



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE MEDICINA
SECRETARÍA DE SALUD
INSTITUTO NACIONAL DE REHABILITACIÓN
Luis Guillermo Ibarra Ibarra

EVALUACIÓN DEL SOFTWARE “PRUEBA DE AUDICIÓN
1.0.12” EN NIÑOS ESCOLARES COMO CRIBADO RÁPIDO
PARA DETECCIÓN DE HIPOACUSIA.

T E S I S

PARA OBTENER EL DIPLOMA DE
MÉDICO ESPECIALISTA EN:

AUDIOLOGÍA, OTONEUROLOGÍA Y FONIATRÍA

P R E S E N T A:

Dr. Jonathan Eladio Obeso Amillano

PROFESOR TITULAR:

Dra. Xochiquetzal Hernández López

ASESORES :

Dra. Paulina Concepción Murphy Ruiz

Dr. Jaime Abraham Jiménez Pérez

M. C. Antonio Verduzco Mendoza



Ciudad de México

Febrero 2020



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

DRA. MATILDE L. ENRIQUEZ SANDOVAL
DIRECTORA DE EDUCACIÓN EN SALUD

DRA. XOCHIQÜETZAL HERNÁNDEZ LÓPEZ
SUBDIRECTORA DE EDUCACIÓN CONTÍNUA

DR. ROGELIO SANDOVAL VEGA GIL
JEFE DE SERVICIO DE EDUCACIÓN MÉDICA

DRA. XOCHQUETZAL HERNÁNDEZ LÓPEZ
PROFESOR TITULAR

DRA. PAULINA CONCEPCION MURPHY RUIZ
ASESOR CLÍNICO

DR. JAIME ABRAHAM JIMENEZ PEREZ
ASESOR CLÍNICO

M. C. ANTONIO VERDUZCO MENDOZA
ASESOR METODOLÓGICO

INDICE

RESUMEN DEL PROYECTO	4
MARCO TEÓRICO	
INTRODUCCIÓN	6
ETIOLOGÍA	6
CLASIFICACIÓN	6
EPIDEMIOLOGÍA	9
CONSECUENCIAS DE LAS PÉRDIDAS AUDITIVAS	9
METODOS DIAGNÓSTICOS	10
MANEJO	13
DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	16
JUSTIFICACIÓN	16
HIPÓTESIS	16
OBJETIVO GENERAL	17
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
MATERIALES Y MÉTODOS	
DISEÑO DEL ESTUDIO	17
DESCRIPCIÓN DEL UNIVERSO DE TRABAJO	17
TAMAÑO DE LA MUESTRA	17
CRITERIOS DE INCLUSION, EXCLUSIÓN Y ELIMINACIÓN	18
RECURSOS HUMANOS Y MATERIALES	19
ANÁLISIS PROPUESTO	19
MÉTODO CLÍNICO	20
VARIABLES	22
CONSIDERACIONES ÉTICAS	23
RESULTADOS	23
DISCUSIÓN	31
CONCLUSIÓN	33
ANEXOS	34
BIBLIOGRAFÍA	37

RESUMEN DEL PROYECTO.

Se considera hipoacusia cuando el promedio tonal puro auditivo excede los 20 dB en cada oído para las frecuencias 0.5 a 4KHz. En México se reportan 2.4 millones de personas con discapacidad auditiva y se estima que 84, 957 de estas son menores de 14 años.

El crecimiento acelerado de la telefonía móvil ha permitido el desarrollo de aplicaciones que incrementan las funciones de dispositivos inteligentes, incursionando en diferentes ciencias, siendo la medicina una de las principales, apoyando al médico a brindar una atención de calidad a mayor población.

El objetivo fue comparar los resultados de los registros obtenidos con la aplicación “Prueba de Audición 1.0.12” con una audiometría tonal; dicha aplicación fue empleada para identificar pérdidas auditivas de etiología indistinta en pacientes que acuden al área de audiología pediátrica por primera vez en el Instituto Nacional de Rehabilitación Luis Guillermo Ibarra Ibarra (INR LGII).

Es un estudio transversal y comparativo. Se incluyeron a los sujetos hipoacúsicos y normoyentes con edades entre los 6-12 años que acudieron al INR-LGII, obteniendo 2 grupos; uno de ellos con pacientes que llegaron por primera vez al área audiología pediátrica del INR-LGII con diagnóstico de hipoacusia; y en el otro niños normoyentes que acudieron como acompañantes al área de audiología, otoneurología, foniatría y patología de lenguaje.

El departamento de estadística refiere que 3353 pacientes de 6 a 12 años de edad fueron valorados por primera vez en el servicio de audiología pediátrica en el año 2016. Utilizando una fórmula para obtener el tamaño de la muestra con una sensibilidad y especificidad esperada para variables cuantitativas se obtuvo una muestra de 30 casos y 254 controles. Se utilizaron medidas de tendencia central y de dispersión para describir las variables cualitativas (media, moda, mediana, varianza, desviación estándar). Se calcularon la sensibilidad y especificidad para determinar la proporción de pacientes hipoacúsicos y normoyentes.

A pesar de no haber obtenido el tamaño de la muestra requerida, se obtuvo una alta especificidad y sensibilidad en la detección de hipoacusia con el uso de la aplicación. El tiempo estimado para concluir el protocolo fue de 24 meses.

MARCO TEÓRICO

Introducción

La hipoacusia, es una discapacidad que afecta alrededor del 5% de la población mundial de acuerdo a la Organización Mundial de la Salud (OMS).

Se considera hipoacusia cuando el promedio tonal puro auditivo excede los 20 dB en cada oído para las frecuencias 0.5 a 4KHz estadificándola en distintos niveles de severidad.

Discapacidad auditiva se define como una pérdida superior a 40dB en el oído con mejor audición en los adultos y pérdida superior a 30dB en el oído con mejor audición en los niños. ¹

Etiología

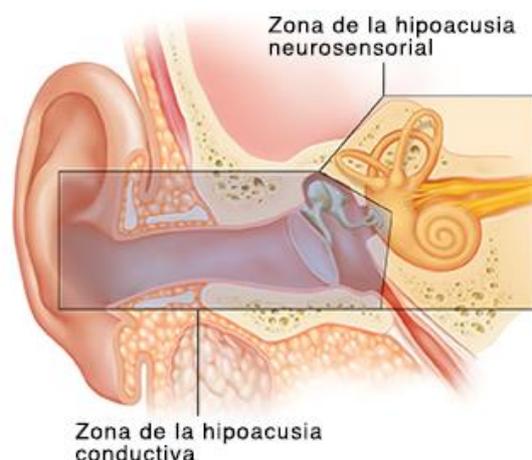
Entre un 50-60% de las pérdidas auditivas congénitas son causadas por factores hereditarios, encontrándose en el resto factores ambientales (25-35%) y ocasionalmente una interacción entre ambos (<10%).

En el 30% de los casos relacionados con la herencia, la hipoacusia se agrupa con otras alteraciones que en conjunto, definen un síndrome genético. En el 70% restante, la hipoacusia se presenta aislada. ²

Clasificación:

Según la porción del oído afectada

- Hipoacusia conductiva: la zona alterada es la encargada de la transmisión de la onda sonora. La causa se sitúa en el oído externo o medio.
- Hipoacusia neurosensorial: la alteración se encuentra en el oído interno y/o en la vía auditiva central. Existe una alteración en las células pilosas y en las neuronas que conducen el estímulo al sistema nervioso central.
- Mixta: Pérdida auditiva cuya naturaleza involucra a ambas. ³

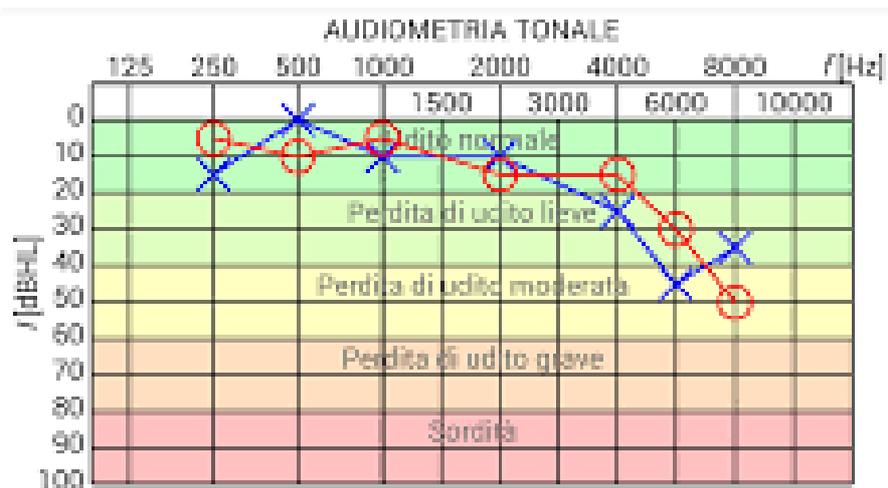


Según la causa

- Hereditarias genéticas
- Adquiridas
- Etiología incierta (25% de los casos)³

Según el grado de intensidad

- Normoyente (audición normal): < 20dB HL
- Hipoacusia superficial: 25-40dB HL
- Hipoacusia media: 41-60dB HL
- Hipoacusia severa: 61-80dB HL
- Hipoacusia profunda: >80dB HL⁴



Causas de Hipoacusias conductivas⁵

Oído externo	Oído medio
Congénita	Congénita
Infección	Infección
Traumatismo	Perforación timpánica
Obstrucción	Tumores
	Otoesclerosis
	Traumatismo

Causas de Hipoacusias Sensoriales ⁵

a) Congénitas

Hereditaria	No Hereditaria
-------------	----------------

b) Adquiridas

Prematuridad
ECMO
Hipoxia / Asfixia neonatal
Hemorragia interventricular grados 3-4
Leucomalacia pericentricular
Infección
Drogas Ototóxicas
Exposición al ruido
Traumatismos
Tumores
Síndromes neurodegenerativos (Charcot Marie, Ataxia de Friedrich)
Intoxicación con metales pesados

Otras Causas de Hipoacusia ⁵

Neuropatía idiopática (30%)	Neuropatía adquirida (30%)	Neuropatía genética	
		Asociada a procesos sensitivo-motores	No asociados a otros procesos
	Hiperbilirrubinemia con exanguinotransfusión 50%	Enfermedad de Charcot-Marie-Tooth	Mutación Q829X en el gen OTOF
	Causas infecciosas 10%	Ataxia de Friederich	
	Prematuridad	Sx de Ehrlers Danlos	
	Hipoxia neonatal	Enfermedad de Refsun	

Factores de Riesgo de Hipoacusia Infantil ⁵

Sospecha familiar de sordera	Meningitis bacteriana
Historia familiar de sordera	Síndromes con sordera
Hipotiroidismo	Enfermedades neurodegenerativas
Estancia en UCIN mayor de 5 días	Anomalías craneofaciales
Exposición a ototóxicos	Ventilación con membrana extracorpórea
Ventilación asistida	Trauma craneal grave
Otitis persistente	Hiperbilirrubinemia con exanguinotransfusión
Infecciones perinatales (CMV, herpes, rubeola, sífilis y toxoplasmosis)	Quimioterapia

Epidemiología

En el año 2012 fueron reportados más de 275 millones de personas diagnosticadas con hipoacusia a nivel mundial. En México, según el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI), en el censo de población y vivienda del 2010, 12.1% de la población con discapacidad tiene alteraciones en su capacidad auditiva; en el 2012 se reportó prevalencia de hipoacusia pediátrica de 1.4 por cada 1000 nacimientos.⁶

Hasta un 0.75-0.77 por cada mil de niños preescolares presentan pérdida auditiva permanente a pesar de haber superado el tamizaje neonatal.

Aun en los casos con alta sensibilidad en las pruebas neonatales, estas solo identifican el 56-59% de niños en edad escolar. Así, hasta 1 de cada 10 niños con hipoacusia congénita requerirá detección por revisiones posnatales a pesar de tener protocolos de cribado bien establecidos. Se estima que la prevalencia de hipoacusia infantil en la etapa escolar duplica la esperada en la etapa neonatal. ⁵

Consecuencias de la pérdida de audición

Pueden variar de un individuo a otro, pero la mayoría experimenta alguno de estos problemas:

a. Consecuencias Funcionales.

Sensación de cansancio continuo, cefaleas, estrés, alteraciones del sueño, problemas de autoestima. El desarrollo del habla se retrasa teniendo efectos perjudiciales en el rendimiento escolar y social.

b. Consecuencias emocionales y psicológicas:

La comunicación y el acceso limitado a los servicios pueden generar soledad, aislamiento y frustración. Un sordo puede sentirse excluido de la sociedad.

c. Consecuencias Sociales.

Difícil participar en actividades sociales, incluso dentro de su propia familia (distracción y problemas laborales).

d. Consecuencias Económicas.

Los niños con pérdida de audición rara vez son escolarizados. Asimismo, entre los adultos con pérdida de audición la tasa de desempleo es mucho más alta.

e. Relación con el desarrollo

La discapacidad y el desarrollo están íntimamente ligados. La probabilidad de que las familias experimenten desventajas económicas y sociales es mayor entre las que tienen algún miembro con algún tipo de discapacidad respecto a las que no los tienen.⁷

Métodos diagnósticos

Los programas de tamizaje neonatal habitualmente permiten diagnosticar pérdidas auditivas a edades tempranas (menos de 6 meses), sin embargo, durante el desarrollo se presentan factores post natales que pueden provocar una pérdida auditiva.⁶

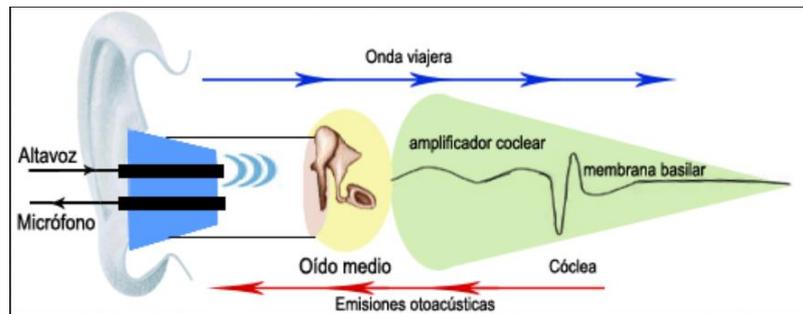
En nuestro país se realiza desde 1985, en el Hospital Infantil de México Federico Gómez (HIMFG) y el Hospital General de México (HGM) el programa de detección temprana de hipoacusia. En el año 2005 se aprobó la ley que establecería el tamiz auditivo a todos los recién nacidos. En 2009, el HGM capacitó profesionales de salud para realizar el Tamiz Auditivo Neonatal e Intervención Temprana, promoviendo la detección oportuna de hipoacusia.⁶

En el 2011 el Senado de la República aprobó una reforma a la Ley General de Salud en la que estipulaban la obligación de aplicar pruebas de tamiz auditivo y en el 2012 se reportó una cobertura de 57%.

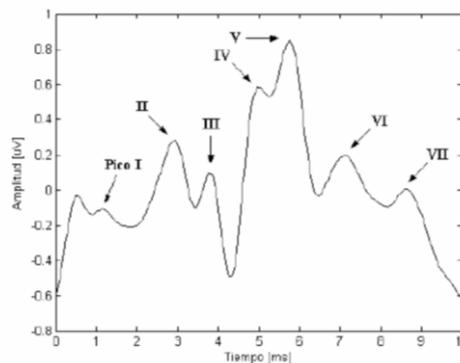
En un estudio que se realizó en el Instituto Nacional de Rehabilitación (INR), se concluyó que los pacientes de ese protocolo (niños hipoacúsicos) no fueron

detectados por el Tamiz Auditivo Neonatal Universal (TANU), sugiriendo un impacto aún relativo. ⁶

Los programas de tamiz auditivo se sustentan de manera inicial en 2 tipos diferentes de pruebas neurofisiológicas; Las EOA son una técnica objetiva, rápida y no invasiva para identificar la pérdida auditiva, pero no para definir o cuantificar su grado.



Están presentes en audición normal y ausentes cuando hay deterioro auditivo, tienen sensibilidad del 100% y especificidad del 82%. Una vez detectada una deficiencia auditiva mediante EOA, se deben realizar estudios de diagnóstico confirmatorio mediante PEATC, con lo cual se incrementa la especificidad hasta un 98%.



Morfología de la señal de PEATC.

Otro de los estudios complementarios es la timpanometría con impedanciometría, que evalúa la integridad y movilidad de la membrana timpánica, la función de la trompa de Eustaquio, la integridad/movilidad de las estructuras del oído medio y por medio del reflejo estapedial, al oído interno. ⁸

Existen otros métodos diagnósticos posibles cuando el paciente ya se encuentra en una edad escolar.

Este tipo de estudios requieren de mayor disposición del paciente, por lo que se les conoce como pruebas subjetivas:

Audiometría tonal (*estándar de oro*)

El objetivo de la audiometría tonal vía aérea es obtener los niveles mínimos de intensidad a los que la persona explorada es capaz de percibir estímulos acústicos presentados en forma de tonos puros por vía aérea.

Realización de la prueba: Se colocan los auriculares al paciente (rojo para el oído derecho y azul para el izquierdo). Toda audiometría tonal debe ir precedida de una otoscopia, comprobación rutinaria del audiómetro y comprobación del nivel de ruido ambiente. Se dan las siguientes instrucciones al paciente: "Usted va a escuchar ahora unos sonidos; levante la mano cuando crea que oye el sonido y baje la mano cuando crea que el sonido ha cesado". Se comienza estudiando la respuesta del mejor oído en las frecuencias de 1000, 2000, 4000, 8000, 500, 250 y 125 Hz sucesivamente. ¹⁰

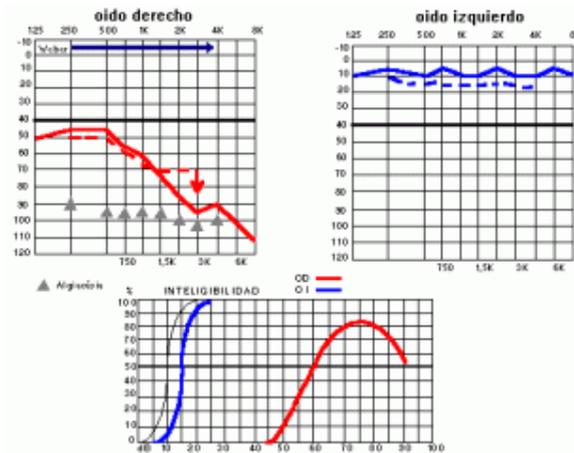
Comenzando por la frecuencia 1 Hz, a unos 20-30 dB del umbral esperado y con una duración aproximada de 3 segundos. Si el paciente no responde, elevar el nivel del tono presentado 5 dB hasta que responda adecuadamente. Reducir el nivel del estímulo presentado en pasos de 10 dB hasta que el paciente deje de responder. Elevar entonces, en pasos de 5 dB, el nivel de la presentación hasta que el paciente conteste de nuevo. ^{9, 10}

Enmascaramiento

Se debe enmascarar en vía aérea el oído no evaluado, si para cualquier frecuencia, la diferencia entre los umbrales de vía aérea de ambos oídos es igual o superior a 40 dB. ^{9, 10}

Audiometría verbal

La audiometría verbal (logoaudiometría) es un componente clave en el estudio audiológico. Puede decirnos en una manera más realista, cómo un desorden auditivo impacta en la comunicación diaria. ¹¹



Manejo

El primer paso, es conocer la etiología. Algunas condiciones asociadas a la pérdida auditiva son tratables con manejo quirúrgico.

- Otitis media crónica y otitis media con efusión son patologías que pueden ser tratadas con colocación de tubos de ventilación.
- Otoesclerosis y otras alteraciones en la cadena osicular
- Estenosis o atresia del conducto auditivo externo
- Tumores y colesteatoma requieren resección quirúrgica y mastoidectomía.
- Pacientes con fístula perilinfática requieren reparación de la misma ³

Auxiliares auditivos

La herramienta más sobresaliente en manejo de las pérdidas auditivas. La selección depende del nivel de la pérdida, el tipo de la misma, costos y disponibilidad. La elección del mejor auxiliar es determinada por los resultados de una evaluación audiológica completa.

En la actualidad se cuenta con múltiples dispositivos extras que se pueden adicionar a los sistemas auxiliares, uno de ellos es el sistema FM que permite una amplificación a distancia evitando el ruido intermedio. ³

Nuevas tecnologías

La evolución de los dispositivos móviles en los llamados dispositivos inteligentes se ha revolucionado en la última década tanto en cuestiones técnicas empleando microprocesadores avanzados, como en aspectos de programación, capitalizando un gran número de aplicaciones. Existen protocolos que evalúan

los beneficios de los dispositivos móviles dirigidos al ámbito médico, estos hacen énfasis en aumentar la comunicación entre miembros del gremio, mejorar el acceso a la literatura médica, optimizar la productividad y el flujo de trabajo clínico.¹²

El uso de estas nuevas tecnologías implica un riesgo significativo el cual se enfoca en sus habilidades de diagnóstico. Los programas destinados a ser utilizados en el diagnóstico y tratamiento de enfermedades han sido clasificados como dispositivos médicos por la Administración de Alimentos y Medicamentos de EE. UU. (FDA) en 3 niveles de riesgo que van desde los que solo se utilizan como material didáctico y archivo (riesgo clase I) hasta los que controlan otros dispositivos médicos de soporte vital como monitores cardíacos o ventiladores (riesgo clase III).¹²

Aplicaciones reguladas (Riesgo Clase III)

- Control de otros dispositivos médicos
- Visualizar, almacenar, analizar o transmitir datos médicos específicos del paciente desde otro dispositivo
- Utilizar archivos adjuntos, pantallas de visualización o sensores para transformar la plataforma móvil en un dispositivo médico
- Realizar análisis específicos del paciente y brindar un diagnóstico específico del paciente o una recomendación de tratamiento

Aplicaciones sujetas a discreción de ejecución (Riesgo Clase II)

- Brindan o facilitan atención complementaria asesorando o incitando a pacientes
- Herramientas para ayudar a los pacientes a organizar o rastrear información de salud
- Proporcionan acceso a información relacionada con condiciones de salud o tratamientos
- Permiten a los pacientes comunicar condiciones médicas con proveedores
- Realizan cálculos simples utilizado en la práctica clínica
- Permiten que los individuos interactúen con registros electrónicos de salud

Aplicaciones que no serán reguladas (Riesgo Clase I)

- Copias electrónicas de libros de texto médicos, material didáctico u otros materiales de referencia
- Destinados a las herramientas educativas para la capacitación médica • Facilitar el acceso o comprensión del paciente
- Automatización general en operaciones de oficina
- No específicamente diseñadas o destinadas para fines médicos

Existen aplicaciones utilizadas en países de primer mundo para conocer el umbral auditivo de pacientes de diferentes edades, tal es el caso de Shoebox Audiometry®, el cual fue utilizado en un estudio denominado “Audiometría portátil con Tablet en el norte de Canadá: Un método portátil y eficiente para screening auditivo”, este fue un estudio transversal a población infantil de entre 5 y 10 años de edad en los países de Canadá y Uganda obteniendo resultados concluyentes acerca de la funcionalidad de este tipo de dispositivos como métodos de tamizaje en población infantil. El inconveniente que existe con estas aplicaciones es su alto costo. ¹³

En el año 2014 se publicó en una revista médica de Polonia un artículo denominado “Calibración biológica para pruebas de audición basadas en la web: evaluación de los métodos”, en el cual un equipo de ingenieros liderados por un médico otorrinolaringólogo dedicado al estudio de la audición, comenzaron a evaluar la viabilidad de utilizar programas informáticos en las valoraciones audiométricas, calibrando los equipos con pacientes normoyentes. ¹⁴

En mayo del 2016, este equipo de profesionales publicó un trabajo donde evalúan la calibración biológica en aplicaciones audiométricas instaladas en dispositivos móviles. ¹⁵

A principios del año 2018 publican un trabajo con resultados de evaluaciones audiométricas en dispositivos móviles con calibración biológica comparada con la audiometría de tonos puros, obteniendo resultados de sensibilidad 98% y especificidad 79%. ¹⁶

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

En México la hipoacusia es un problema de salud pública y el programa más importante para su detección temprana (TANU) es efectivo solo en un 60% de los casos; debido a esto es prudente considerar el uso de aplicaciones médicas disponibles en la red, con la finalidad de validar su eficacia y poder utilizarlos como una herramienta de cribado para la detección de hipoacusias principalmente en población infantil.

JUSTIFICACIÓN

En México se reportan 2.4 millones de personas con discapacidad auditiva, se estima que 84,957 son menores de 14 años.

Actualmente no existen protocolos o programas establecidos para detectar pérdidas auditivas en niños en edades escolares, de igual manera no se cuenta con literatura que apoye un método específico para realizar tamizaje en esta población.

Existen diversos recursos tecnológicos para el apoyo al diagnóstico médico, como la “Prueba de Audición 1.0.12” que permitirá realizar tamizajes auditivos empleando un equipo celular y unos audífonos.

Se podrá utilizar para cribados en escuelas, instituciones e incluso emplearse en aquellas regiones del país vulnerables por acceso limitado a los servicios de salud para así canalizar al profesional pertinente.

HIPÓTESIS

La aplicación “Prueba de Audición 1.0.12” permitirá detectar mediante un registro audiométrico, la presencia de pérdida auditiva en niños escolares de 6 a 12 años.

OBJETIVO GENERAL

Comparar los resultados de los registros obtenidos con la aplicación “Prueba de Audición 1.0.12” y la audiometría tonal para valorar su utilidad como tamizaje.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Realizar audiometría tonal (vía aérea) a los sujetos de estudio que cumplan con los criterios de inclusión.

Aplicar el software «Prueba de Audición 1.0.12» para determinar mediante vía aérea el umbral auditivo en las frecuencias de 250Hz a 8kHz

Comparar los datos obtenidos con el software contra la audiometría tonal

Cuantificar el tiempo necesario para realizar cada estudio

MATERIALES Y MÉTODOS

DISEÑO DEL ESTUDIO:

Estudio Transversal comparativo

DESCRIPCIÓN DEL UNIVERSO DE TRABAJO:

Se incluirán a los sujetos hipoacúsicos y normoyentes, con edades entre los 6-12 años que acudan al INR-LGII.

TAMAÑO DE MUESTRA

Se obtiene mediante una fórmula para obtener el tamaño de la muestra con una sensibilidad y especificidad esperada para variables cuantitativas (n= 30 casos y 254 controles)

CRITERIOS DE INCLUSIÓN

Grupo A: Pacientes que lleguen por primera vez al área audiológica pediátrica del INR-LGII con diagnóstico de hipoacusia.

- Niños con hipoacusia de cualquier etiología
- Edad de 6-12 años
- Adscritos al servicio de audiológica pediátrica
- Ambos géneros

Grupo B: Niños normoyentes que acudan como acompañantes al área de audiológica, otoneurología, foniatría y patología de lenguaje del INR-LGII

- Normoyente
- Edad 6-12 años
- Ambos géneros

CRITERIOS DE EXCLUSIÓN

- No dar su consentimiento/asentimiento informado
- Presentar infección aguda en vías respiratorias superiores
- Presentar cerumen en conducto auditivo externo que no se logre remover con cureta ótica
- No comprender adecuadamente el procedimiento del estudio
- Presentar alguna alteración neurológica o psiquiátrica descontrolada

CRITERIOS DE ELIMINACIÓN

- Pacientes que no concluyan el estudio.
- Que el paciente cause algún tipo de daño al equipo

RECURSOS HUMANOS

- Investigador: Dr. Jonathan Eladio Obeso Amillano
- Asesores Clínicos: Dra. Paulina Concepción Murphy Ruiz y Dr. Jaime Abraham Jiménez Pérez
- Asesor Metodológico: M. C. Antonio Verduzco Mendoza

RECURSOS MATERIALES

- Celular Samsung Galaxy S5® el cual cuenta con la aplicación “Prueba de Audición 1.0.12®”
- Auriculares marca Bose®
- Otoscopio con conos desechables, cureta ótica y toallas húmedas
- Cámara sonoamortiguada
- Audiómetro de diagnóstico clínico Equinox con auriculares TDH
- Computadora portátil HP 14-r218la Con programas para captura de datos (Word, power point, Excel Y SSPS)

ANÁLISIS ESTADÍSTICO PROPUESTO

Se utilizaron medidas de tendencia central y de dispersión para describir las variables

Se intentó calcular la sensibilidad y especificidad para determinar la proporción de pacientes hipoacúsicos y normoyentes; sin embargo debido al reducido número de muestra, solo se obtuvieron los Intervalos de Confianza para las proporciones de aquellos sujetos que refirieron una respuesta idónea.

MÉTODO CLÍNICO

Se solicitó su participación a pacientes que acudieron por primera vez al servicio de audiología pediátrica y que cumplieran con los criterios de inclusión (grupo A); y a niños que llegaron como acompañantes de pacientes al servicio de audiología, otoneurología, foniatría y patología de lenguaje (grupo B).

Se les saludó y se solicitó consentimiento verbal tanto al paciente como al tutor, al obtenerlo llenaron el formato donde aceptan participar en el protocolo, mismo donde también se anexó una pequeña historia clínica para que la madre o tutor del paciente responda.

En la prueba se les realizó otoscopía para descartar cerumen en el conducto auditivo externo (CAE), utilizando otoscopio Welch Allyn, traccionando el pabellón auricular para horizontalizar completamente el CAE y lograr visualizar la membrana timpánica, se realizó aseo del pabellón auricular con toallas húmedas con el fin de preservar la higiene del equipo.

Cuando los pacientes presentaron cerumen ótico, se procedió a obtener consentimiento por parte del tutor para extraerlo con la ayuda de curetas óticas. En caso de no lograr extraerlo, se entregó una receta para gotas óticas y se recomendó acudir con el médico otorrinolaringólogo, suspendiendo la participación de este individuo.

Un evaluador (Dr. Jaime Abraham Jiménez Pérez) realizó la audiometría tonal en cámara sonoamortiguada, explicando al paciente que se colocarían los auriculares TDH 39 y se transmitirán tonos puros por los mismos, tras lo cual tendrá que levantar la mano ipsilateral al oído que está percibiendo el sonido. Cuando el paciente respondía, se disminuía el volumen 10dB HL y se emitía estímulos elevándolos nuevamente de 5 en 5dB HL obteniendo así un umbral auditivo en las frecuencias 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 y 8000Hz.

Posteriormente un segundo evaluador (Dr. Jonathan Eladio Obeso Amillano) realizó la valoración mediante la aplicación "Prueba de audición 1.0.12", explicando el proceso al paciente en el cual se colocarán los auriculares BOSE,

se emitiría un tono puro pulsátil a través de los mismos y tendría que levantar su mano ipsilateral al oído que lo escuche. Se emitió el tono hasta obtener la respuesta del paciente, se disminuye la intensidad 10dB HL y se incrementa nuevamente de 5 en 5dB HL hasta obtener nuevamente una respuesta, de esta manera se obtuvo un umbral en las frecuencias 250, 500, 1000, 2000, 4000 y 8000Hz, entre las intensidades 0-70dB HL (pues la aplicación no es capaz de transmitir tonos a una mayor intensidad).

A pesar de que las pruebas se realizaron en la misma cita, los resultados se obtuvieron de manera independiente por investigadores diferentes para asegurar el cegamiento.

Un tercer evaluador (Dra. Paulina Concepción Murphy Ruiz), integró los resultados de las 2 pruebas realizadas en cada sujeto de estudio.

La evaluación "Prueba de Audición 1.0.12" toma 5-10 minutos aproximadamente (depende del nivel de comprensión del paciente).

Cuando alguno de los sujetos del grupo control presentó datos de hipoacusia en la audiometría tonal en cámara sonoamortiguada, se le citó para acudir a preconsulta de INR LGII para realizar una valoración audiométrica integra y en caso de ser necesario ingresarlo al servicio de audiología pediátrica.

La revisión y análisis de los datos obtenidos se desarrolló por el M.C. Antonio Verduzco Mendoza.

VARIABLES

Nombre	Definición	Tipo de Variable	Escala	Unidad de medida
Género	Conjunto de las peculiaridades que caracterizan los individuos de una especie	Cualitativa	Nominal dicotómica	Masculino / Femenino
Edad	Número de años cumplidos	Cuantitativa	Discreta	Años
Oído afectado	Lugar otológico de afección	Cualitativa	Nominal	Derecho Izquierdo
Audición normal	Percepción auditiva menor a 20dB HL en frecuencias de 20 a 20,000Hz	Cualitativa	Nominal	Si / No
Nivel de pérdida auditiva	Categoría de pérdida auditiva	Cuantitativa	Continua	-Leve (26-40dB) - Moderada (41-60dB) -Severa (61-80dB) -Profunda (>80dB)
Tiempo de realización de la prueba	Transcurso de tiempo en el que se lleva a cabo el estudio	Cuantitativo	Discreta	Minutos

CONSIDERACIONES ÉTICAS

De acuerdo a la ley general de salud de los Estados Unidos Mexicanos en su artículo 17, inciso II este estudio es catalogado como **estudio tipo II (riesgo mínimo)**, por lo que requirió aprobación por el Comité de Investigación y Consentimiento/Asentimiento Informado de los pacientes por escrito.

Se apega a los principios éticos para las investigaciones médicas en seres humano establecidos en la Declaración de Helsinki de la Asociación Médica Mundial.

RESULTADOS

Se estudiaron un total de 47 niños, 36 de los cuales eran sanos con edad desde 6 a 12 años con un promedio de 7 años, 20 fueron masculino masculinos (55.55%) y 16 femeninos (44.44%) (Fig.1 y 3).

El otro grupo fue conformado por niños hipoacúsicos con edad promedio de 9.27 ± 2.41 años, 6 (54.54%) masculinos y 5 (45.45%) (Fig. 2 y 4). 2 niños tenían afectado el oído derecho, 3 el oído izquierdo y 6 ambos oídos. El tipo de hipoacusia fue diverso, desde superficial uni y bilateral hasta severa unilateral, no se reclutaron pacientes con hipoacusia profunda.

Los sujetos sanos tardaron en realizarles la prueba con la aplicación un promedio de 8.08 ± 1.53 y los hipoacúsicos 8.09 ± 1.44 minutos (Fig. 5 y 6).

Se organizaron los datos por frecuencias (250Hz, 500Hz, 1000Hz, 2000Hz, 4000Hz, 8000Hz), y se formaron pares (App-Audiometría tonal) para obtener las diferencias entre la respuesta audiométrica y la respuesta de la App (Fig. 7).

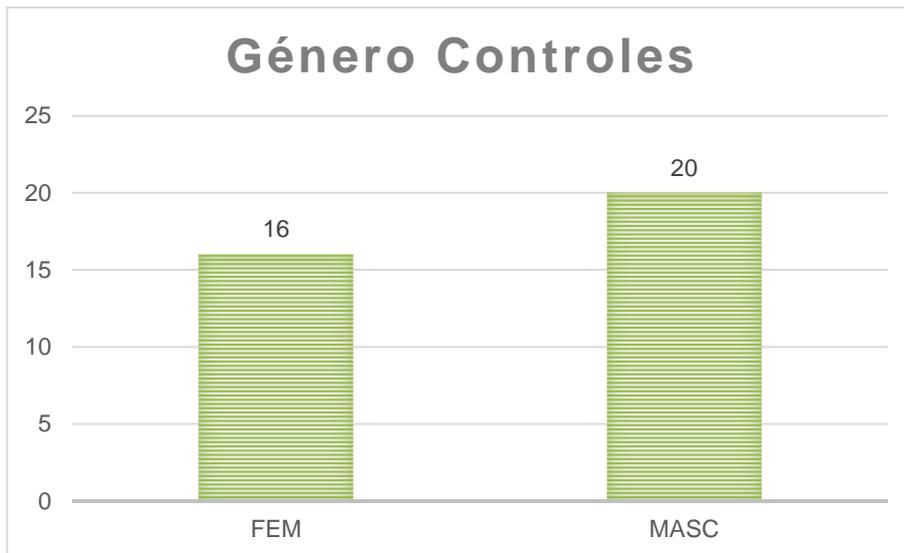


Figura 1

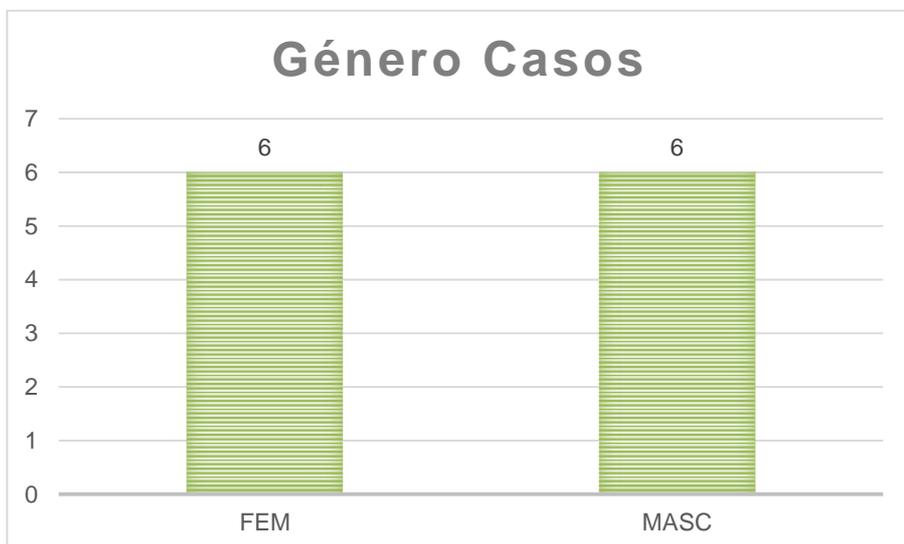


Figura 2

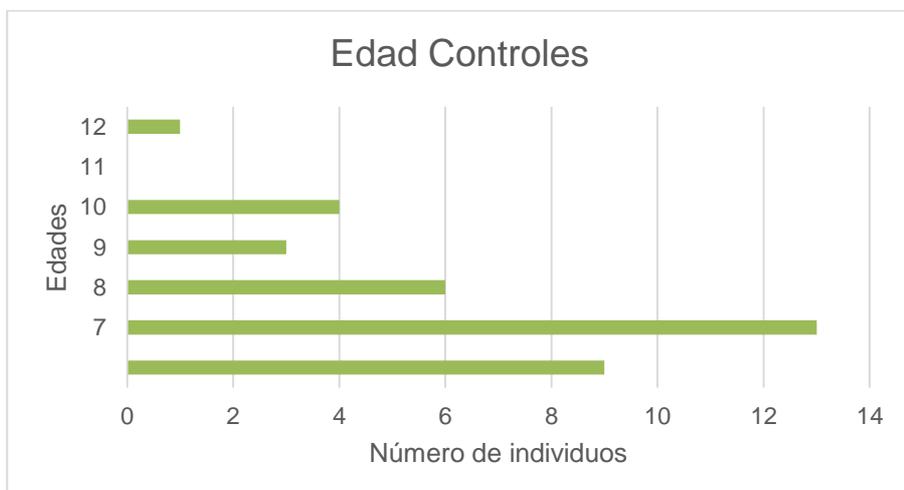


Figura 3

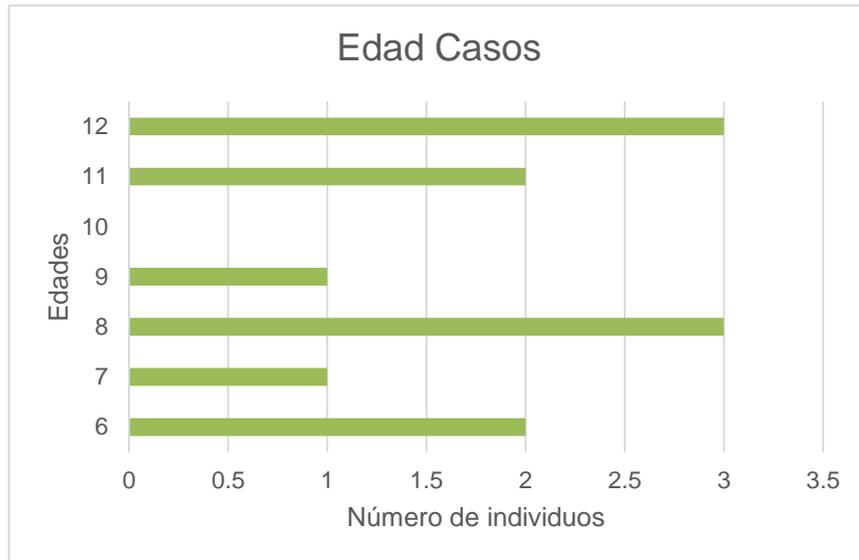


Figura 4



Figura 5



Figura 6

Se realizó la sustracción de los datos de la audiometría menos los resultados obtenidos mediante la App, se asignó el valor cero (0) cuando no hubo diferencia entre la respuesta con la App y la audiometría, los demás resultados se clasificaron según la diferencia obtenida; desde de 5 o -5 hasta los 35 o -35 puntos de diferencia, esto es en dBHL.

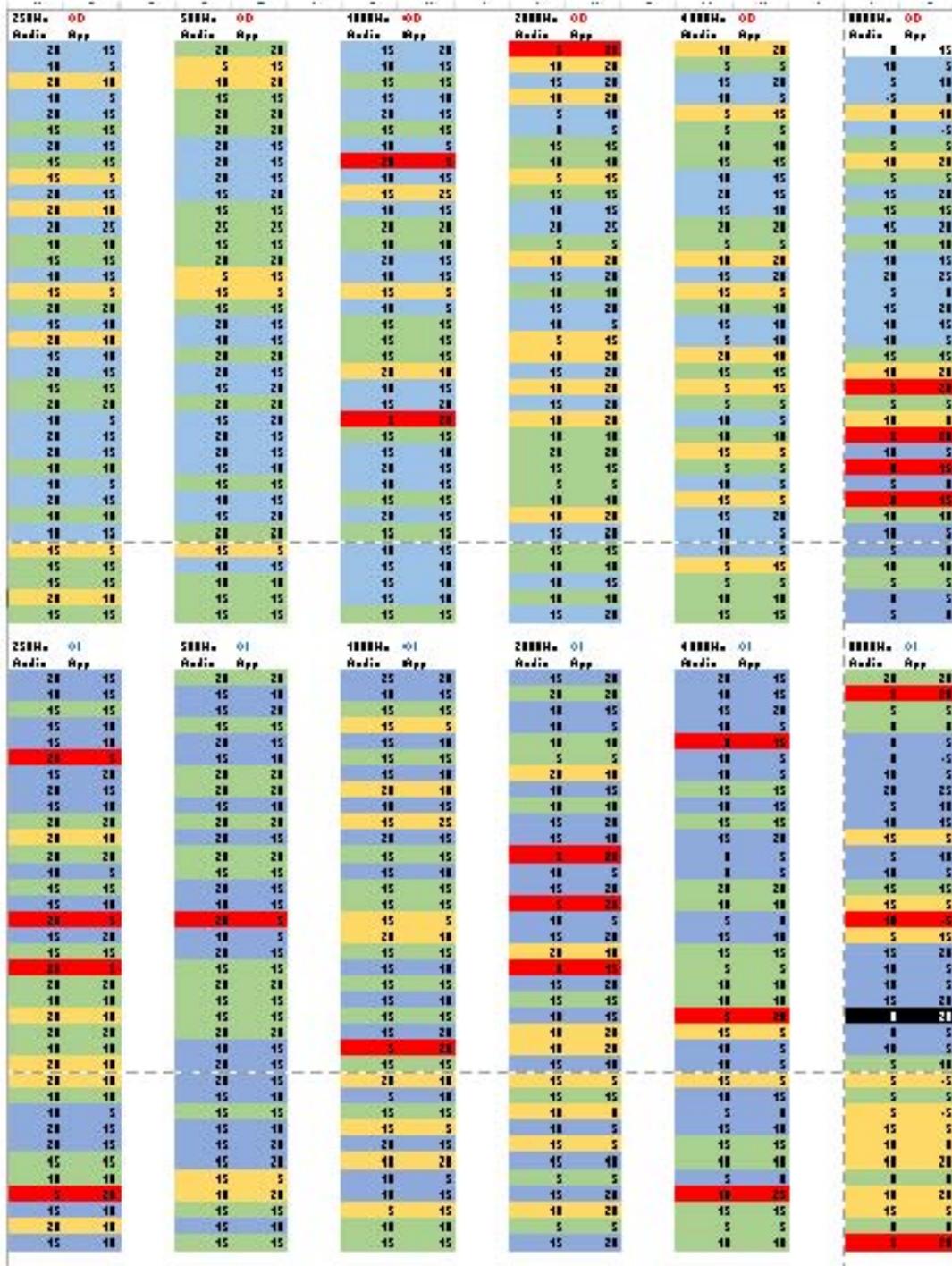


Figura 7: Diferencia en dBHL entre los resultados obtenidos en cada frecuencia con la audiometría y la aplicación. (Verde=0/Azul=5/Amarillo=10/Rojo=15/Negro=20).

Según los estándares, una diferencia idónea no debe sobrepasar los 5dBHL tanto positivos como negativos, entre los 10 y -10 dB, se considera permisible y mayor a 15 o -15 dB de diferencia entre las repuestas de la App/Audiometría se considera inaceptable. De esta manera se formaron las siguientes gráficas:

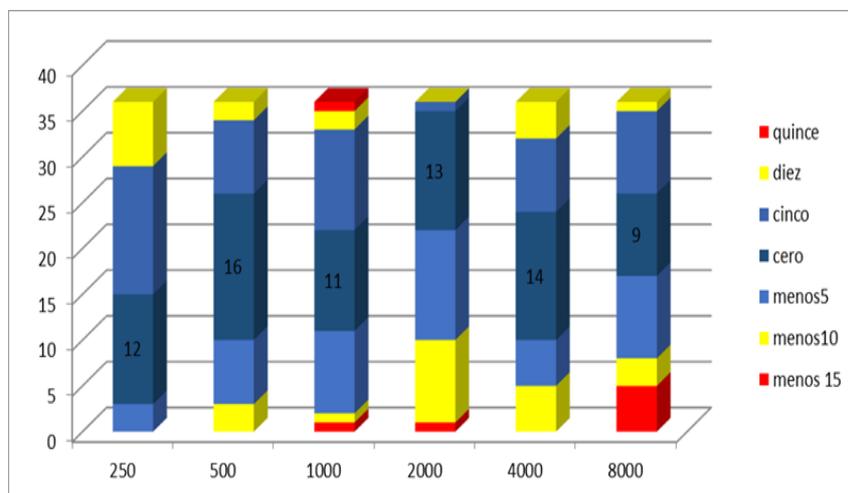


Figura 8: Diferencias de la respuesta audiométrica entre la APP y la audiometría tonal, oído derecho de sujetos sanos.

A 250, 500 y 4000Hz Se observa que coinciden la mayoría de las respuestas entre la APP y la audiometría tonal. Los números en cada frecuencia representan las respuestas iguales (valor cero) entre audiometría y App. Las respuestas del oído derecho tienen mayor coincidencia con las dos pruebas que el oído izquierdo.

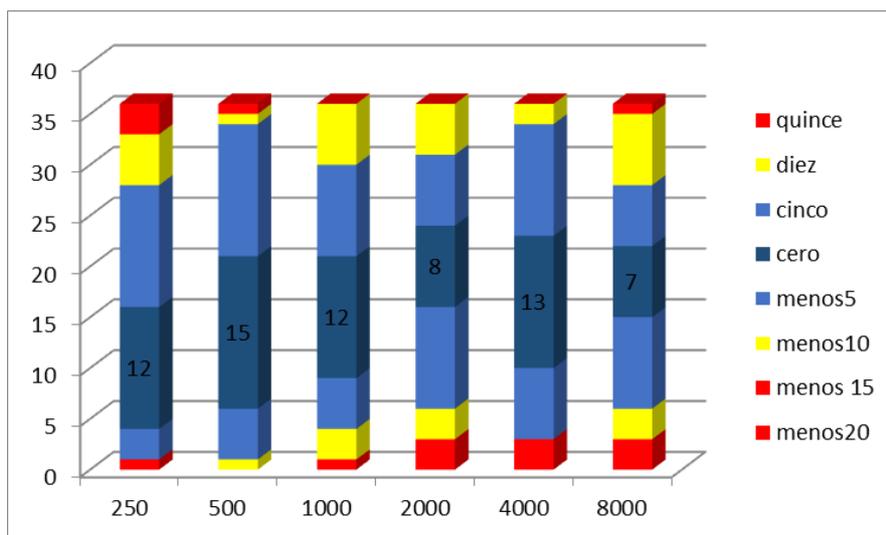


Figura 9. Diferencia de la respuesta entre la APP y la audiometría tonal, oído izquierdo de sujetos sanos.

En el oído izquierdo se observa un incremento de sujetos con mayor diferencia de respuesta entre la APP y la audiometría. Algunos sujetos respondieron con diferencias de más de 15 y 20 dB. El grupo de 500Hz es el que representa mayor coincidencia de respuesta.

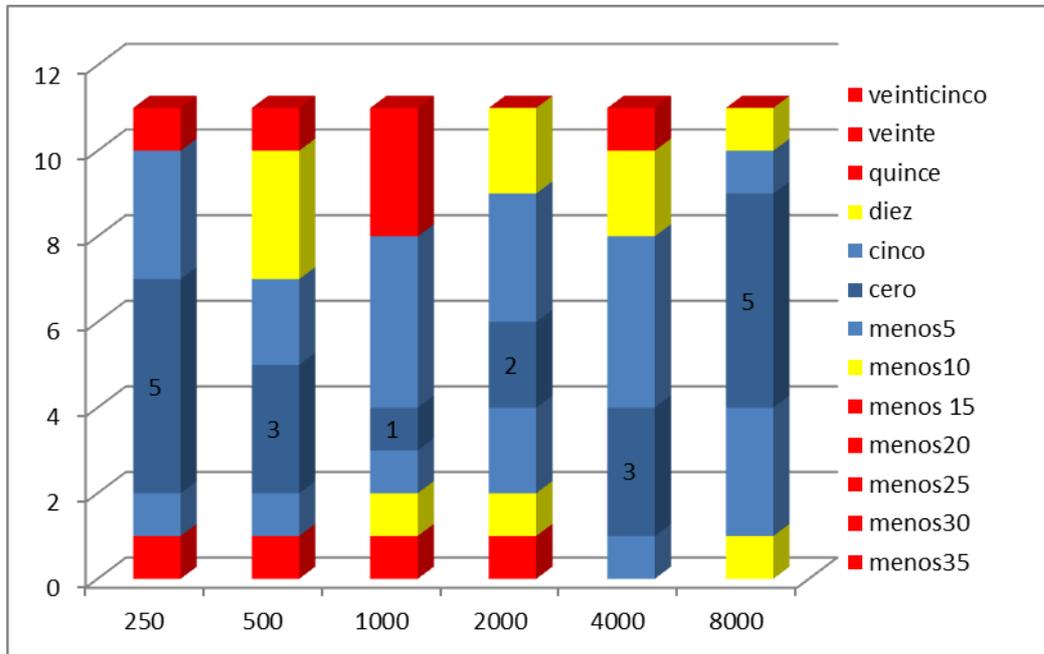


Figura 10. Diferencia de la respuesta entre la APP y la audiometría tonal, oído derecho de sujetos con hipoacusia.

En este grupo se reduce el número de sujetos de estudio (n=11). Contrario a los sujetos sanos en donde las frecuencias bajas eran en las que había mayor coincidencia entre la audiometría y la App, en los sujetos con pérdida auditiva las frecuencias de 8000Hz es en la que hay mayor coincidencia. En los extremos de las barras se observan diferencias positivas y negativas mayores a 20 Hz, lo que indica inconsistencia de respuesta entre la App y la audiometría, esto es, algunos pacientes requerían una menor cantidad de dB con la App que con la audiometría y viceversa.

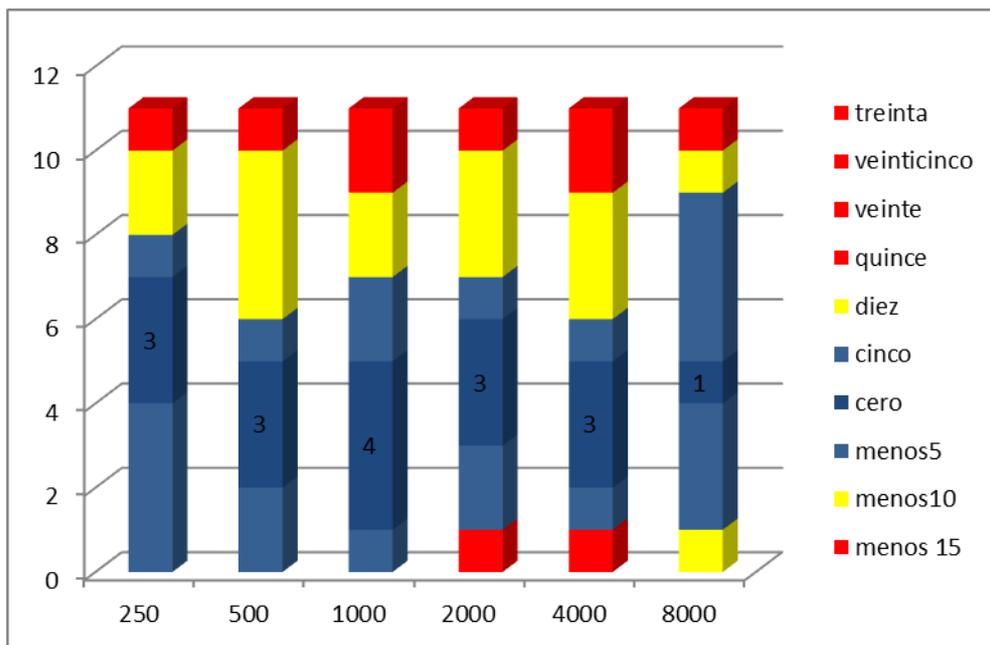


Figura 11. Diferencia de la respuesta entre la APP y la audiometría tonal, oído izquierdo de sujetos con hipoacusia.

Semejante a lo observado en los sujetos sanos, el oído izquierdo de los hipoacúsicos muestra menor correspondencia entre las pruebas, posiblemente debido a razones de lateralidad auditiva. Se puede identificar cierta polaridad en las regiones superiores de las barras, esto revela que hay mayor diferencia de respuesta entre las pruebas, y siendo más específico, la tendencia indica que en este oído izquierdo, los hipoacúsicos respondieron al estímulo a menos dB con la App que con la audiometría, aspecto observado en todas las frecuencias.

Se obtuvieron los Intervalos de Confianza para las proporciones de aquellos sujetos que refirieron una respuesta idónea, de esta manera se consideraron como un total a los sujetos que respondieron a las pruebas en la misma frecuencia, cero (0) y aquellos con una diferencia no mayor a ± 5 dB.

Frecuencia (Hz)	Normoyentes (N=36)		Hipoacúsicos (N=11)	
	Oído derecho	Oído izquierdo	Oído derecho	Oído izquierdo
250	29 (80.5) [0.6704, 0.9406]	27 (75) [0.6018, 0.8982]	9 (81.81) [0.5504, 1]	8 (72.72) [0.41, 1]
500	31 (86.11) [0.7065, 0.9601]	33 (91.66) [0.8227, 1.0]	6 (54.54) [0.1783, 0.9124]	6 (54.54) [0.1783 > 0.9124]
1000	31 (86.11) [0.7065, 0.9601]	26 (72.22) [0.5686, 0.8758]	6 (54.54) [0.1783, 0.9124]	7 (63.63) [0.1783 > 0.9124]
2000	26 (72.22) [0.5686, 0.8758]	25 (69.44) [0.5374, 0.8514]	7 (63.63) [0.1783, 0.9124]	6 (54.54) [0.1783 > 0.9124]
4000	27 (75) [0.6018, 0.8982]	31 (86.11) [0.7065, 0.9601]	8 (72.72) [0.41, 1]	5 (45.45) [0.0381, 0.8709]
8000	27 (75) [0.6018, 0.8982]	22 (61.11) [0.4422, 0.78]	9 (81.81) [0.5504, 1]	8 (72.72) [0.41, 1]

Tabla 1.- Intervalos de confianza para las proporciones correspondientes a la respuesta entre la App y la audiometría tonal. *Se observa un Intervalo de Confianza (IC) de 95%*

DISCUSIÓN

La pérdida auditiva en niños escolares es un patología multifactorial subdiagnosticada. En nuestro país no contamos con estrategias eficaces para realizar un cribado epidemiológico adecuado.

Este protocolo se desarrolló con la intención de probar un medio de tamizaje audiológico a esta población en específico y posteriormente extenderlo para lograr una adecuada canalización de los pacientes al médico audiólogo.

Se realizó una comparación entre el estándar de oro para la evaluación auditiva, la audiometría tonal; en contra de una aplicación médica para celulares inteligentes la cual fue desarrollada por personal capacitado en el tema y con experiencia previa en calibración biológica.

Se evaluaron un total de 47 niños, 36 de ellos eran normoyentes (controles) y 12 tenían un grado de hipoacusia uni o bilateral (casos). Los normoyentes fueron 20 niños de género masculino y 16 de género femenino (Fig 1). Los hipoacúsicos 6 de cada género con un total de 12 (Fig 2). La edad de los controles oscilaba entre los 6 y 12 años, sin tener sujetos de 11 años (Fig 3). La edad de los casos se encontraba en el mismo rango, pero en este caso no reclutó sujetos de 10 años (Fig 4); Identificando la apropiada adecuación de este tipo de evaluación en niños escolares.

Se documentó el tiempo que tomó a los participantes en la prueba, el completar la evaluación con la aplicación médica para dispositivo móvil encontrando un rango de tiempo de 5 hasta 12 minutos para sujetos normoyente con un pico en 7 minutos (Fig 5). Los hipoacúsicos tardaron de 6 a 10 minutos en realizar esta evaluación con picos en 8 y 9 minutos (Fig 6). En ambos grupos de estudio se encontró una correlación entre la edad, cooperación y comprensión de la prueba en relación al tiempo que toma terminarla.

La sustracción de datos que se realizó pareando la aplicación médica y la audiometría tonal, organizando los datos por frecuencias (250Hz, 500Hz, 1000Hz, 2000Hz, 4000Hz, 8000Hz). Se identifica que en el oído derecho de los

pacientes control se obtiene una mayor coincidencia en frecuencias de 250, 500 y 4000Hz (Fig 8), en el oído contralateral de este mismo grupo de estudio se obtiene una mayor pareabilidad en 500Hz sin embargo se llegan a tener diferencias entre la prueba móvil y el estándar de oro de hasta 15 o 20dB en algunas frecuencias (Fig 9). En el análisis de los resultados obtenidos en los casos, se obtiene mejor respuesta en frecuencias altas, sin embargo sobresale la inconsistencia en los resultados de cada prueba tanto para el oído derecho (Fig 10) como para el oído izquierdo (Fig 11).

Debido al limitado tamaño de la muestra obtenido, no se logró determinar el nivel de significancia estadística de la prueba, sin embargo se obtuvo un intervalo de confianza del 95% (Tabla 1), confirmando la confiabilidad de esta aplicación medica como un método de cribado rápido para detección de hipoacusias, tomando como referencia una diferencia entre el estándar de oro y la aplicación de 0dB hasta +/-5dB. Sin embargo no se recomienda para evaluaciones audiométricas en pacientes con hipoacusia ya diagnosticada o utilizarlo como un estándar para ajuste de auxiliares auditivos de cualquier índole.

Todas las evaluaciones con la aplicación medica fueron realizadas con un solo dispositivo adecuadamente calibrado por una persona normoyente, por un médico audiólogo capacitado que corroboraba la permeabilidad del conducto auditivo externo, aseguraba realizar el estudio en un ambiente libre de ruido, así como una adecuada colocación de los auriculares y cooperación del paciente, tomando esto en cuenta se debe considerar el sesgo que existiría si estas valoraciones las realiza personal que no está adecuadamente capacitado.

Existen otro tipo de aplicaciones médicas que realizan evaluaciones auditivas, sin embargo no cuentan con el beneficio de implementar una calibración biológica con los auriculares que se adapten para el protocolo, ni con el peso que tienen las investigaciones publicadas por su desarrollador, mismas que ya fueron citadas previamente.

CONCLUSIÓN

La evaluación del software “prueba de audición 1.0.12” en relación con la audiometría tonal, mostró alta compatibilidad como cribado rápido para detección de hipoacusia en niños escolares. Esto confirma la capacidad que tienen este tipo de evaluaciones en el rastreo y vigilancia epidemiológica de hipoacusias. Teniendo en cuenta las limitaciones del método, consideramos la viabilidad del software “prueba de audición 1.0.12” en el tamizaje de pérdidas auditivas desde una población escolar a gran escala apelando a su bajo costo económico, portabilidad, reproductibilidad y nivel de confianza.

ANEXOS



Ciudad de México a ____ de _____ del año _____

CARTA DE CONSENTIMIENTO INFORMADO

El presente documento, tiene por objetivo invitarlos a participar en la investigación que lleva por nombre "Evaluación del software Prueba de Audición 1.0.12 en niños escolares como cribado rápido para detección de hipoacusia", que se llevará a cabo en el área de Audiología, Otoneurología, Foniatría y Patología de lenguaje del Instituto Nacional de Rehabilitación "Luis Guillermo Ibarra Ibarra". En México existen 2.4 millones de personas con discapacidad auditiva estimando que 85,000 son menores de 14 años, siendo lo anterior motivo por el cual realizamos esta investigación, cuyo objetivo es evaluar la utilidad del programa Prueba de Audición 1.0.12 como una herramienta para detectar pérdidas auditivas en niños de primaria.

En presencia del acompañante se realizará revisión de oídos para corroborar la limpieza de los mismos. Se colocarán los auriculares para realizar el procedimiento, tomando un lapso de tiempo de 5-10 minutos. Posteriormente otro investigador realizará la audiometría en cámara sonoamortiguada; ninguno de los estudios presenta riesgo para la salud, por lo cual no recibirá compensación económica por su colaboración.

La participación del paciente podría suspenderse en caso de presentar infección de oído, si el paciente no comprende adecuadamente la indicación o presenta una obstrucción del conducto auditivo que no puede ser removida en el lugar donde se realiza la valoración.

La información obtenida será completamente confidencial y se le mantendrá informado en todo momento los resultados obtenidos.

Se le solicita también que previo a su valoración, llene el formato de historia clínica que se anexa a este documento. Participar en esta investigación presenta un beneficio para el niño, pues se corrobora su umbral auditivo.

Yo, _____ afirmo que:

- Se me informó de la naturaleza de la prueba, de sus objetivos y beneficios.
- He comprendido con claridad toda la información que se me ha proporcionado.
- He tenido la oportunidad de realizar preguntas que me han parecido pertinentes a los procedimientos, riesgos y beneficios, las cuales me han sido respondidas de manera adecuada.
- Se me ha explicado en que consiste nuestra participación en la investigación.
- Entiendo que al participar voluntariamente puedo retirar mi consentimiento informado en cualquier momento sin tener ningún tipo de represalia que demerite en la calidad de mi atención en el Instituto Nacional de Rehabilitación, además de que he comprendido que toda la información brindada será confidencial.

De tal manera que AUTORIZO al equipo investigador para que realice lo antes mencionado.

Nombre y firma del padre o tutor

Nombre y firma del padre o tutor

Nombre, firma y dirección de testigo

Nombre, firma y dirección de testigo

Dr. Jaime A. Jiménez Pérez

*Se entrega copia al padre o tutor.

Responsable de la Investigación Dr. Jaime A. Jiménez Pérez y Dr. Jonathan Eladio Obeso Amillano. Dirección: Av. México-Xochimilco 289, Col. Arenal de Guadalupe, C.F. 14389, Tlalpan, CDMX. Teléfono: 59 99 1000 ext. 18222



Ciudad de México a ____ de _____ del año _____

ASENTIMIENTO INFORMADO

Hola, mi nombre es Jonathan y trabajo como médico residente de la especialidad de Audiología, Otoneurología y Foniatría del Instituto Nacional de Rehabilitación. Actualmente estamos realizando un estudio para valorar los resultados de una aplicación de celular, detectando niños con pérdida de audición. En México existen muchos niños a los cuales no se les detecta una pérdida de audición de manera adecuada. Para ayudar a estos niños, te pedimos tu ayuda.

La cual consistirá en colocarte unos audífonos y levantar la mano cuando escuches un sonido. El estudio tardará aproximadamente 5-10 minutos y no sentirás ningún dolor o molestia.

Después, junto con la persona que te acompaña, pasarás adentro de un cuarto un poco más pequeño donde te colocaremos otros audífonos y te pediremos de nuevo que levantes la mano cuando escuches sonidos.

Tu participación en el estudio es voluntaria, es decir, aun cuando tu papá o mamá hayan dicho que puedes participar, si tu no quieres hacerlo puedes decir que no. También es importante que sepas que si en un momento dado, ya no quieres continuar en el estudio, no habrá ningún problema.

Los resultados de tus pruebas servirán para que el futuro, se pueda detectar fácilmente la pérdida de audición en niños de tu edad.

Esta información será confidencial, esto quiere decir que no diremos a nadie tus respuestas o resultados de tus pruebas; solo lo sabrán las personas que forman parte del equipo de la investigación.

Si aceptar participar, te pido que por favor pongas una (✓) en el cuadrado de abajo que dice "Si quiero participar" y escribe tu nombre.

Si no quieres participar, no pongas ninguna (✓), ni escribas tu nombre

Si quiero participar

Nombre: _____

En este Asentimiento informado se me explica y se solicita mi autorización para realizar las pruebas auditivas en el área del servicio de audiología. Por lo tanto estoy de acuerdo en participar en esta investigación.

Dr. Jonathan Eladio Obeso Amillano

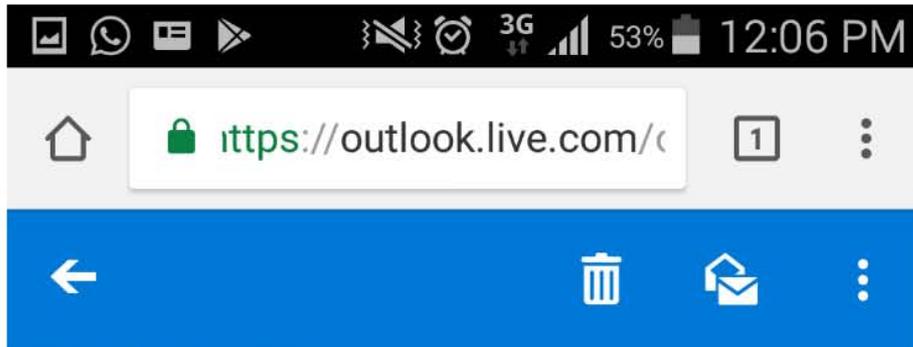
Nombre y firma del testigo

Relación con el paciente

*Se entrega copia al padre o tutor.

Responsable de la investigación Dr. Jaime A. Jiménez Pérez y Dr. Jonathan Eladio Obeso Amillano. Dirección: Av. México-Xochimilco 289, Col. Arenal de Guadalupe, C.P. 14389, Tlalpan, CDMX. Teléfono: 59 99 1000 ext. 18222

Autorización del creador de la Aplicación médica para su uso en investigación.



Dear Jonathan Obeso,

Thank you for the interest in my app. I'm glad that you found it useful.

Of course, you have my permission to use the Hearing Test app in your project. The main idea of the app was to provide a hearing screening tool and increase the availability of the hearing tests especially in underserved communities.

Could you please send me fragments of you research protocol (if it is not confident) concerning the usage of the app - I could check, if the app can meet your needs.

The development of the app and research upon its basis are currently in the center of my interest. I'm open for the cooperation.

Kind regards,
Marcin Masalski

//-----
MARCIN MASALSKI, MD, PhD
EAR, NOSE & THROAT SPECIALIST
COMPUTER SCIENTISTS
TEL: [+48 515086252](tel:+48515086252)
EMAIL: masalski@e-audiologia.pl

TECHNOLOGIE INFORMATYCZNE W MEDYCYNIE; PRAKTYKA LEKARSKA
RADWANICE, UL. GWIAZDZISTA 23/1 LOK. 2
55-010 SIECHNICE
<http://www.e-audiologia.pl>

BIBLIOGRAFIA.

1. Díaz C, Goycoolea M, Cardemil F. Hipoacusia: trascendencia, incidencia y prevalencia. Rev. Med. Clin. Condes - 2016; 27(6) 731-739
2. Benito J, Ramirez B, Casasola M. Etiología de la hipoacusia infantil. Rev. ORL, 2017, pp. 69-83
3. Salesa Batlle, Enrique. Tratado De Audiología 2º Edición. Elsevier Masson. 2013
4. Benito J, Rico S. Hipoacusia: identificación e intervención precoces. Pediatr Integral 2013; XVII(5): 330-342
5. Núñez F, Jáudenes C, Sequí J. Recomendaciones CODEPEH 2014 para la detección precoz de la hipoacusia diferida. An Pediatr (Barc). 2016;85(4):215.e1-215.e6
6. Lino A, Castañeda M. Tamiz auditivo neonatal universal en México. Salud pública de México, vol. 57, no. 2, marzo-abril de 2015
7. Faletty P. The importance of early detection of hearing loss. Rev. Med. Clin. Condes - 2016; 27(6) 745-752
8. Carranza C, Toral R. Resultados del diagnóstico temprano de sordera en recién nacidos sin factores de riesgo. An Med (Mex) 2016; 61 (2): 93-97
9. Goycoolea M, Ernst J. Métodos de evaluación auditiva. Dpto de Otorrinolaringología, Clínica Las Condes y Audia. Enero 2003. Vol. 14 N°1
10. AEDA. Normalización de las pruebas Audiológicas (I): La audiometría a tonal liminar. Revista electrónica de audiología. 15 Febrero 2002, vol. 1(2), pp. 16-19
11. AEDA. Normalización de las pruebas audiológicas (II): La audiometría verbal o logoaudiometría. Revista Electrónica de Audiología. 15 Febrero 2002, vol. 1 (2), pp. 34-36
12. Hanrahan C, Dy Aungst T, Cole S. Evaluating Mobile Medical Application. 2014, American Society of Health-System Pharmacists.
13. Rourke R, Chan D, Bromwich M. Tablet Audiometry in Canada's North: A Portable and Efficient Method for Hearing Screening. Otolaryngology– Head and Neck Surgery 2016, Vol. 155(3) 473–478.

14. Masalski M, Grysiński T, Kręcicki T. Biological calibration for web-based hearing tests: evaluation of the methods. *J Med Internet Res.* 2014; 16(1):e11. doi: 10.2196/jmir.2798.
15. Masalski M, Kipiński L. Hearing Tests on Mobile Devices: Evaluation of the Reference Sound Level by Means of Biological Calibration. *J Med Internet Res.* 2016 May 30;18(5):e130. doi: 10.2196/jmir.4987.
16. Masalski M, Grysiński T, Kręcicki T. Hearing Tests Based on Biologically Calibrated Mobile Devices: Comparison With Pure-Tone Audiometry. *JMIR Mhealth Uhealth.* 2018 Jan 10; 6(1):e10. doi: 10.2196/mhealth.7800