediante la

restauración del *feedback* auditivo, los valores acústicos de su voz en términos de tono, estabilidad, calidad y precisión articulatoria, a los niveles de la población normativa.

Incluidos, por tanto, quedan los siguientes objetivos individuales:

- a) Realizar un análisis acústico vocal general.
- b) Realizar un análisis acústico vocal específico del CPPS y los primeros formantes de la vocal /a/.

El cumplimiento de estos permitirá comprobar la hipótesis de que la población pediátrica con sordera profunda e implante coclear bilateral precoz presenta unos valores acústicos de la voz similares a los de la población con audición normal gracias a la restauración de los mecanismos de control de la producción de la voz proporcionada por el dispositivo.

METODOLOGÍA

Con el fin de llevar a cabo un estudio exhaustivo acerca de la trayectoria de las investigaciones sobre el efecto de los implantes cocleares en el restablecimiento del *feedback* auditivo, se realizó una búsqueda bibliográfica en los buscadores de “Dialnet”, “Google académico” y “Pubmed”, con los términos “IC”, “*auditory feedback*”, “*voice effects*” y “*acoustic parameters*”.

El presente estudio pretende analizar y comparar la calidad vocal de un grupo de 38 niños de entre 5 y 14 años con hipoacusia neurosensorial bilateral prelocutiva con la de un grupo control de 36 niños de 5-6 años (n_1) y 29 de 7-9 años (n_2). Ambos grupos fueron seleccionados de forma no probabilística.

Las grabaciones del grupo control se llevaron a cabo en dos colegios públicos de la localidad de Gijón, el C.P. Montevil y el C.P Nicanor Piñole, en los meses de diciembre de 2023 y enero de 2024. Para ello se solicitó un consentimiento informado a los padres en conjunto con la aprobación del comité de ética del HUCA (Código CEImPA:2021.278), y se asignó un código identificador a cada sujeto, para preservar su privacidad.

Como criterios de inclusión se exigió que los participantes no tuviesen un historial médico ni familiar de alteraciones auditivas ni de la voz para evitar sesgos poblacionales.

Las sesiones se realizaron en un aula pequeña, con las ventanas y la puerta cerradas procurando minimizar la contaminación acústica propia del centro. Se utilizó una grabadora SONY ICD-BX700 posicionada a escasos centímetros de la boca y en un ángulo aproximado de 45°.

Los ejercicios registrados fueron los siguientes:

- Decir las palabras “más” y “paz”, y las palabras “rata” y “lata”.
- Emitir los fonemas /a/, /e/, /i/, /o/ y /u/
- Sostener el fonema /e/ durante 3 segundos aproximadamente
- El cronometraje del tiempo máximo de fonación (TMF) para los fonemas /a/ y /s/.

Las grabaciones del grupo del grupo de niños sordos prelocutivos con IC fueron proporcionadas por el servicio de hipoacusia infantil del HUCA y, de la misma manera, se asignó el código identificador. En este caso, los ejercicios grabados fueron los siguientes:

- Emitir los fonemas /a/, /e/, /i/, /o/ y /u/ de forma sostenida.
- Decir las palabras “lápiz”, “bufanda”, “piedra” o “piedrita”, “tambor” y “mosquito”.

Una vez recogidas todas las muestras, se realizó un cribado para descartar aquellas que presentaban fallos o estaban incompletas. De los 65 sujetos iniciales del grupo control 19 quedaron descartados: 17 por cortes, 1 por rotacismo y 1 por volumen de sonido deficiente; quedando como población final $n_1= 25$ y $n_2= 22$. Por otro lado, de los 38 sujetos del grupo de IC, se descartaron 6 por haber pasado por el proceso de muda vocal y uno por volumen de sonido deficiente.

Por tanto, el grupo de IC a estudiar está formado por 23 niños y 15 niñas con un rango de edad cronológica entre los 4-12 años y los 3-14 años. Todos ellos fueron implantados de manera temprana bilateralmente, han adquirido como lengua materna la oral y no presentan enfermedades médicas asociadas según los informes médicos.

Los criterios de selección de la muestra con IC fueron cuatro: edad cronológica (de los 3 a los 14 años) hipoacusia profunda bilateral, edad de implantación y adaptación al IC (entre los nueve meses y los cuatro años y diez meses). También fue requisito que tuvieran un umbral mínimo medio de 40 dB tras la implantación, con confirmación audiométrica a campo libre y un tiempo medio diario de uso del procesador de al menos 12 horas.

A continuación, se recogen en una tabla los participantes seleccionados tras la criba:

Tabla 1
Lista de la población con implante coclear.

Nº	Edad de implantación	Causa de la sordera
IC1	2 años	Genética
IC2	5 años	Acueducto vestibular dilatado
IC3	2 años	Genética: Conexina-26
IC4	16 meses	Genética

IC5	3 años	Genetica
IC6	5 años	Desconocida
IC7	1 año	Genetica
IC8	2,5 años	Hipoxia perinatal aguda
IC9	2 años	Genetica
IC10	1 años	Hipoxia perinatal aguda
IC11	1 año	Genetica
IC12	1 año	Genetica
IC13	2 años	Genetica
IC14	1 año	Genetica
IC15	1 año	Genetica: Padres sordos
IC16	4 años	Acueducto vestibular dilatado
IC17	1 año	Hipoxia perinatal aguda
IC18	1 año	Genetica
IC19	2,5 años	Genetica
IC20	2 años	Desconocida
IC21	1 año	Genetica: Madre sorda profunda
IC22	1 año	Genetica: Síndrome de Baandenburg
IC24	1 año	Genetica
IC25	1,5 años	Genética
IC26	6 años	Acueducto vestibular dilatado
IC27	1 año	Genetica
IC28	3 años	Desconocida
IC31	1 año	Rubeola
IC32	1 año	Hiperbilirrubinemia
IC35	2 años	Genética
IC36	1 año	Genética
IC38	1,5 años	Genética: Parientes OTOF

De todos los ejercicios obtenidos para ambas poblaciones, solo se llevó a cabo el análisis del fonema /a/ tanto de forma sostenida y aislada como de dentro de la palabra, ya que, de acuerdo con Campisi en 2005, se considera una vocal sencilla de producir y que forma parte del repertorio habitual de la población pediátrica. (Campisi et al., 2005)

Por otro lado, este estudio forma parte de una línea de investigación dirigida por el servicio de otorrino del HUCA y, en concreto, de su servicio de hipoacusia infantil para la que se ha aportado la recogida de datos, y se ha procurado acotar su contenido al plazo reglamentario establecido por la Universidad de Oviedo.

El hecho de no estudiar por separado los sexos masculino y femenino se basa en que la diferencia en la frecuencia fundamental (F_0) entre los mismos es estadísticamente significativa a partir de los 12 años de edad por lo que se asume que no existe un dimorfismo sexual de la laringe en la infancia. (Lee et al., 1999)

El análisis acústico de las muestras se llevó a cabo con el programa informático PRAAT (versión 6.04.01), desarrollado por Paul Boersma y David Weenik de la Universidad de Amsterdam. Es de libre distribución y de código abierto, y permite realizar análisis acústicos y síntesis articulatorios. (Vilches et al., 2017)

Por un lado, se analizaron los siguientes parámetros acústicos: *Median pitch*, *jitter*, *shimmer*, F_1 y F_2 . Para ello:

1. Una vez abierto el programa, se seleccionan las pestañas “*open*” y “*read from file*” de la ventana “*praat objects*” y se escoge la muestra de audio a analizar.
2. Se selecciona la pestaña “*view & edit*” y el programa abre la muestra audio junto a su espectrograma. Antes de continuar se debe ajustar la configuración del espectrograma en “*spectrogram*” y “*spectrogram settings*” a 0.045 de “*window length*”.
3. Se selecciona la porción más estable de la emisión vocal a estudiar.
4. Para el *Mean pitch*, el *jitter*, el *shimmer* y el *harmonic to noise ratio* se selecciona “*pulses*” y “*voice report*”; y para los dos primeros formantes, “*formant*” y “*get first formant*” o “*get second formant*”. Los datos objetivo aparecen en la ventana “*Praat info*”.

Por otro lado, se analizó el pico cepstral suavizado (CPPS). Para ello:

1. Se siguen los pasos anteriores hasta abrir la muestra de voz junto al espectrograma. Entonces se hace una limpieza para eliminar el ruido ambiental de la grabación, seleccionando la porción a desechar, después “*Edit*” y finalmente “*Cut*”. Este cambio queda automáticamente guardado en la ventana de “*Praat objects*”.
2. Se selecciona la grabación en la ventana izquierda y, posteriormente, “*Analyse periodicity*”, “*To powerCepstrogram*” y “*Ok*”. De esta forma se genera una nueva grabación con el prefijo “*Power to cepstral*”.

3. Se selecciona la nueva grabación y, después, “*Query*”, “*Get CPPS*” y “*Ok*”. El valor objetivo aparece en la pestaña “*Praat info*”.

Todos los datos recogidos se cargaron y organizaron en el programa Microsoft Excel para Windows. Posteriormente, se llevó a cabo un análisis descriptivo de las variables de interés, proporcionando distribuciones de frecuencias absolutas y relativas (%) para variables cualitativas y medidas de posición y dispersión para variables cuantitativas. Se compararon variables numéricas entre los dos grupos a través del test t de Student o del test de Wilcoxon para muestras independientes, en función del cumplimiento o no de la hipótesis de normalidad. Las diferencias, dentro de cada grupo, de la variable aislada y dentro de la palabra, se valoraron con el test t de Student para muestras pareadas. El nivel de significación empleado fue 0.05. El análisis estadístico se efectuó mediante el programa R (R Development Core Team), versión 4.3.1.

Para este apartado se recibió apoyo del Departamento de Consultoría Estadística de la Universidad de Oviedo.

RESULTADOS

1. Análisis intergrupar.

1.1. Análisis acústico de la vocal sostenida: comparación entre grupo control y grupo implantado coclear.

Frecuencia fundamental: Considerando el suficiente tamaño de muestra, que no se rechaza la hipótesis de normalidad en todas las modalidades (test de Shapiro-Wilk, IC, p-valor = 0.432) y que no se rechaza la hipótesis de igualdad de las dos varianzas poblacionales (test F de varianzas, p-valor = 0.747), se obtiene que no se rechaza la hipótesis de igualdad de medias poblacionales (test t de Student, p-valor = 0.817). No existen diferencias significativas entre el grupo normativo y el grupo implantado coclear.

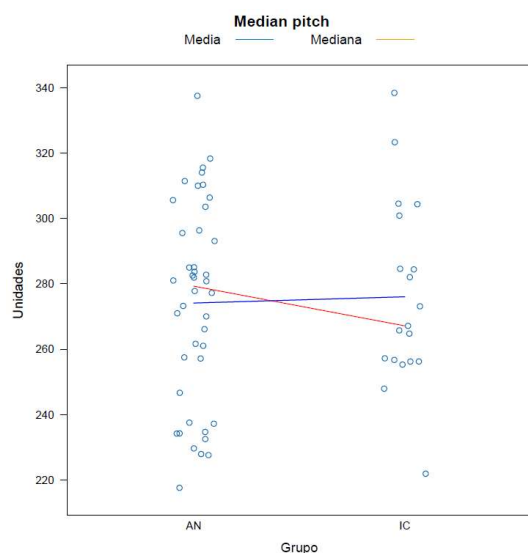


Ilustración 1. Resultados de la variable *median pitch* en la vocal aislada.

Tabla 2

Resultados de la variable median pitch en la vocal aislada.

	N	Media	Mediana	D.T.	P25	P75
AN	42	274,11	279,28	30,66	249,26	296,13
IC	19	276,03	267,13	28,40	256,47	292,72

Nota: AN: Audición normal; IC: Implante coclear; N: Número; D.T: Desviación típica.

Perturbación en la frecuencia (*Jitter rap*): Considerando el suficiente tamaño de muestra y el resultado del test de normalidad (test de Shapiro-Wilk, IC, p-valor=0.002),

se obtiene que se rechaza la hipótesis de que los promedios sean iguales (test de Wilcoxon, p-valor=0.002). Se detectan diferencias significativas entre los grupos considerados.

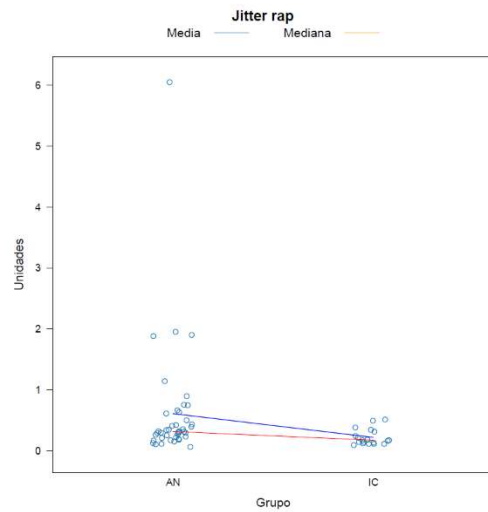


Ilustración 2. Resultados de la variable *jitter rap* en la vocal aislada.

Tabla 3

Resultados de la variable Jitter rap en la vocal aislada.

	N	Media	Mediana	D.T.	P25	P75
AN	42	0,61	0,31	0,98	0,22	0,58
IC	19	0,22	0,17	0,13	0,12	0,28

Nota: AN: Audición normal; IC: Implante coclear; N: Número; D.T: Desviación típica.

Perturbación en la amplitud (*Shimmer apq5*): Considerando el suficiente tamaño de muestra y el resultado del test de normalidad (test de Shapiro-Wilk, IC, p-valor = 0.005), se obtiene que se rechaza la hipótesis de que los promedios sean iguales (test de Wilcoxon, p-valor < 0.001). Se detectan diferencias significativas entre los grupos considerados.

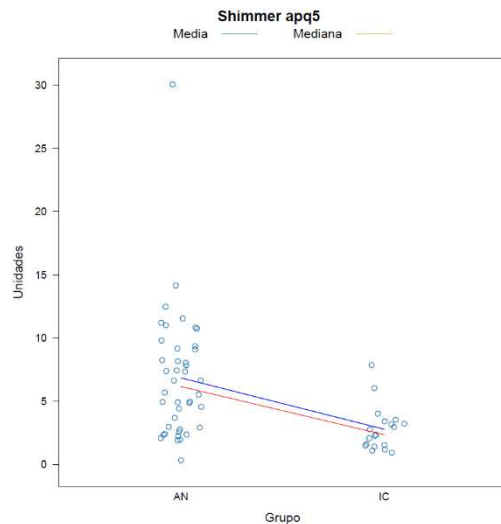


Ilustración 3. Resultados de la variable *shimmer apq5* en la vocal aislada.

Tabla 4

Resultados de la variable shimmer apq5 en la vocal aislada.

	N	Media	Mediana	D.T.	P25	P75
AN	42	6,84	6,15	5,05	2,93	9,14
IC	19	2,78	2,35	1,76	1,50	3,31

Nota: AN: Audición normal; IC: Implante coclear; N: Número; D.T: Desviación típica.

Pico cepstral suavizado (CPPS): Considerando el suficiente tamaño de muestra y el resultado del test de normalidad (test de Shapiro-Wilk, IC, p-valor=0.005), se obtiene que se rechaza la hipótesis de que los promedios sean iguales (test de Wilcoxon, p-valor<0.001). Se detectan diferencias significativas entre los grupos considerados.

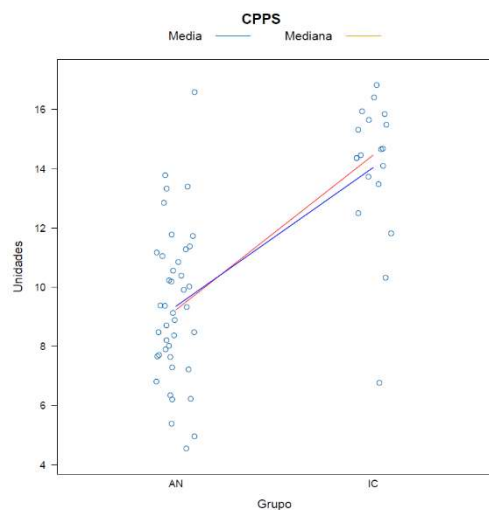


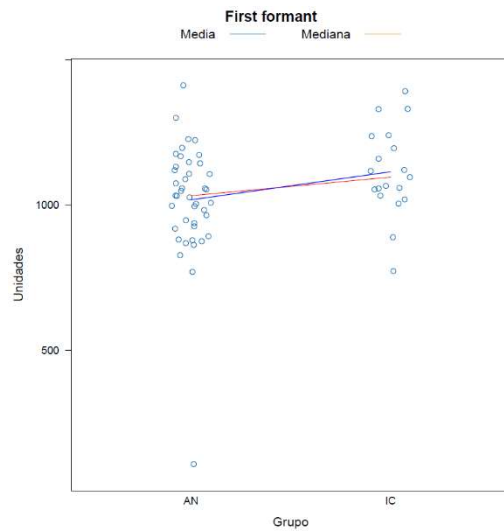
Ilustración 4. Resultados de la variable CPPS en la vocal aislada.

Tabla 5*Resultados de la variable CPPS en la vocal aislada.*

	N	Media	Mediana	D.T.	P25	P75
AN	42	9,35	9,23	2,56	7,67	11,00
IC	19	14,04	14,46	2,38	13,61	15,57

Nota: AN: Audición normal; IC: Implante coclear; N: Número; D.T: Desviación típica.

Primer formante de la vocal /a/: Considerando el suficiente tamaño de muestra, que no se rechaza la hipótesis de normalidad en todas las modalidades (test de Shapiro-Wilk, IC, p-valor = 0.716) y que no se rechaza la hipótesis de igualdad de las dos varianzas poblacionales (test F de varianzas, p-valor = 0.24), se obtiene que no se rechaza la hipótesis de igualdad de medias poblacionales (test t de Student, p-valor = 0.064). Los grupos no presentan diferencias significativas.

**Ilustración 5. Resultados de la variable F_1 en la vocal aislada.****Tabla 6***Resultados de la variable F_1 en la vocal aislada.*

	N	Media	Mediana	D.T.	P25	P75
AN	42	1017,80	1031,94	196,84	929,48	1128,77
IC	19	1114,18	1095,82	152,27	1042,86	1216,07

Nota: AN: Audición normal; IC: Implante coclear; N: Número; D.T: Desviación típica.

Segundo formante de la vocal /a/. Considerando el suficiente tamaño de muestra, que no se rechaza la hipótesis de normalidad en todas las modalidades (test de Shapiro-Wilk, IC, p-valor = 0.115) y que no se rechaza la hipótesis de igualdad de las dos varianzas poblacionales (test F de varianzas, p-valor = 0.764), se obtiene que no se rechaza la hipótesis de igualdad de medias poblacionales (test t de Student, p-valor = 0.512). Los grupos no presentan diferencias significativas.

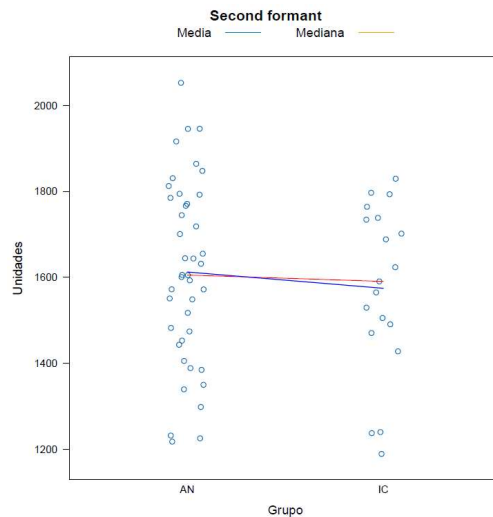


Ilustración 6. Resultados de la variable F_2 en la vocal aislada.

Tabla 7

Resultados de la variable F_2 en la vocal aislada.

	N	Media	Mediana	D.T.	P25	P75
AN	42	1612,44	1605,37	212,20	1458,20	1781,34
IC	19	1574,53	1590,50	197,51	1480,62	1736,23

Nota: AN: Audición normal; IC: Implante coclear; N: Número; D.T: Desviación típica.

1.2. Análisis acústico de la vocal extraída de la palabra: comparación entre grupo control y grupo implantado coclear.

Frecuencia fundamental. Considerando el suficiente tamaño de muestra, que no se rechaza la hipótesis de normalidad en todas las modalidades (test de Shapiro- Wilk, IC, p-valor=0.16) y que se rechaza la hipótesis de igualdad de las dos varianzas poblacionales (test F de varianzas, p-valor=0.002), se obtiene que se rechaza la hipótesis de igualdad de medias poblacionales (test de Welch, p-valor = 0.011). Los grupos tienen comportamientos diferentes.

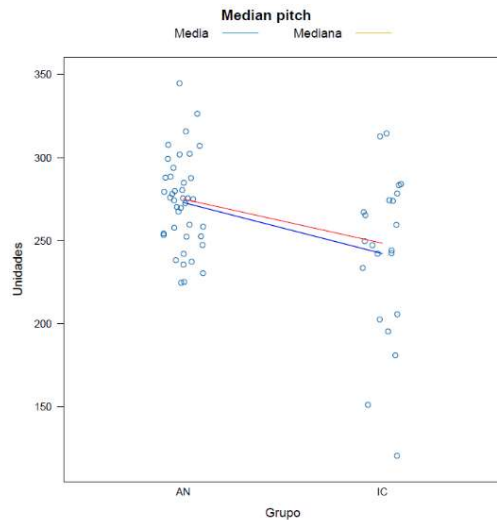


Ilustración 7. Resultados de la variable median pitch en el habla conectada.

Tabla 8

Resultados de la variable median pitch en el habla conectada.

	N	Media	Mediana	D.T.	P25	P75
AN	42	272,94	275,04	27,45	253,42	287,91
IC	19	242,24	248,48	49,04	212,70	274,17

Nota: AN: Audición normal; IC: Implante coclear; N: Número; D.T: Desviación típica.

Perturbación en la frecuencia (*Jitter rap*). Considerando el suficiente tamaño de muestra y el resultado del test de normalidad (test de Shapiro-Wilk, IC, p-valor < 0.001), se obtiene que no se rechaza la hipótesis de que los promedios sean iguales (test de Wilcoxon, p-valor = 0.925). Los grupos tienen comportamientos diferentes.

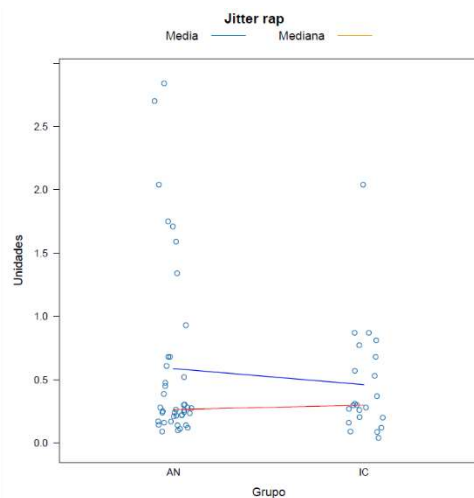


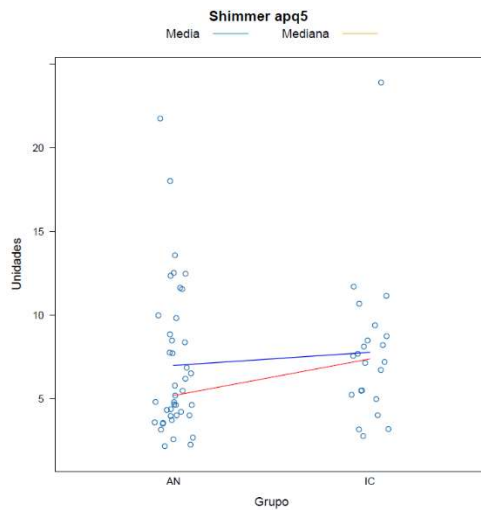
Ilustración 8. Resultados de la variable jitter rap en el habla conectada.

Tabla 9*Resultados de la variable jitter rap en el habla conectada.*

	N	Media	Mediana	D.T.	P25	P75
AN	42	0,59	0,26	0,71	0,21	0,61
IC	19	0,46	0,30	0,44	0,20	0,65

Nota: AN: Audición normal; IC: Implante coclear; N: Número; D.T: Desviación típica.

Perturbación en la amplitud (*Shimmer apq5*). Considerando el suficiente tamaño de muestra y el resultado del test de normalidad (test de Shapiro-Wilk, IC, p-valor < 0.001), se obtiene que no se rechaza la hipótesis de que los promedios sean iguales (test de Wilcoxon, p-valor = 0.27). Los grupos tienen comportamientos diferentes.

**Ilustración 9. Resultados de la variable shimmer apq5 en el habla conectada.****Tabla 10***Resultados de la variable shimmer apq5 en el habla conectada.*

	N	Media	Mediana	D.T.	P25	P75
AN	42	6,99	5,19	4,38	4,01	8,85
IC	19	7,77	7,38	4,40	5,30	8,68

Nota: AN: Audición normal; IC: Implante coclear; N: Número; D.T: Desviación típica.

Pico cepstral suavizado (CPPS). Considerando el suficiente tamaño de muestra, que no se rechaza la hipótesis de normalidad en todas las modalidades (test de Shapiro-Wilk, IC, p-valor = 0.208) y que no se rechaza la hipótesis de igualdad de las dos varianzas poblacionales (test F de varianzas, p-valor = 0.753), se obtiene que se rechaza la hipótesis de igualdad de medias poblacionales (test t de Student, p-valor = 0.003). Los grupos tienen comportamientos diferentes.

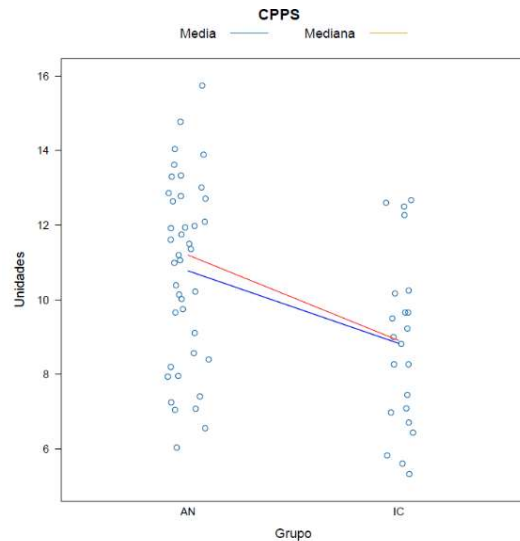


Ilustración 10. Resultados de la variable CPPS en el habla conectada.

Tabla 11

Resultados de la variable CPPS en el habla la conectada.

	N	Media	Mediana	D.T.	P25	P75
AN	42	10,78	11,20	2,46	8,57	12,71
IC	19	8,83	8,91	2,30	7,01	10,04

Nota: AN: Audición normal; IC: Implante coclear; N: Número; D.T: Desviación típica.

Primer formante de la vocal /a/. Considerando el suficiente tamaño de muestra y el resultado del test de normalidad (test de Shapiro-Wilk, IC, p-valor = 0.04), se obtiene que se rechaza la hipótesis de que los promedios sean iguales (test de Wilcoxon, p-valor < 0.001). Se detectan diferencias significativas entre los grupos considerados.

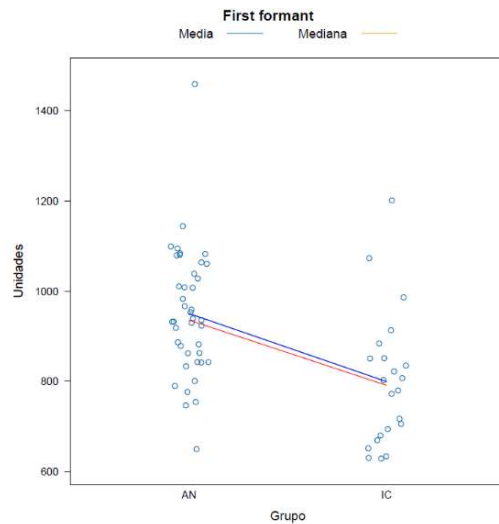


Ilustración 11. Resultados de la variable F1 en el habla conectada.

Tabla 12

Resultados de la variable F₁ en el habla conectada.

	N	Media	Mediana	D.T.	P25	P75
AN	42	950,47	935,94	140,25	862,62	1038,62
IC	19	799,77	791,55	148,61	683,86	851,34

Nota: AN: Audición normal; IC: Implante coclear; N: Número; D.T: Desviación típica.

Segundo formante de la vocal /a/. Considerando el suficiente tamaño de muestra, que no se rechaza la hipótesis de normalidad en todas las modalidades (test de Shapiro-Wilk, IC, p-valor=0.735) y que no se rechaza la hipótesis de igualdad de las dos varianzas poblacionales (test F de varianzas, p-valor=0.603), se obtiene que se rechaza la hipótesis de igualdad de medias poblacionales (test t de Student, p-valor=0.005). Los grupos tienen comportamientos diferentes.

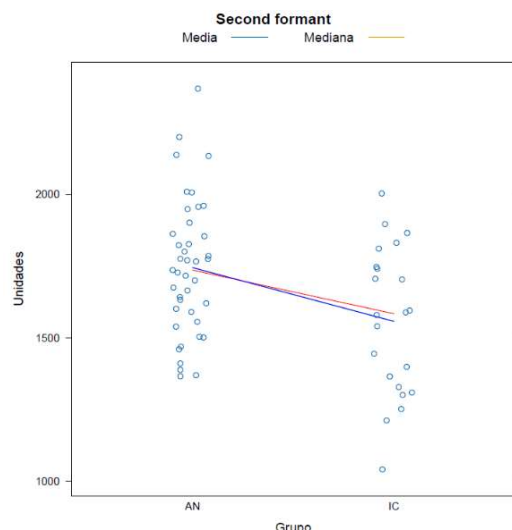


Ilustración 12. Resultados de la variable F₂ en el habla conectada.

Tabla 13

Resultados de la variable F₂ en el habla conectada.

	N	Media	Mediana	D.T.	P25	P75
AN	42	1744,30	1735,73	235,74	1589,45	1862,11
IC	19	1556,66	1583,45	258,32	1336,47	1744,83

Nota: AN: Audición normal; IC: Implante coclear; N: Número; D.T: Desviación típica.

2. Análisis intra-grupo.

2.1. Comparación de los parámetros entre vocal aislada y vocal extraída en el grupo implantado coclear.

Frecuencia fundamental. La prueba realizada indica que no existen diferencias entre las variables (test t de Suden, p-valor=0.06).

Tabla 14

Resultados de la variable median pitch en el análisis del grupo de IC.

	N	Media	Mediana	D.T.	P25	P75
Median pitch dentro	9	230,575	244,118	54,076	195,410	273,940
Median pitch aislada	9	266,704	265,740	11,758	256,700	273,110
Diferencia	9	-36,130	-14,067	50,342	-71,720	-6,010

Nota: N: Número; D.T: Desviación típica.

Perturbación en la frecuencia (*Jitter rap*). La prueba realizada indica que no existen diferencias entre las variables (test t de Student, p-valor=0.26).

Tabla 15

Resultados del análisis de la variable jitter rap en el grupo de IC.

	N	Media	Mediana	D.T.	P25	P75
<i>Jitter rap</i> dentro	9	0,361	0,297	0,231	0,269	0,370
<i>Jitter rap</i> aislada	9	0,233	0,170	0,140	0,110	0,340
Diferencia	9	0,127	0,130	0,130	-0,060	0,200

Nota: N: Número; D.T: Desviación típica.

Perturbación en la amplitud (*Shimmer apq5*). La prueba realizada indica que existen diferencias entre las variables (test t de Student, p-valor=0.04).

Tabla 16

Resultados de la variable shimmer apq5 del grupo de IC.

	N	Media	Mediana	D.T.	P25	P75
<i>Shimmer apq5</i> dentro	9	9,039	8,480	6,165	5,480	9,390
<i>Shimmer apq5</i> aislada	9	3,132	2,950	1,954	2,070	3,220
Diferencia	9	5,907	5,210	7,019	2,280	8,300

Nota: N: Número; D.T: Desviación típica.

Pico cepstral suavizado (CPPS). La prueba realizada indica que existen diferencias entre las variables (test t de Student, p-valor<0.001).

Tabla 17

Resultados de la variable CPPS del grupo de IC.

	N	Media	Mediana	D.T.	P25	P75
CPPS dentro	9	8,308	9,230	1,778	6,710	9,660
CPPS aislada	9	13,797	14,360	3,028	13,730	15,490
Diferencia	9	-5,489	-4,700	3,582	-7,950	-3,850

Nota: N: Número; D.T: Desviación típica.

Primer formante de la vocal /a/. La prueba realizada indica que existen diferencias entre las variables (test t de Student, p-valor<0.001).

Tabla 19

Resultados de la variable F₁ del grupo de IC.

	N	Media	Mediana	D.T.	P25	P75
<i>First formant</i> dentro	9	806,868	822,090	100,221	779,950	850,910
<i>First formant</i> aislada	9	1077,254	1056,980	60,567	1032,110	1116,990
Diferencia	9	-270,387	-294,900	115,720	-344,400	-244,340

Nota: N: Número; D.T: Desviación típica.

Segundo formante de la vocal /a/. La prueba realizada indica que no existen diferencias entre las variables (test t de Student, p-valor=0.78).

Tabla 20

Resultados de la variable F₂ del grupo de IC.

	N	Media	Mediana	D.T.	P25	P75
<i>Second formant</i> dentro	9	1631,609	1594,710	275,250	1327,200	1865,400
<i>Second formant</i> aislada	9	1593,324	214,661	214,661	1470,480	1793,260
Diferencia	9	38,284	-159,390	403,667	-198,550	245,630

Nota: N: Número; D.T: Desviación típica.

2.2. Comparación de los parámetros entre vocal aislada y vocal extraída en el grupo normativo.

Frecuencia fundamental. La prueba realizada indica que no existen diferencias entre las variables (test t de Student, p-valor=0.72).

Tabla 21

Resultados de la variable median pitch del grupo de AN.

	N	Media	Mediana	D.T.	P25	P75
<i>Median pitch</i> dentro	41	272,944	274,038	27,453	253,420	287,906
<i>Median pitch</i> aislada	41	274,300	280,783	31,011	246,633	296,332
Diferencia	41	-1,356	-2,937	23,940	-13,190	10,837

Nota: N: Número; D.T: Desviación típica.

Perturbación en la frecuencia (*Jitter rap*). La prueba realizada indica que no existen diferencias entre las variables (test t de Student, p-valor=0.95).

Tabla 22

Resultados de la variable jitter rap del grupo de AN.

	N	Media	Mediana	D.T.	P25	P75
<i>Jitter rap</i> dentro	41	0,587	0,264	0,706	0,210	0,608
<i>Jitter rap</i> aislada	41	0,575	0,310	0,966	0,216	0,498
Diferencia	41	0,012	-0,20	1,118	-0,170	0,215

Nota: N: Número; D.T: Desviación típica.

Perturbación en la amplitud (*Shimmer apq5*). La prueba realizada indica que no existen diferencias entre las variables (test t de Student, p-valor=0.28).

Tabla 23

Resultados de la variable shimmer apq5 del grupo de AN.

	N	Media	Mediana	D.T.	P25	P75
<i>Shimmer apq5</i> dentro	41	6,989	5,190	4,377	4,010	8,850
<i>Shimmer apq5</i> aislada	41	6,277	5,680	3,512	2,910	9,100
Diferencia	41	0,712	0,640	0,640	-2,170	3,250

Nota: N: Número; D.T: Desviación típica.

Pico cepstral suavizado (CPPS). la prueba realizada indica que existen diferencias entre las variables (test t de Student, p-valor<0.001).

Tabla 24

Resultados de la variable CPPS del grupo de AN.

	N	Media	Mediana	D.T.	P25	P75
CPPS dentro	9	10,777	11,200	2,461	8,570	12,710
CPPS aislada	9	9,469	9,330	2,471	7,710	11,050
Diferencia	9	1,308	0,860	2,410	-0,080	2,940

Nota: N: Número; D.T: Desviación típica.

Primer formante de la vocal /a/. La prueba realizada indica que no existen diferencias entre las variables (test t de Student, p-valor=0.06).

Tabla 25

Resultados de la variable F_1 del grupo de AN.

	N	Media	Mediana	D.T.	P25	P75
<i>First formant dentro</i>	41	950,471	935,940	140,246	862,620	1038,620
<i>First formant aislada</i>	41	1014,147	1031,400	197,841	926,750	1119,830
Diferencia	41	-63,676	-88,630	211,223	-161,110	57,140

Nota: N: Número; D.T: Desviación típica.

Segundo formante de la vocal /a/. La prueba realizada indica que existen diferencias entre las variables (test t de Student, p-valor=0.01).

Tabla 26

Resultados de la variable F_2 del grupo de AN.

	N	Media	Mediana	D.T.	P25	P75
<i>Second formant dentro</i>	41	1744,301	1735,730	235,738	1589,450	1862,110
<i>Second formant aislada</i>	41	1612,604	1605,020	214,829	1452,910	1784,830
Diferencia	41	131,697	112,650	292,582	-5,280	307,260

Nota: N: Número; D.T: Desviación típica.

DISCUSIÓN

El objetivo del presente trabajo ha sido estudiar la eficacia del implante coclear a la hora de reestablecer el *feedback* auditivo de una población infantil con sordera congénita. Para ello, al igual que en estudios previos de este campo, se ha llevado a cabo un análisis acústico de las variables *Median pitch*, *jitter rap*, *shimmer apq5*, F_1 y F_2 . De forma innovadora, además, se ha dedicado un apartado al estudio del pico cepstral suavizado (CPPS) cuyos valores representan una mayor exactitud a la hora de calibrar la calidad vocal de la población estudiada.

1. Frecuencia fundamental.

La frecuencia fundamental (F_0) es la frecuencia más baja en la distribución armónica del sonido de un objeto vibrante. Esto se traduce en el número de veces que las cuerdas vocales entran en contacto durante la fonación.

La literatura coincide en que la población con pérdida auditiva tiende a hablar con un tono y una intensidad superiores a los de la población con audición normal. Algunos estudios establecen que se debe a un esfuerzo por aumentar la autopercepción de su voz. (Perkell et al., 1992) Otros establecen como causa alteraciones de carácter fisiológico, como un pobre control de la elevación laríngea, el esfuerzo fonatorio, el control en la tensión de las CV y la presión subglótica (Dehqan et al., 2010) o un exceso de tensión del cricotiroideo y aumento del flujo de aire glótico. (Ranjan et al., 2023; Pikket et al., 1996) En resumen, presentan una menor estabilidad y control fonatorios que dan como consecuencia una peor calidad vocal (Peng et al., 2008).

Estas afirmaciones fueron estudiadas en ambientes ruidosos en los que la capacidad de control sobre la intensidad de la fonación quedaba neutralizada por el fenómeno del efecto lombard descrito por Étienne Lombard en 1909 (Lee et al., 2017)

Así mismo, parece un hecho que la implantación coclear a edades tempranas produce una restauración del *feedback* auditivo y kinésico que permiten una modificación de la emisión vocal y, por tanto, una aproximación a los valores normativos. Hay estudios que concluyen que este suceso se debe, en algunos casos, a que las frecuencias por debajo de los 300 Hz son fácilmente discriminables para ambas poblaciones, no así para aquellas superiores a 600 Hz donde, la población con IC, presenta mayores dificultades. (Leder et al., 1987; Kirk et al., 1983)

El estudio de la F0 en relación con el estilo comunicativo de los sujetos muestra que las vocales aisladas presentan una disminución más pronunciada para aquellos quienes realizan lectura de labios y que el habla conectada lo hace para los usuarios de lengua de signos. (Evans y Delyski., 2006)

También se ha evaluado si estos cambios son inmediatos o diferidos en el tiempo, y si posteriormente se mantienen o no. Respecto a lo primero, los resultados son heterogéneos: Hay investigaciones cuyos resultados respaldan un descenso rápido de la F0 tras la activación del implante que, de volver a apagarlo, recupera sus valores iniciales (Svirsky et al., 1992) mientras que otras establecen que este parámetro no se comporta de la misma manera para todos los individuos y que, sobre todo en aquellos IC de un solo canal, requieren un mayor plazo de tiempo para adaptar los patrones motores erróneos previos de los cuales no siempre son conscientes. (Leder et al., 1987)

Si los resultados se mantienen tras varios meses después de la activación, los implantes de un solo canal no parecen aportar la estimulación suficiente para que los cambios experimentados inmediatamente tras la restauración del *feedback* auditivo, continúen aproximándose a valores normativos en un plazo prolongado de tiempo. (Leder et al., 1990) Los multicanal, sin embargo, cuyos resultados se obtienen ya durante las primeras dos semanas, denotan una estabilidad temporal superior a los 6-12 meses. (Evans y Delyski., 2006).

1.1. Análisis intergrupar.

Nuestro estudio presenta resultados similares a los obtenidos por Campisi en 2005, donde no se encuentran diferencias significativas entre ambas poblaciones para la variable *median pitch* en la emisión de la vocal sostenida, aunque la media sea ligeramente superior en el grupo con IC. (Campisi et al., 2005) Para la vocal extraída de la palabra, en cambio, si se obtienen divergencias. No obstante, estas difieren de los estudios previos en que la población con IC presenta valores de F0 más bajos que la población con AN con un valor p de 0,002. Los resultados para ambos ejercicios exponen una relativa normalidad tonal para el grupo implantado.

1.2. Análisis intra-grupo.

Realizando un estudio más exhaustivo del comportamiento del tono en ambos contextos, se obtiene que consiguen valores ligeramente más altos cuando emiten la vocal de forma sostenida que en el habla conectada, lo que puede deberse a una mayor

atención y concentración, al focalizarse únicamente en la vocal y no en todos los componentes de la palabra. El grupo control obtuvo valores similares, sin embargo, los resultados no fueron significativos para ninguna de las poblaciones.

2. *Jitter rap y shimmer apq5.*

Los parámetros *jitter* y el *shimmer* miden las perturbaciones en el tono y la intensidad de una emisión sonora. Valores altos para estas variables pueden indicar una vibración irregular a nivel de cuerda vocal y una falta de control en la amplitud de la señal producida.

Respecto al comportamiento de estos valores en la población infantil con pérdida auditiva, la literatura arroja diversos resultados y opiniones. Los estudios citados confirman una diferencia significativa respecto a la población con audición normal, concluyendo que valores elevados para los niños con IC pueden deberse a un pobre control neuromuscular laríngeo que da como resultado una voz ronca y áspera. (Dehqan et al., 2010; Ranjan et al., 2023). Otros contradicen estos resultados y establecen que los valores oscilan dentro de una horquilla de normalidad tanto antes como después de la implantación. (Campisi et al., 2005; Eksander et al., 2015; Jafari et al., 2016).

2.1. *Análisis intergrupar.*

Al contrario de lo establecido en la literatura, se obtuvo que la población con audición normal presentaba valores significativamente más altos en el ejercicio de habla aislada para ambos parámetros. En el habla conectada solo se encontraron discrepancias significativas para la perturbación de la intensidad, que fue mayor para el grupo con IC. Estos hallazgos indican que la capacidad de control sobre los ciclos vibratorios y la amplitud de los mismos para la población hipoacúsica se pueden incluir dentro de un marco normativo tanto en el habla conectada como en la aislada, puesto que la diferencia estadística percibida en el *shimmer apq5* para la vocal intersilábica no se ha considerado perceptivamente distinta.

2.2. *Análisis intra-grupo.*

En el análisis intra-grupo, se ha encontrado que los niños con IC obtienen una mayor perturbación tonal en el habla conectada pero no representa una diferencia importante, mientras que el shimmer si hay diferencias significativas a favor de la vocal intersilábica. Es decir, cuando la vocal está dentro de la palabra los niños tienden a producir más fluctuaciones en el tono que cuando emiten una vocal sostenida, lo que

puede deberse a una influencia indirecta de los cambios articulatorios consonánticos, hipótesis de interés para futuros estudios.

3. Primer y segundo formante.

Los formantes son las bandas de frecuencia en las que se ve concentrada la mayor parte de la energía sonora y los que permiten distinguir los sonidos del habla. El primer formante es la más baja del espectro de frecuencias de un sonido, habitualmente relacionado con la forma y el tamaño del tracto vocal, así como la posición mandibular. El segundo formante es la siguiente frecuencia del espectro, que además del tracto vocal viene determinado por la posición de la lengua y de los labios.

La literatura establece que cada vocal viene determinada por un conjunto de formantes característico que depende de la posición de los dos primeros. En los niños con pérdida auditiva el F_1 y el F_2 no difieren lo suficiente el uno del otro como para resultar perceptivamente distintos. (Gautam et al., 2019)

Los estudios comparados coinciden en que, tras la implantación, estos parámetros tienden a normalizarse tanto para la vocal dentro de la palabra como aislada. Algunos establecen que estas variaciones se deben a cambios en la altura de la posición lingual, la propiocepción y la apertura mandibular para la F_1 y un retroceso en la posición lingual (sobre todo en vocales anteriores: e, i) para el F_2 . (Perkell et al., 1992; Nuñez et al., 2019)

La restauración del *feedback* auditivo, al evaluarse durante los periodos de privación, parece poner en evidencia que el F_1 es dependiente de otros parámetros acústicos como la duración, con quien podría mantener una relación directamente proporcional sobre todo en las vocales más abiertas. Así mismo, parece que en algunos casos el F_2 aumenta con la implantación como respuesta a una mejora en el mecanismo de control en la producción del habla. (Svirsky et al., 1992; Perkell et al., 1992)

Estos cambios son más significativos durante las primeras dos semanas (Evans y Delyski, 2006) no así si con posterioridad, cuando parece que se produce un estancamiento y los valores no llegan a establecerse en un intervalo normativo. (Campisi et al., 2005) Sin embargo, el estudio de Kunisue contradice este hecho, justificando que para que el efecto del implante sobre estos parámetros produzca cambios tangibles se requiere de un periodo de tiempo más prolongado. (Kunisue et al., 2006)

3.1. Análisis intergrupalo.

En nuestro estudio, para la vocal aislada no se ha encontrado disparidad entre las poblaciones ni en el primer ni en el segundo formante, en cambio la población con IC obtuvo valores ligeramente superiores. Para el habla conectada, en cambio, ambas variables presentan comportamientos distintos, aunque, llamativamente, fue la población normativa la que obtuvo valores superiores para ambos formantes. Puede, por tanto, considerarse normal el comportamiento de ambos marcadores para el grupo hipoacúsico estudiado.

3.2. Análisis intra-grupo.

En el análisis intra-grupo advertimos que las diferencias entre un ejercicio y otro son significativas para el grupo con hipoacusia, denotando valores más elevados cuando la vocal es aislada. Esto sugiere que, de acuerdo con Nuñez et al, la posición mandibular necesaria para la ejecución del fonema resulta más sencilla de alcanzar por observación directa y propiocepción que cuando debe coordinarse con otras posiciones articulatorias.

El segundo formante, por el contrario, obtiene valores muy similares para ambas situaciones, al tratarse de una cuestión de articulación lingual, en la que la observación directa es más compleja.

En conjunto, estos parámetros muestran un patrón de comportamiento: Los primeros formantes presentan valores inferiores en el habla conectada en comparación, tanto con las emisiones sostenidas de la propia población hipoacúsica como con el habla conectada de la población normativa.

4. Pico cepstral suavizado.

El pico cepstral suavizado (CPPS) es un parámetro acústico relacionado con la periodicidad de la señal vocal de la que depende la definición de la configuración armónica en el espectro. Valores altos para esta variable indican una mayor periodicidad y, por tanto, una mejor calidad de voz. Valores bajos, en cambio, se relacionan con configuraciones aperiódicas y voces de peor calidad perceptivamente. Este fenómeno ocurre tanto en las vocales aisladas como en el habla conectada. (Nuñez et al., 2019)

Considerando las ventajas que ofrece el análisis cepstral, entre ellas una mayor exactitud que los parámetros acústicos habituales (Ej. Jitter, Shimmer), su uso para

comparar las voces de una población control con las de una población con implante coclear ofrece un patrón más representativo de la fonación real.

No obstante, son escasas las investigaciones acerca del comportamiento de este parámetro acústico para la población con IC. Aghaei et al. encontraron que aquellos usuarios implantados post-lingualmente presentaban valores de CPPS superiores a la población con AN en el habla conectada por los efectos de la coarticulación, la posición de la vocal dentro de la palabra y la localización de la palabra en la oración seleccionada. Respecto a la vocal sostenida los valores para el grupo con IC fueron inferiores. (Aghaei et al., 2024)

4.1. Análisis intergrupar.

En nuestro estudio se ha evaluado el pico cepstral para el grupo con implante coclear y se ha comparado con los resultados del grupo control. A diferencia de la literatura previa, se ha obtenido que los sujetos con IC presentaban valores más bajos para las vocales incluidas en el habla conectada y mayores para la vocal aislada. Es decir, la calidad vocal del grupo con implante es mayor cuando la vocal es sostenida.

Este hallazgo puede tener relación con la exactitud articulatoria que el niño con implante coclear emplea en la producción de una vocal sostenida, exactitud que no se logra en el caso de la producción de palabras en un contexto de habla espontánea.

Ha de tenerse en cuenta que en el estudio de Aghaei la población era adulta y que los resultados podrían estar sesgados por alguna variable temporal, puesto que la implantación se llevó a cabo aproximadamente un año antes del estudio. Los sujetos no habrían aprovechado, por tanto, la plasticidad cerebral propia de los primeros años de vida que permite una mayor adaptación y aprendizaje.

4.2. Análisis intra-grupo.

En cuanto al análisis intra-grupo, el CPPS muestra valores significativamente superiores en la vocal aislada frente a la intersilábica. Curiosamente, el grupo control presenta resultados inversos, también significativos.

5. Limitaciones del estudio.

Es relevante destacar que este trabajo presenta algunas limitaciones que han de tenerse en cuenta para futuros proyectos:

1. Durante el proceso de recogida de datos, habría sido pertinente evaluar el ruido ambiental con un sonómetro.
2. En el proceso de selección de candidatos para el grupo control, se exigió que estuviesen exentos de afectaciones auditivas o vocales. No obstante, debería llevarse a cabo un estudio previo de esta población para asegurar dicha variable.
3. Hay valores extremos que podrían condicionar los resultados y necesitar un análisis en mayor profundidad.

CONCLUSIÓN

De forma global, considerando los resultados de este trabajo y de los antecedentes publicados, se puede afirmar que: Los implantes restauran los mecanismos de la producción vocal para permitir la estabilización y la corrección de la voz en términos de tono, calidad y precisión, tal y como lo demuestran los parámetros evaluados. Si bien el implante normaliza estos valores, a menudo, los pacientes no logran conseguir reproducir las habilidades vocales de los normooyentes.

REFERENCIAS

- Aghaei, F., Khoramshahi, H., Zamani, P., Dehqan, A., y Hesam, S. (2021). A Cepstral Peak Prominence (CPP) Voice Analysis in Iranian Post-lingual Deaf Adult Cochlear Implant Users. *Journal Of Voice*.
- Banda González, R. I., S. C. Castillo, y G. R. Lee. (2017). "Fitting Parameters for Cochlear Implant." *Boletín Médico Del Hospital Infantil de Mexico* 74(1): 65–69.
- Benito, J., y Salva, R. (2013). Hipoacusia: identificación e intervención precoces.
- Campisi, P., Low, A., y Papsin, B. (2005). Acoustic analysis of the voice in pediatric cochlear implant recipients: a longitudinal study. *The Laryngoscope*, 115, 1046–1050.
- Cobeta Marco, I., Núñez, F., y Fernandez, S. (2013). Patología de la voz.
- Constanza Díaz, D., Goycoolea, M., y Cardemil, F. (2016). Hipoacusia: trascendencia, incidencia y prevalencia / Hearing loss: transcendence, incidence and prevalence.
- Dehqan A., Scherer R. C. (2011). Objective voice analysis of boys with profound hearing loss. *J. Voice* 25, e61–e65.
- Delgado-Hernández, J., León-Gómez, N. M., Izquierdo-Arteaga, L. M., & Llanos-Fumero, Y. (2018). Análisis cepstral de la voz normal y patológica en adultos españoles. Medida de la prominencia del pico cepstral suavizado en vocales sostenidas versus habla conectada. *Acta Otorrinolaringológica Española*, 69(3), 134-140.
- Eskander, A., Gordon, K. A., Tirado, Y., et al. (2014). Normal-like motor speech parameters measured in children with long-term cochlear implant experience using a novel objective analytic technique. *JAMA Otolaryngology—Head y Neck Surgery*, 140, 967–974.
- Evans, M. K., y Deliyski, D. D. (2007). Acoustic voice analysis of prelingually deaf adults before and after cochlear implantation. *Journal of Voice*, 21, 669–682.
- Gautam, A., Naples, J. G., & Eliades, S. J. (2019). Control of speech and voice in cochlear implant patients. *The Laryngoscope*, 129(9), 2158-2163.

- Hickok, G., y Poeppel, D. (2007). The cortical organization of speech processing. *Nature Reviews Neuroscience*, 8(5), 393-402.
- Jafari, N., Izadi, F., Salehi, A., et al. (2017). Objective voice analysis of pediatric cochlear implant recipients and comparison with hearing aids users and hearing controls. *Journal of Voice*, 31, 505.e11–505.e18.
- Julia, M., Martínez, I., Eoe, L., Ma, Z.-G., y Muro Jiménez, B. (2015). Estimulación de la vía auditiva: materiales (Vol. 8, Issue 1).
- Kirk, K., y Edgerton, B. (1983). The effects of cochlear implant use on voice parameters. *Otolaryngologic Clinics of North America*, 16, 281–292.
- Kunisue, K., Fukushima, K., Nagayasu, R., Kawasaki, A., y Nishizaki, K. (2006). Longitudinal formant analysis after cochlear implantation in school-aged children. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*, 70, 2033–2042.
- Lee, J., Ali, H., Ziaei, A., Tobey, E. A., y Hansen, J. H. L. (2017). The Lombard effect observed in speech produced by cochlear implant users in noisy environments: a naturalistic study. *Journal of the Acoustical Society of America*, 141, 2788.
- Lee, S., Potamianos, A., y Narayanan, S. (1999). Acoustics of children's speech: developmental changes of temporal and spectral parameters. *Journal of the Acoustical Society of America*, 105, 1455–1468.
- Leder, S. B., Spitzer, J. B., y Kirchner, J. C. (1987). "Speaking fundamental Frequency of postlingually profoundly deaf adult men." *Annals of Otology, Rhinology y Laryngology*, 96, 322-324.
- Leder, S. B., y Spitzer, J. B. (1990). Longitudinal effects of single-channel cochlear implantation on voice quality. *The Laryngoscope*, 100, 395–398.
- Manrique, M., Ramos, Á., de Paula Vernetta, C., Gil-Carcedo, E., Lassaletta, L., Sanchez-Cuadrado, I., Espinosa, J. M., Batuecas, Á., Cenjor, C., Lavilla, M. J., Núñez, F., Cavalle, L., y Huarte, A. (2019). Guideline on cochlear implants. *Acta Otorrinolaringologica Espanola*, 70(1), 47–54.
- Monsalve, A. (2009). Guía de intervención logopédica en las deficiencias auditivas.

- Moruno López, E. (2016). Desarrollo del lenguaje en niños sordos con implante coclear: diseño de un corpus y su aplicación al estudio de la fonología.
- Núñez-Batalla, F., Vasile, G., Cartón-Corona, N., Pedregal-Mallo, D., De Castro, M. M., García, M. G., Gómez-Martínez, J., Fernández, P. C., y Llorente-Pendás, J. L. (2019). Comparación de la producción vocal en niños con hipoacusia prelocutiva con adaptación audioprotésica e implante coclear con normooyentes. *Acta Otorrinolaringológica Española*, 70(5), 251-257.
- Núñez-Batalla, F., Cartón-Corona, N., Vasile, G., García-Cabo, P., Fernández-Vañes, L., y Llorente-Pendás, J. L. (2019). Validez de las medidas del pico cepstral para la valoración objetiva de la disfonía en sujetos de habla hispana. *Acta Otorrinolaringológica Española*, 70(4), 222-228.
- Paulo Teixeira, J., Barbosa Ferreira, D., y Moreira Carneiro, S. (2011). Análise acústica vocal - determinação do jitter e shimmer para diagnóstico de patologias da fala.
- Perkell, J., Lane, H., Svirsky, M., y Webster, J. (1992). "Speech of cochlear implant patients: A longitudinal study of vowel production." *Journal of the Acoustical Society of America*, 91, 2961-2978.
- Peng, S. C., Weiss, A. L., Cheung, H., et al. (2004). Consonant production and language skills in mandarin-speaking children with cochlear implants. *Archives of Otolaryngology—Head y Neck Surgery*, 130, 592–597.
- Prieto García, M. (2015). Programa de atención al déficit auditivo infantil.
- Rajeev Ranjan, Priya Mishra, Deepti Priya, Swetlana Singh Gaur y Tabinda Naqvi (2023). A voice analysis comparison of children with cochlear implants, hearing aids, and normal hearing. *International Journal of Speech and Audiology*; 4(2): 08-12.
- R Core Team (2024). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Svirsky M. A., Lane H., Perkell J. S. y Wozniak J. (1992). Effects of short-term auditory deprivation on speech production in adult cochlear implant users. *J. Acoust. Soc. Am.* 92, 1284–1300.

Vilches, N. (2018). Guía Práctica: Utilización de PRAAT en la Evaluación Clínica de la Voz. Facultad de Ciencias de la Salud: Escuela de Fonoaudiología. Centro de Investigación en Educación Superior CIES-USS; Santiago.