

00381

31



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS  
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO

EVOLUCION DE LA AUDICION EN 4 ESPECIES DE  
VERTEBRADOS A TRAVES DE LA COMPARACION  
DE LOS POTENCIALES PROVOCADOS AUDITIVOS  
DEL TALLO CEREBRAL

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADEMICO DE  
DOCTOR EN CIENCIAS (BIOLOGIA)

P R E S E N T A :

M. en C. JOSE DE JESUS MORALES MARTINEZ

DIRECTOR DE TESIS: DR. HUGO SOLIS ORTIZ

2001



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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.

## AGRADECIMIENTOS.

Agradezco a las autoridades del Instituto de la Comunicación Humana, especialmente al Dr Francisco Hernández Orózco por su apoyo en la realización de este trabajo

Al Dr Hugo Solís Ortiz por su apoyo y orientación en el desarrollo de esta tesis

A la Dra Rosalinda Guevara por sus valiosas sugerencias y críticas en el desarrollo de este trabajo.

Al Dr Fructuoso Ayala Guerrero, por observaciones y consejos en la revisión final del trabajo

Y a todos aquellos que de alguna manera intervinieron con aportaciones, críticas, y sugerencias que hicieron posible la terminación de este trabajo.

## DEDICATORIA.

Dedico este trabajo en especial a mi esposa por su amor y apoyo incondicional a los proyectos que ambos iniciamos hace muchos años y que sin su paciencia, consejo oportuno y orientación, hubiera sido muy difícil llegar hasta aquí .

A mis hijos José de Jesús y Cindy, por ser uno de los estímulos que me dan fuerza e iluminan mi vida, esperando a la vez que este trabajo retroalimente sus objetivos y metas personales.

A mis padres como un homenaje a su memoria, por sus consejos y ejemplos que han sido mi guía en el camino

A mis hermanos y familiares, porque de alguna manera han estimulado mi superación

INTRODUCCIÓN .....	7
1.0 FUNDAMENTO TEORICO .....	21
1.1) Vía Auditiva Anfibios. ....	23
1.2) Vía Auditiva Reptiles .....	27
1.3) Vía Auditiva Aves. ....	29
1.4) Vía Auditiva Mamíferos .....	31
1.5) Evaluación de la Vía Auditiva. ....	34
II.- JUSTIFICACIÓN.....	35

## I.- INTRODUCCIÓN.

Se considera como un principio básico de la evolución, la modificación o cambio constante de las formas y estructuras de los organismos lo largo del tiempo geológico. Así mismo, se postula que las especies vivientes evolucionaron de formas primitivas. Sin embargo no se tienen pruebas directas de esto, por lo que mucho se ha especulado sobre lo anterior.

Los estudios comparados, principalmente sobre la anatomía, son una herramienta que revela patrones de estructura relativamente constantes, con variaciones complejas en los grupos de vertebrados actuales. Así mismo, poco se sabe de la fisiología comparada, la cual nos podría acercar a las diferencias y semejanzas de los patrones funcionales de las

especies actuales

### Antecedentes de la Audición en los vertebrados

Uno de los temas pobremente tratados desde el punto de vista fisiología comparada es el de la audición. El origen de la audición se remonta hasta los primeros organismos marinos, se considera que el oído deriva de la estructura primitiva denominada "sistema de la línea lateral" que aún se presenta en los organismos acuáticos (Petromizontes, Mixinoideos, Elasmobranquios y Telosteos) y también en larvas de anfibios y algunos anuros acuáticos (Russell, 1976). El sistema de línea lateral es un conjunto de células sensitivas que se distribuyen a lo largo del cuerpo del animal en canales sub-epidérmicos. La biología del sistema de la línea lateral ha sido estudiada en el pasado por Harris y Burgeux (1962) que concluyen que los receptores de la línea lateral responden a la dinámica de los movimientos del agua.

Para entender lo anterior, también se han considerado las relaciones filogenéticas, ontogenéticas entre el sistema de la línea lateral y los sistemas vestibular y auditivo, los cuales han sido llamados colectivamente “sistemas acústicos laterales”. Esto se basa en la similitud morfológica del epitelio sensorial entre el sistema acústico vestibular y el sistema de la línea lateral. Así mismo la fisiología de los diferentes epitelios sensoriales de estos sistemas sensitivos es muy similar (Pumphrey, 1950).

Recientemente se ha encontrado que entre las características del “sistema de la línea lateral” esta el de ser un sistema sensorial de propiocepción que permite a los peces mantener la postura y el tono muscular para el movimiento natatorio. Se ha demostrado que los peces y los anfibios responden a los desplazamientos de agua causados por sus propios movimientos para localizar objetos en su medio ambiente (Harris y Bergeux, 1962).

La morfología de la “línea lateral” es muy similar en todos los organismos que la presentan. Esta formada por agrupaciones de células denominadas neuromastos. Estos se encuentran superficialmente sobre la piel, sin embargo en algunos telósteos se encuentran embebidos en canales sub-epidérmicos que van del cuerpo a la cabeza del animal (Romer, 1980). Las células sensoriales denominadas también células pilosas se encuentran en la parte media apical de los neuromastos. En algunos organismos, la superficie apical de los neuromastos se halla embebida en depresiones de la piel. Se ha encontrado que en larvas de algunos anfibios, estas células pilosas no se encuentran embebidas dentro de estos recesos, sino que están sobre la superficie de la piel. En la región de la cabeza de los organismos acuáticos y larvas de anfibios los neuromastos son inervados por fibras del nervio anterior de la línea lateral (VII par lateral anterior) y todos los neuromastos restantes.

son inervados por la parte posterior del nervio lateral posterior (X par lateral posterior) Las fibras de estos dos nervios se proyectan con aquellas del octavo par y arriban al área acústico lateral en la porción dorsal del tallo cerebral En estudios experimentales con anfibios acuáticos del género Xenopus, los cuales fueron cegados previamente, se ha demostrado que el sistema de la línea lateral detecta objetos y organismos a distancia Se considera que a pesar de la ceguera provocada en Xenopus, éste utiliza otros sistemas sensoriales en sustitución del visual, entre ellos el vestibular (Gurner, 1971)

Hipotéticamente se considera que la audición entre los vertebrados se desarrolló como una adaptación de estos mecanismos de percepción vibratoria procesados inicialmente por el sistema de la línea lateral. La capacidad de oír proporcionó un medio para rastrear presas y escapar de los depredadores Desarrollos posteriores capacitaron a los animales para utilizarla en combinación con el aparato fono-articulador como medio esencial para la comunicación

El primer tipo de oído y de audición se presentó en los peces óseos (osteictios) y particularmente en los telosteos Estos presentan una original adaptación de un sistema de huesecillos en las vértebras "cervicales" entre la vejiga natatoria y el laberinto del cráneo, llamados osículos de Weber, que funcionan como un sistema análogo al oído medio de los mamíferos. De tal manera que cuando los desplazamientos de agua chocan contra el cuerpo del animal, esta información es procesada inicialmente por el sistema de la línea lateral, así como por los osículos de Weber, los cuales vibran transmitiendo la información a través de la vejiga natatoria y el cráneo hasta el cerebro, complementando la información inicial dada por el sistema de la línea lateral

La información sensorial es llevada al sáculo en el laberinto. En esta estructura, el pez aparentemente decodifica los estímulos auditivos utilizando las vías vestibulares, las cuales también reciben fibras del órgano de la línea lateral

Los centros cerebrales reservados para la audición en los peces están localizados en el tallo cerebral. El área acústico-lateral se ubica en el ángulo pontocerebeloso, y envía fibras contralaterales hacia el lado homólogo y se relaciona con la formación reticular, cerebelo, mesencéfalo contralateral por fibras que ascienden a través del lemnisco lateral. Se considera que el área acústicolateral es homóloga de los núcleos cocleares de los vertebrados terrestres. Aunque se ha debatido mucho sobre la posibilidad de audición en peces, los etólogos han logrado acondicionar algunos peces al susurro de la voz humana para alimentarles (Sarnat y Netsky, 1976)

Se ha podido registrar potenciales provocados auditivos del tallo cerebral en rayas, tiburones, bichiris, lepisosteos, peces cuchillo asiáticos y africanos, las frecuencias graves entre 180 a 500 Hz parecen estar dentro de su rango de audición.

Particularmente los telosteos responden a sonidos dentro de una gama moderada de frecuencias, su respuesta auditiva del tallo cerebral se representa como un complejo de varias ondas dentro de los 10 primeros milisegundos (ms) (Corwin y cols., 1982).

Durante la evolución de los vertebrados terrestres ocurrieron cambios importantes en las estructuras periféricas y centrales del Sistema Nervioso Central. Uno de los principales problemas fue igualar la impedancia en la transmisión del sonido de un medio aéreo abierto a un medio líquido cerrado (oído interno), situación contraria a la que se presenta en los vertebrados acuáticos en donde los dos medios (líquidos) igualan su impedancia de manera

natural. Esto se acompañó de propuestas y ensayos mecánicos de la naturaleza que consistieron en brazos- palanca que terminaron en la formación de la cadena de huesecillos del oído medio y por un radio de la membrana timpánica más eficiente (Werner y Wever, 1972).

#### Desarrollo del oído en anfibios.

Los anfibios son los vertebrados terrestres más antiguos cuyos restos fósiles datan de aproximadamente 360 millones de años. Su antecesor marino es un crossopterigio, sin embargo se reconoce que el anfibio más temprano es un ictiostegido que retuvo su cola y aletas y el sistema de la línea lateral.

Los anfibios primitivos pasaban más tiempo en el agua que en la tierra. Por lo que su audición se limitaba al ambiente acuático. Detalles anatómicos del cráneo sugieren que se separaron tempranamente de la línea evolutiva principal de los anfibios y no pueden considerarse como ancestros de los anfibios tardíos (Radinsky, 1987) (figura 1)

Los anuros ocupan una gran variedad de hábitats, se les puede encontrar desde el desierto hasta en medios acuáticos. Esta característica se refleja en el sistema auditivo periférico y en la organización de la vía acústica central. Todos los anfibios poseen el órgano de la línea lateral durante el estadio larvario, pero en la mayoría de ellos se pierde durante la metamorfosis, este es reemplazado por un verdadero sistema auditivo. Sin embargo el género Xenopus, anfibio completamente acuático, conserva en parte el órgano de la línea lateral en el estadio adulto, a pesar de que posee un sistema auditivo bien desarrollado (Campbell y Boord 1974).

Los anfibios modernos, son los primeros animales que presentan el oído medio. En fase larvaria persiste el órgano de línea lateral, pero en fase terrestre el laberinto membranoso se transforma para producir receptores auditivos. En la vida larvaria las ranas presentan un huesecillo llamado columnela bronquial, la cual se adhiere a la ventana redonda del oído interno y por el otro extremo al saco pulmonar y bronquios del mismo lado del cuerpo, la ventana oval funciona como un liberador de la presión del huesecillo sobre los fluidos del oído interno. En la etapa larvaria, los pulmones hacen la vez de membrana timpánica, ya que la verdadera membrana timpánica no es funcional debido a la desconexión con la columnela bronquial.

Durante la metamorfosis de larva a adulto, la columnela bronquial se desintegra. Entonces un sistema de columnela timpánica reemplaza a la anterior y comienza a funcionar transmitiendo el estímulo de manera eficiente, ya que se conecta directamente con la membrana timpánica. En este estado, el sistema osicular se conecta con la membrana oval, mientras la redonda sirve como salida de la energía. Así mismo se presentan modificaciones al interior de la cavidad oral en los vertebrados terrestres, que se inician con los anfibios terrestres, al formarse la coana o trompa de Eustaquio cuya función es la de igualar las diferencias de presión que se generan en el oído interno (Bergeijk 1966)

En los trabajos realizados en el grupo transicional entre el agua y la tierra, los Anfibios demuestran un oído periférico anatómica y funcionalmente mucho más elaborado, así como un tallo cerebral mucho más complejo que el de los peces. Se ha hallado (Capranica y Frishkopf 1966) que la mayoría de las ranas macho emiten un canto para aparearse, que

inmediatamente es replicado por la hembra, aunque lo más interesante consiste en que, una especie solo responderá a determinada banda espectral de frecuencia. Esto probablemente es debido a la presencia de dos papilas auditivas (anfibia y basilar) que da como resultado, cierta organización tonotópica a determinadas frecuencias, (Wever, 1981), y más adelante, su decodificación en los núcleos del tallo cerebral.

La papila anfibia y la basilar están colocadas en lugares opuestos dentro de la cápsula ótica y al parecer los dos órganos están entonados en diferentes regiones de frecuencias. Cada una de las dos papilas posee su propio grupo de células pilosas con su membrana tectoria. La papila basilar es un pequeño órgano formado por una evaginación de la pared posterior del sáculo. Aparentemente el sáculo podría tener también una función de tipo auditivo, la forma y relaciones del neuroepitelio basilar son pobremente conocidos y no se ha comprobado que reciba inervación eferente (Schucker, 1972).

La papila anfibia es un órgano más complicado, se forma como protuberancia de la pared medial de sáculo y recibe inervación aferente y eferente y se considera que tiene algún tipo de relación filogenética con la papila neglecta de la formación utrículo-sacular en los peces (Flock y Flock, 1966)

Las fibras acústicas provenientes del oído interno terminan en el núcleo medular dorsal, los núcleos de ambos lados están interconectados por una comisura. Este es el sitio inicial de interacción biaural. Las células de los núcleos medulares dorsales envían sus proyecciones a los núcleos olivares superiores contralaterales, cada núcleo olivar proyecta a su vez a las células del núcleo del "toro semicircular" del mesencéfalo. Las células del núcleo del toro semicircular proyectan al núcleo posterocentral del tálamo, el cual representa el centro

auditivo mas alto dentro del cerebro de la mayoría de los anfibios (Larsell 1967; Potter, 1965)

El rango de audición varía entre especies, pero está condicionado por los dos receptores auditivos. La papila anfibia es receptiva a frecuencias en la región de 200 a 800 Hz, mientras la papila basilar lo es a 1, 200 a 1. 600 Hz Debido a que la comunicación en los anfibios juega un importante rol en la conducta de apareamiento, el oído del anfibio esta fuertemente entonado a su voz, , como por ejemplo los "croares" en la región de 10 Hz a 200 y 1, 400 a 1, 600 Hz (Capranica y Frishkopf, 1966). Se han registrado potenciales provocados auditivos del tallo cerebral en *Rana catesbiana* (Morales y cols. 1995, Morales y Ortiz 1999) en respuesta a clicks (chasquidos) de banda ancha con buena respuesta a 70 dB de intensidad.

#### Desarrollo del oído en reptiles

Una de las ventajas diferenciales entre los anfibios y los reptiles fue la presencia del huevo amnioto, el cual a diferencia de los huevos del anfibio, se incubaba totalmente en un ambiente terrestre desechando la fase larvaria acuática y distingue a los reptiles tempranos de sus ancestros anfibios, así mismo se presenta también una reducción en el número de huesos. El cráneo de los reptiles tempranos se distinguía por ser relativamente pequeño, estrecho y más bajo que el de los laberintodontos. No presentan hendiduras en la parte dorsal del cráneo para la instalación de la membrana timpánica y el estapedio era un hueso masivo que reforzaba los huesos de la mejilla y probablemente no se relacionaba con la audición. En los

reptiles más primitivos la membrana timpánica, y el estapedio (columnela) eran muy poco funcionales en la transmisión del sonido (**figura 1**)

En general la cápsula del oído interno de los reptiles esta bien osificada y el laberinto óseo muestra bien definidos los canales semicirculares y el vestíbulo, en ocasiones se alcanza a apreciar un receso coclear incipiente. Las células pilosas del neuroepitelio estan formadas en su mayoría por columnas y muestran sinapsis aferentes con terminaciones nerviosas aferentes y eferentes (Prebil, 1967)

Un significativo avance filogenético es evidente en el laberinto reptiliano, en donde el ducto coclear es un apéndice de la región posterior del sáculo con el ducto reuniens y una organización de partes comparable a la de las aves y a la de algunos mamíferos primitivos

Excepto en los cocodrilos, la pared lateral del ducto forma una delgada membrana vestibular y la parte distal (lagenar) contiene la mácula lagenar. Las variaciones morfológicas en esa parte son muy marcadas, sin embargo muestran alguna correlación con la mayoría de los grupos de reptiles (Miller, 1968).

La papila basilar es una estructura que tiene diferencias entre los reptiles (Takasaka y Smith, 1971), el significado de tales variaciones no es muy claro, pero existen algunos indicios que estos pueden reflejar diversos estadios en varias líneas diferentes de “experimentos evolutivos” alrededor del receptor auditivo primario

Un grupo importante desde el punto de longevidad evolutiva es el de las lagartijas. Con pocas excepciones este grupo no ha divergido significativamente del plan corpóreo de los reptiles primitivos. Aparecen hace aproximadamente 225 años y aparentemente han tenido una modesta radiación evolutiva comparada con sus contemporáneos dinosaurios. Las

principales modificaciones del cráneo de las lagartijas, fueron el desarrollo de dos aberturas temporales en el cráneo, asociados a una disminución de los huesos de la mandíbula inferior. Hay alrededor de 3000 especies vivas de lagartijas, la mayoría de tamaño pequeño e insectívoras, con muy buena audición (Morales y Ortiz 1999). Algunas de las más grandes son herbívoras, pero se carecen de trabajos de investigación y datos para juzgar su audición.

#### Desarrollo del oído en las aves

Los reptiles aportan los ancestros comunes de las aves y los mamíferos. Cabe mencionar que estos ancestros tal y como se ha tratado anteriormente corresponden a diferentes formas reptilianas (Alvarez 1985). La mayoría de las aves se caracteriza por adaptaciones especiales para el vuelo. Sin embargo, el desarrollado sentido de la audición a partir de este grupo resulta de particular importancia ya que se relaciona esencialmente, con los principios de los códigos de comunicación en las aves canoras y de gorjeos en las aves no canoras.

Las aves del orden de las paseriformes representan más de la mitad de las especies vivientes y son consideradas las aves más evolucionadas e incluyen a la mayoría de las aves canoras. Sin embargo, las no paseriformes, como la lechuza, han desarrollado adaptaciones muy sensibles en su audición que le permiten, a parte de desarrollar una comunicación relativamente primitiva, ser eficientes cazadores en la oscuridad.

Las aves presentan un oído externo con un conducto auditivo muy pequeño el cual conduce a la membrana timpánica (figura 1). En el oído medio de las aves, los huesos cuadrado y escamoso forman el soporte de la membrana timpánica, en algunas aves como las lechuzas y aves canoras, la relación entre el radio de la membrana timpánica y los osículos es mayor,

mejorando con ello la calidad de su audición. Las dos cavidades del oído medio: la cavidad timpánica y la trompa de Eustaquio comunican con la cavidad oral en la orofaringe. El complejo óseo estapedial es largo y delgado, y produce protusión de la membrana timpánica, la parte media de la membrana timpánica es ocupada por el proceso supraestapedial que continúa descendentemente con el infraestapedial. Se observan dos músculos homólogos a los del oído medio de los mamíferos, el tensor y laxador timpánico (Boord 1969).

Unido al agujero periótico se encuentra el acueducto coclear y la ventana semiredonda. La ventana contiene la membrana timpánica secundaria la cual es análoga solamente a la ventana redonda de los mamíferos. El desarrollo final del oído interno de las aves muestra algunas homologías con los cocodrilos, sin embargo morfológicamente estas estructuras muestran diferencias considerables.

Se considera que la forma general del laberinto ótico de las aves presenta cambios característicos respecto de las condiciones reptilianas, aunque hay evidencias de que algunos de estos cambios los presentan también los cocodrilos, lo que sugiere, entre otras características, que el cocodrilo aparentemente es el más evolucionado de los reptiles.

Las curvas anteroventrales del laberinto ótico sugieren un espiralamiento y una expansión distal, que ocupa el receso coclear. Así mismo en los cocodrilos, un alargado limbo (cartílago anterior y posterior) contiene la membrana basilar en una pared del ducto y en la contrapared aparece un delgado tegumento vascular, presumiblemente homólogo a la membrana vestibular y a la estría vascular de los mamíferos (Rosenhall, 1971). La histología y citología evidencian un progresivo cambio filogenético en la forma del laberinto de las aves asociado primariamente a las características del sáculo y el ducto coclear.

## Desarrollo del oído en los mamíferos

Los primeros mamíferos aparecieron aproximadamente hace 190 millones de años y según hipótesis descienden de una línea de pequeños reptiles pertenecientes al grupo de los terapsidos (cianodontos). Diferentes de otras formas de ancestros reptilianos, parecen estar relacionados con una vida más activa basada en un metabolismo más constante y rápido. Las modificaciones estructurales involucraron, en su origen, mejoría en su sistema locomotor y en su alimentación. La locomoción de los mamíferos involucró cambios en los sistemas muscular y óseo que originaron modificaciones en la posición de los miembros inferiores que les permitió pasar de una postura tetrápoda a una postura semi-erecta o erecta principalmente en el orden de los primates, con pleno dominio de la posición bípeda en la especie *Homo sapiens*. Aún cuando no es el interés de este trabajo, es necesario comentar que una de las estrategias evolutivas más importantes de los mamíferos fue el desarrollo de la viviparidad a través de la aparición de la placenta (en la mayoría de ellos), estructura muy ventajosa para la sobrevivencia, comparada con la oviparidad, ya que esta permite una nutrición completa del embrión vía sangre materna a través del intercambio de nutrientes y salida de sustancias de deshecho (Alvarez 1985). Todavía, después del nacimiento, las crías de los mamíferos incluyendo a los ovíparos (Equidna) y los marsupiales, son nutridos por una secreción especial rica en proteínas y grasas (leche).

Sin embargo, una de las principales transformaciones en el camino evolutivo de los mamíferos fue el incremento en el tamaño del cerebro. Así como en las aves, el cerebelo

aumentó en tamaño, permitiendo un alto grado de coordinación motora utilizado en el vuelo y en el aterrizaje. En los mamíferos tempranos se tuvo un desarrollo equitativo del sistema visual, olfatorio y auditivo que les permitió tener mayores ventajas en su desarrollo y sobrevivencia. De esta forma crecieron las capas externas del cerebro formando pliegues para ocupar menos espacio (formación de neocorteza) y se formaron centros superiores de coordinación de la información (Ariens y cols 1936)

El tamaño de los mamíferos tempranos era parecido al de las ratas y ratones y el oído medio que presentaban tenía un estribo más grande que el de los reptiles tempranos pero probablemente tenía pocas ventajas funcionales sobre el perfecto oído medio reptiliano. Sin embargo estos mamíferos tempranos tenían la habilidad de percibir sonidos de muy alta o baja frecuencia (ultra e infrafrecuencia), que resultaban muy importantes en la localización espacial, la orientación acústica (ecolocalización), predación y comunicación vocal, útiles en la búsqueda de alimento, en la defensa territorial y la reproducción.

Se considera que desde el mesozoico más de 19 órdenes diferentes de mamíferos que incluyen más de 1000 géneros han retenido los elementos básicos que intervienen en la transmisión del sonido formados por la cadena de huesecillos (martillo, yunque y estribo), la membrana timpánica, la cavidad timpánica y la trompa de Eustaquio (**figura 1**). Sin embargo, estas estructuras muestran considerables diferencias entre género y género (Segali, 1971)

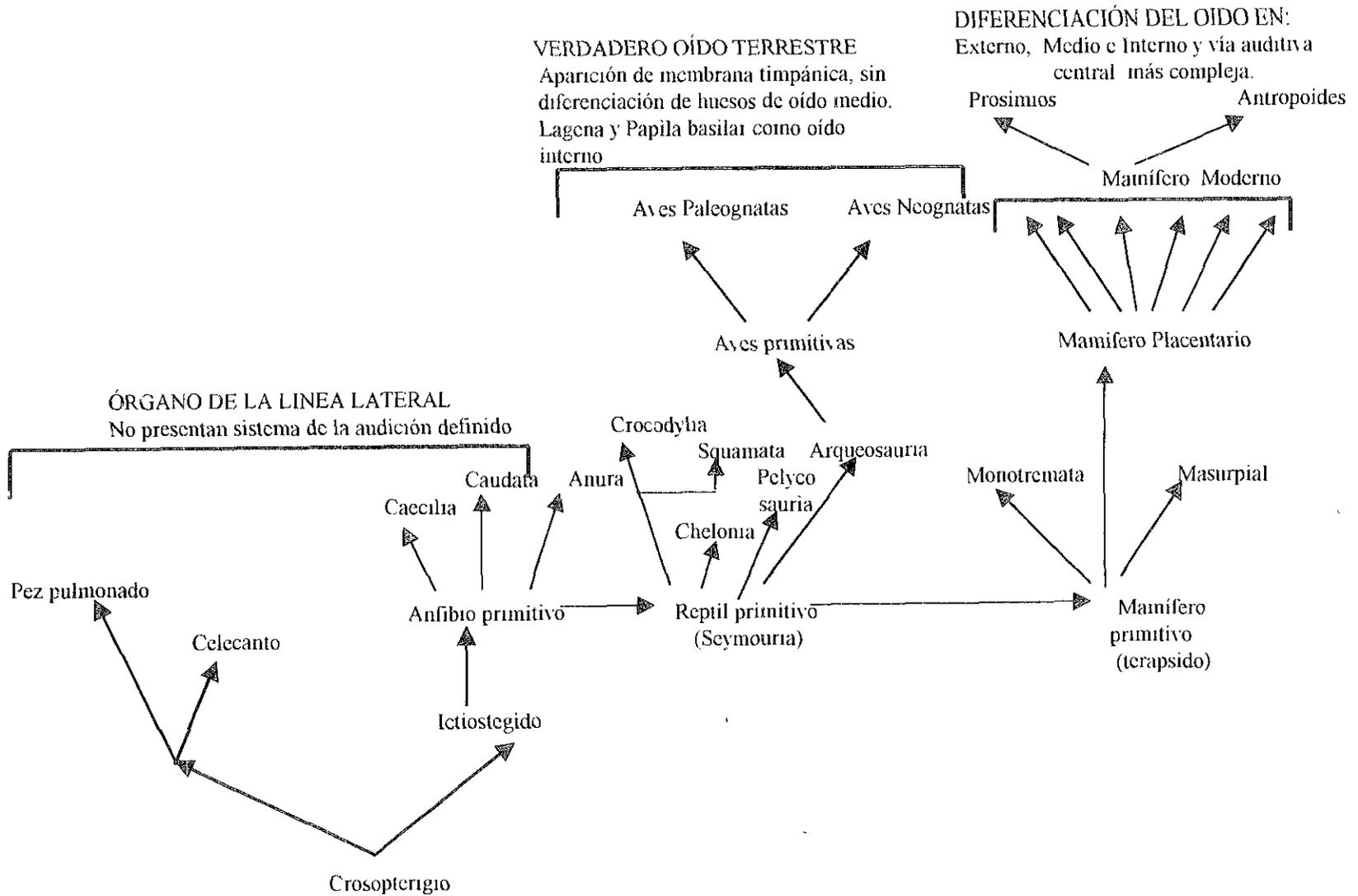


FIGURA 1

EVOLUCIÓN DEL OÍDO DE ACUERDO A LA PRESENCIA, MODIFICACIÓN Y DESAPARICIÓN DE LAS DIFERENTES ESTRUCTURAS AUDITIVAS (PARA MÁS DETALLES, LEER EL TEXTO)

## II.- MARCO TEORICO

En la parte introductoria de este trabajo se revisaron algunos aspectos importantes sobre el origen de la audición, así como de la anatomía comparada del sistema auditivo periférico (Oído externo y oído medio y oído interno) con el objetivo de ubicar el contexto de esta investigación. En este apartado se hará una breve reseña de la técnica utilizada en este trabajo y se describirán las bases anatómicas de la vía auditiva ascendente de los vertebrados terrestres, cuya importancia es trascendente en el desarrollo de este trabajo

Antes de 1930, el estudio de la fisiología de la audición se limitaba exclusivamente a la psicoacústica. Estudios tempranos de H.von Helmholtz (1863) daban ya conceptos sobre los mecanismos de la audición, llamados "Teoría de la Resonancia". Esta hipótesis fue el eje para que se desarrollaran una serie de estudios sobre la física del sonido, especialmente estudios teóricos y experimentales sobre el análisis de los sonidos de la música y los sonidos de la voz humana. Sin embargo, los avances en la electrofisiología permitieron estudiar la salida de los nervios y su ascenso hacia la corteza. La respuesta de las vías sensitivas fue observada y con ello fueron realizados registros de la región auditiva del cerebro del tallo cerebral

Jeweetz en 1970, ensayando una técnica experimental novedosa, aplicada en gatos encontró importantes hallazgos en la integridad de la vía auditiva y en la conducción nerviosa, que de inmediato revolucionaron el diagnóstico clínico y la investigación, en el funcionamiento de las vías sensoriales específicas: los potenciales provocados auditivos del tallo cerebral (PPATC).

El fundamento de esta técnica, consiste en separar la actividad eléctrica propia de la vía sensitiva específica de la actividad eléctrica espontánea del cerebro (actividad basal o de fondo). Dawson en 1947, fue el primero que registró y separó la señal provocada por el ruido de fondo utilizando la técnica de la superposición fotográfica. A estos cambios les llamo complejos "K" o espigas de vertex. En 1976 Davis, estudió estos cambios con varios estímulos como sonidos, luces y descargas eléctricas y observó las modificaciones en diferentes fases de sueño, encontrando que los estímulos auditivos eran los ideales, y que los mejor identificados eran aquellos que se obtenían de los electrodos colocados en la posición del vertex en el cráneo.

Los PPATC han sido más ampliamente estudiados en los seres humanos y se considera que consisten en una serie de siete ondas positivas registradas de la superficie del cráneo durante los 12 primeros milisegundos (ms) siguiendo a un estímulo denominado "click" (chasquido). Estas ondas representan los potenciales de campo originadas en el tallo cerebral y se representan por números romanos que van del I al VII. Principalmente su objetivo clínico es estudiar la integridad funcional de la vía auditiva (Jewett 1970). Sin embargo en la actualidad todavía persiste un considerable debate sobre los probables generadores de estas ondas.

En este trabajo se hará la comparación de los PPATC en cuatro especies de vertebrados terrestres, intentando correlacionar algunos aspectos filogenéticos de los hallazgos.

Los anfibios constituyen el primer grupo de tetrápodos en este proyecto. De los órdenes, actuales los anuros vivientes poseen un eficiente oído terrestre, presentan un pequeño vocabulario vocal y como se mencionó en líneas atrás, son los únicos vertebrados que

presentan dos papilas auditivas que responden al sonido aéreo (papila anfibia y papila basilar (Campbell y Boord 1974)

### II.1.) Vía auditiva en Anfibios.

Durante el estadio larvario, la vía auditiva esta formada por las células del núcleo dorso-lateral del área acústico lateral que representan el rudimento de la formación del núcleo dorsal del octavo par y sus conexiones sinápticas con la línea lateral y las raíces dorsales del octavo par (conexiones auditivas). Estos grupos de células destinados a diferenciarse en los núcleos dorsal y ventral del octavo par, en el estadio adulto reciben entradas de los receptores de la línea lateral y del oído interno

Durante la metamorfosis las conexiones de la línea lateral disminuyen, mientras que las conexiones del octavo par son retenidas y las células de las partes medial y dorsolateral del área acústico lateral no degeneran pero se transforman en los núcleos dorsal y ventral del octavo par respectivamente.

Los núcleos dorsales y ventrales reciben proyecciones del octavo par craneal o nervio estato-acústico, el cual se compone de dos importantes ramificaciones la rama anterior (dorsal) y la rama posterior (ventral). La rama anterior, es considerada funcionalmente como nervio vestibular. En cambio, la rama posterior consiste en diferentes tipos funcionales de neuronas, que presentan un particular interés filogenético debido a las modificaciones de su disposición geométrica, presentes en la medida en que se asciende en la escala evolutiva. La rama posterior lleva consigo fibras de la papila auditiva y de la parte inferior de la mácula sacular (Boord y cols 1970).

Se puede considerar que el total de las neuronas auditivas de las dos papilas (anfibia y basilar) terminan dentro los núcleos acústicos laterales (Gregory 1972). En un trabajo muy interesante Ariëns Kappers y cols (1936) sugieren que el núcleo dorsal es homólogo al núcleo coclear de los mamíferos, así como a los núcleos angular y magnocelular de los reptiles y las aves

Las proyecciones auditivas a través de los diferentes niveles de las neuronas de primer orden, en su mayoría han sido inferidas por comparación con las de los mamíferos, aunque recientemente se han estudiado por medio de modelos anatómicos y fisiológicos experimentales (Morales y cols 1995, Bautista y cols 1995)

Otra estructura es el complejo olivar superior. En anfibios no está completamente definido, en salamandras está ausente y en otros anfibios terrestre es funcionalmente pobre

No presentan un núcleo del lemnisco lateral preciso, pero se encuentran células dispersas a lo largo del tracto bulbo-tectal. El ascenso de las neuronas de la vía auditiva termina principalmente en los núcleos del istmo del tegmento y en el toro semicircular del cerebro medio. En algunos experimentos (Potter 1965) no se encontraron evidencias neurofisiológicas de que los núcleos del istmo sean responsables de la respuesta auditiva

El toro semicircular es una masa de células que se ubica por debajo del ventrículo óptico. Consiste de varios grupos de neuronas que forman el núcleo laminar, el núcleo de la línea media subependimaria, el núcleo principal, el núcleo magnocelular y el núcleo comisural.

De estos núcleos, los principales son los núcleos magnocelular y el comisural, los cuales responden a estímulos auditivos y la función de los otros núcleos aparentemente no se relacionan con la respuesta auditiva. Sin embargo no se ha podido establecer anatómicamente

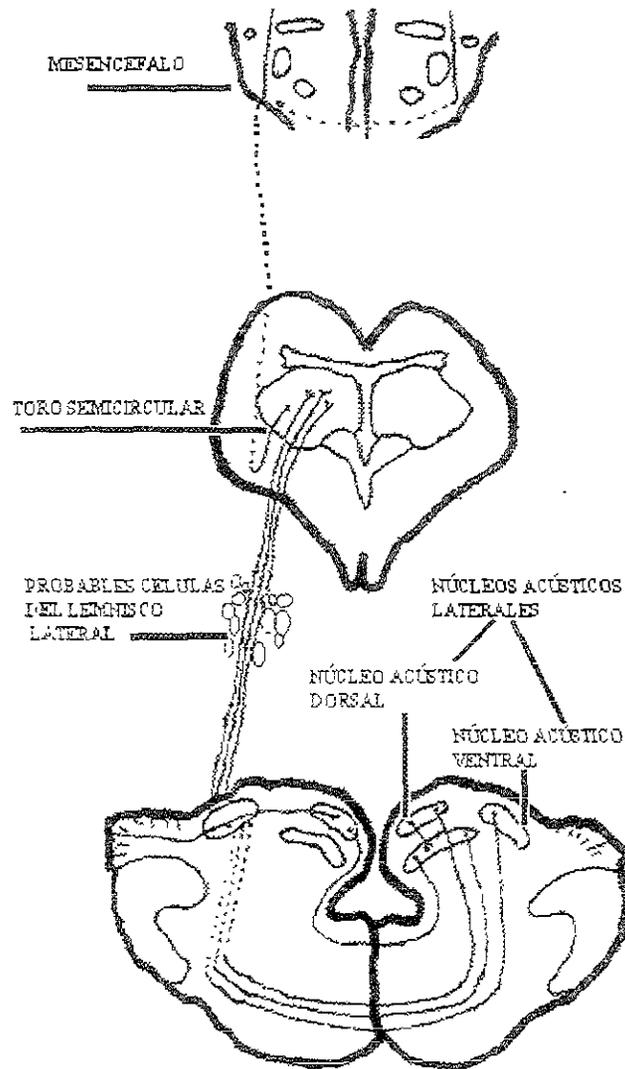


FIGURA 2  
VÍA AUDITIVA DE UN ANFIBIO

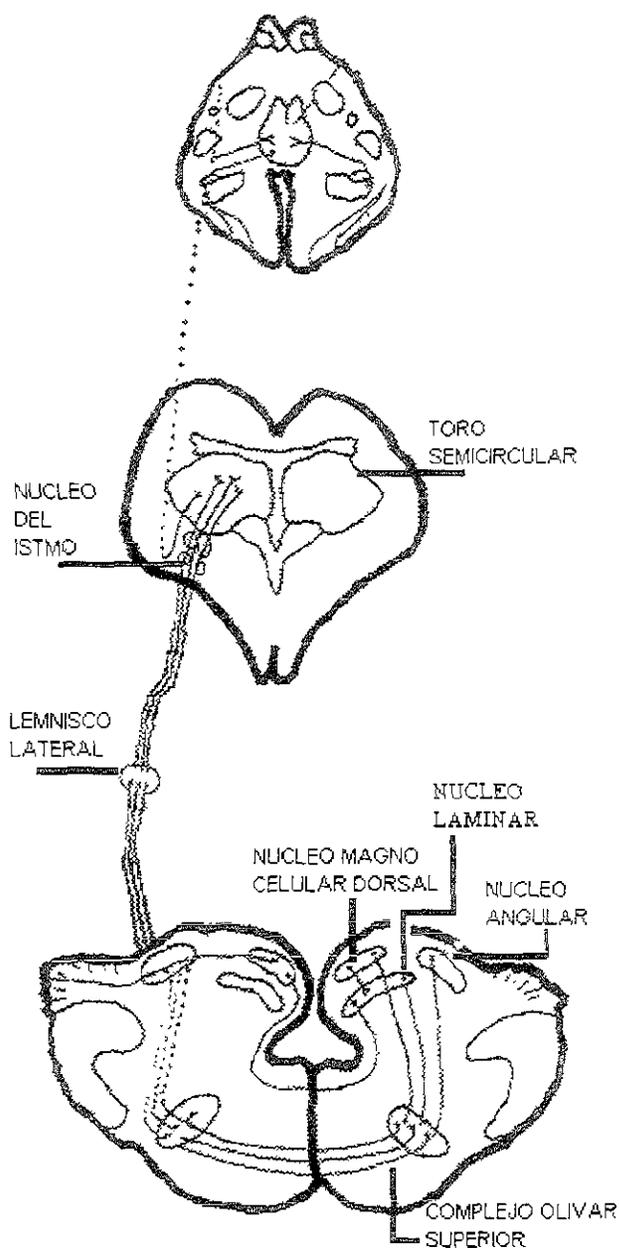
DIFERENTES ESTRUCTURAS DE LA VÍA AUDITIVA DEL TALLO CEREBRAL DE UN ANFIBIO TÍPICO (AUMENTADA 10 VECES) ESTA VÍA SE COMPONE INICIALMENTE DE LOS NÚCLEOS ACÚSTICOS DORSOVENTRALES, HOMÓLOGOS DE LOS NÚCLEOS COCLEARES, MAS ADELANTE LAS FIBRAS SE CRUZAN Y ASCIENDEN A LAS DIFERENTES ESTRUCTURAS QUE INTEGRAN LA VÍA AUDITIVA DEL ORGANISMO (PARA MÁS DETALLES LEER EL TEXTO)

## II.2.) Vía auditiva de los reptiles.

Se considera que la vía auditiva de los reptiles es más similar a la de las aves que a la de los anuros. Estudios anatómicos precursores con cocodrilos, lagartijas y tortugas (Holmes 1903; Beccari 1912; Huber y Crosby 1926) sugieren que la rama posterior del nervio acústico lleva fibras de la papila basilar y de la macula lagenar. La rama anterior lleva fibras desde la cresta del canal posterior y de la pared del sáculo macular, las cuales presentan relaciones centrales diferentes a las de la coclea y la lagena (Hamilton 1963)

Dos núcleos en el tallo cerebral, el angular, y el magnocelular dorsal, han sido descritos como receptores de las fibras de la rama posterior del nervio acústico (Figura 3) en la lagartija Tupinambis utilizando métodos experimentales de impregnación de plata (DeFina y Webster 1974) Estos núcleos envían proyecciones hacia el núcleo laminar

El núcleo olivar superior se subdivide en una porción caudorsal embebido entre las fibras arcuatas del núcleo laminar y una porción ventro rostral asociada con el lemnisco lateral. Se ha descrito una vía auditiva ascendente secundaria que consiste en fibras que parten del núcleo magnocelular dorsal y el núcleo laminar; esta vía adopta un curso arqueado compuesta de fibras cruzadas y no cruzadas dentro del lemnisco lateral (Ariëns Kappers y cols 1936). El núcleo angular envía proyecciones bilaterales al núcleo olivar superior y de esta estructura se envían proyecciones al lemnisco lateral. Las proyecciones del lemnisco lateral llegan al toro semicircular en el cerebro medio. Dispersos a lo largo del curso del lemniscolateral estos grupos de células han sido consideradas como homólogas de los



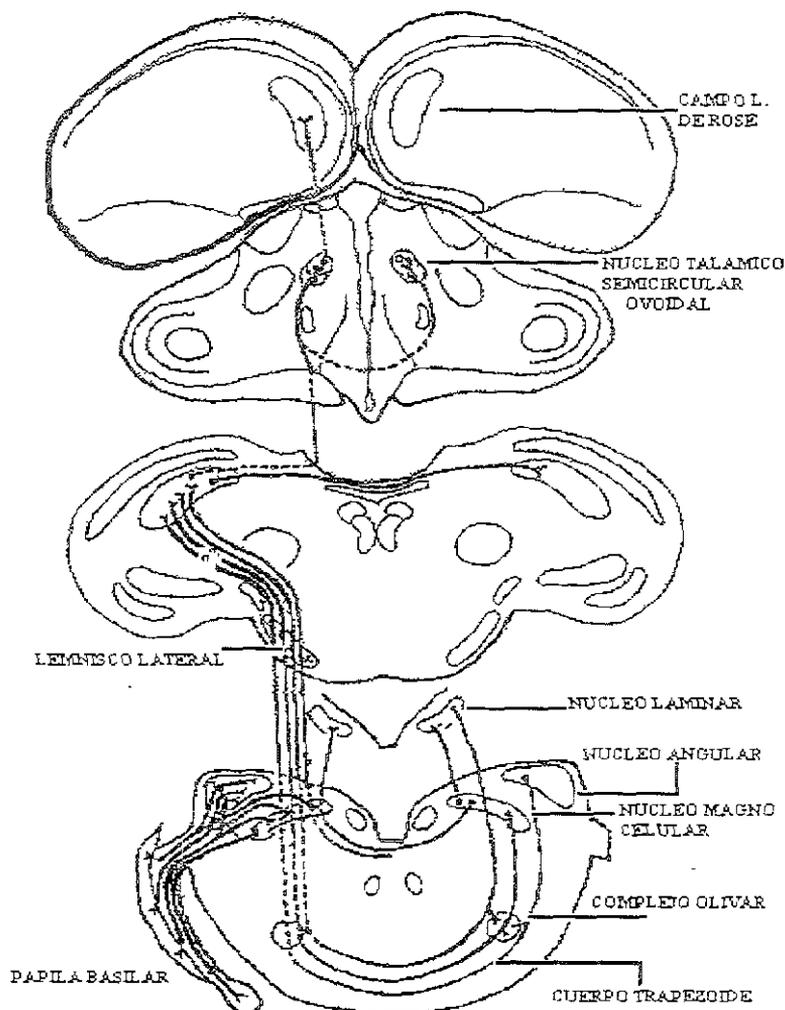
**FIGURA 3**  
**VÍA AUDITIVA DE UN REPTIL**

ESTRUCTURAS DE LA VÍA AUDITIVA DE TALLO CEREBRAL DE UN REPTIL HIPOTETICO SE OBSERVAN DIFERENCIAS CON RESPECTO A LA DE UN ANFIBIO. APARECE EL COMPLEJO OLIVAR SUPERIOR; EL LEMNISCO LATERAL SE ENCUENTRA BIEN DEFINIDO; ALGUNAS FIBRAS ASCIENDEN DEL TORO SEMICIRCULAR A ESTRUCTURAS SUPERIORES.

núcleos ventrales del lemnisco lateral de los mamíferos. Otros estudios describen la terminación de las fibras del lemnisco lateral en los núcleos del istmo en el cerebro medio (Kaplan y cols 1983) (figura 3)

### II 3 ) Vía auditiva de las Aves.

Tras el arribo de las fibras nerviosas al tallo cerebral, se distribuyen en los núcleos cocleares principales, que en las aves se conocen como núcleo magnocelular y núcleo angular. Por un lado, las fibras lagenares se distribuyen en los núcleos vestibulares, cerebelares y cocleares. Al parecer la lagéna puede tener un papel dual en la percepción vestibular y auditiva en aves. Los núcleos cocleares proyectan en forma preferentemente cruzada hacia el núcleo laminar, otras fibras alcanzan el lemnisco lateral y al núcleo lateral mesencefálico. Cercano a la oliva superior, el cuerpo trapezoide forma el siguiente relevo. Después la información asciende al lemnisco lateral. Posteriormente las vías nerviosas envían fibras hacia el mesencéfalo, aquí se detecta una importante comisura que une a ambos núcleos auditivos mesencefálicos. De allí pasan al núcleo talámico semicircular ovoidal en el cual también existen fibras comisurales. Posteriormente las fibras pasan hacia el "paleoestriado aumentado" para terminar en una región mediocaudal del neostriado denominado campo L de Rose en el telencéfalo del ave (Boord 1969) (figura 4)



**FIGURA 4**  
**VÍA AUDITIVA DE UNA AVE**

EL ESQUEMA MUESTRA ALGUNOS CAMBIOS EN LA VÍA AUDITIVA DE UNA AVE TÍPICA CON RESPECTO A LA DE LOS REPTILES. SE OBSERVA UNA MAYOR COMPLEJIDAD ESTRUCTURAL DE LA VÍA DESDE LA SALIDA DEL NERVIIO AUDITIVO A NIVEL PERIFÉRICO HASTA SU ARRIBO A ESTRUCTURAS NEOCORTICALES, TALES COMO EL NÚCLEO TALAMICOS SEMICIRCULAR OVOIDAL Y EL CAMPO "L" DE ROSE. QUE SERIAN LOS ANTECESORES DEL GENICULADO MEDIAL Y LA CORTEZA AUDITIVA PRIMARIA EN MAMÍFEROS (MODIFICADO DE BOORD 1969).

#### II.4.) Vía auditiva en mamíferos

Se considera que los axones del octavo par craneal arriban al tallo cerebral en las estructuras denominadas núcleos cocleares. Estos a su vez se dividen en núcleo coclear ventral, el cual está inervado por ramas ascendentes y descendentes y el núcleo coclear dorsal o tubérculo acústico. Sin embargo, existen estudios más detallados desde el punto de vista morfológico en los cuales se presentan hasta 13 subdivisiones (Lorenté de Nó 1933).

La información de los núcleos cocleares cruza preferentemente la línea media para dirigirse hacia el complejo olivar superior, el cual se divide en tres núcleos principales. El lateral, el medial superior y el núcleo medial del cuerpo trapezoide, que ha sido descrito en una gran cantidad de mamíferos tales como ratón, cobayo, hamster (Harrison y Feldman 1970). Es importante señalar que el complejo olivar medial superior varía en tamaño. En algunas especies es pequeño y en otras está ausente (murciélagos *Myotis* y *Phyllostomus*, delfines *Tursiops truncatus* y el ratón ciego *Spalax*). En contraste el complejo olivar lateral es pequeño o está ausente en algunas especies como el hombre (Irving y Harrison 1967). Así mismo se considera que existe una alta correlación entre el complejo olivar medial y el núcleo abducens en diferentes especies de mamíferos principalmente en el movimiento de la cabeza y ojos para localizar la fuente del sonido (Sehmsdorff 1966).

Otras fibras alcanzan al lemnisco lateral y al colículo inferior, en forma directa. Posteriormente a través del lemnisco lateral y sus núcleos la información llega hasta los colículos inferiores en una situación posterior en mesencéfalo. La información auditiva continúa su camino hacia los núcleos geniculados mediales en el tálamo y por último arriba a

la corteza auditiva en el lóbulo temporal (Mussiek y Baran 1986) (**figura 5**) Se sabe que existe una vía que fluye en sentido contrario (vía eferente), pero se conoce más en su porción que va del complejo olivar superior a la cóclea

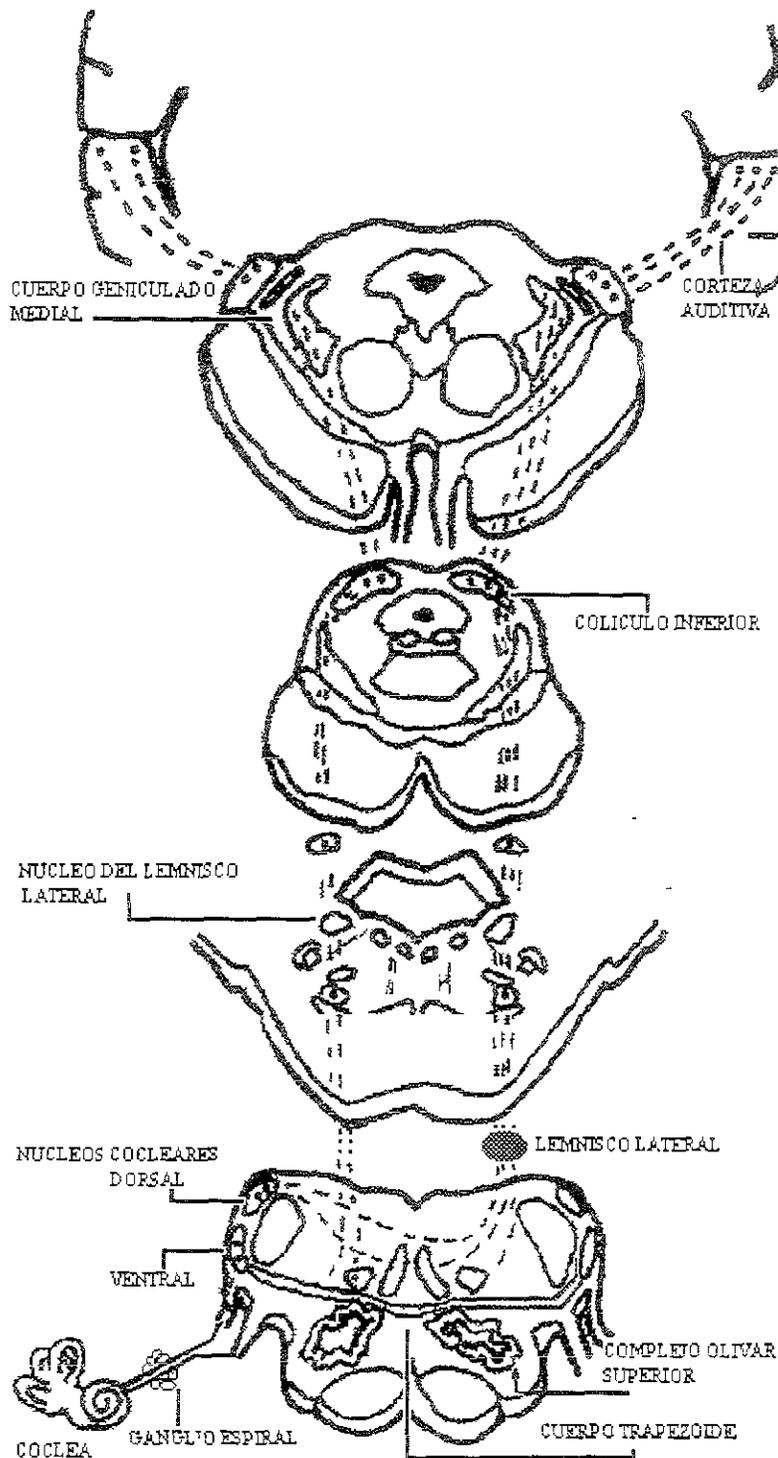


FIGURA 5

VÍA AUDITIVA DE UN MAMÍFERO

EN LOS MAMÍFEROS SE OBSERVA UNA MAYOR COMPLEJIDAD DE LA GEOMETRÍA DE LA VÍA AUDITIVA DESDE LA PERIFERIA HASTA LA CORTEZA PRIMARIA AUDITIVA UBICADA EN LA CIRCUNVOLUCION TEMPORAL TRANVERSA. PARA MÁS DETALLES FAVOR DE LEER EL TEXTO (MODIFICADO DE STARR 1976).

## II 5.) Evaluación de la vía Auditiva.

Una manera de evaluar el funcionamiento de las diferentes estructuras que integran la vía auditiva es a través de los potenciales provocados auditivos del tallo cerebral (PPATC)

Los potenciales provocados son una herramienta neurofisiológica que permite hacer estudios objetivos del funcionamiento de vías neurosensoriales específicas (auditivas, visuales y somatosensoriales) desde el receptor sensorial hasta la corteza cerebral (Starr 1978)

Los potenciales provocados son extraídos de la actividad eléctrica del cerebro, la cual es constante y continua a través de un promedio, llevado a cabo por una computadora, ya que podrían confundirse o mezclarse con la actividad eléctrica basal (Regan 1975).

El fundamento teórico de esta técnica se basa en aplicar un estímulo por alguna de las vías sensoriales, éste es conducido por la vía neurosensorial siempre con la misma velocidad y presentando un retardo constante en cada una de las sinapsis que componen dicha vía. Es necesario aplicar un número indeterminado de estímulos sucesivos para separar el potencial provocado por un estímulo sensorial (señal) de la actividad cerebral de base (ruido)

Esta técnica presenta ventajas tales como la de no ser invasiva, ni traumática, se puede registrar desde los primeros días después del nacimiento, no requiere de la colaboración del sujeto, se puede llevar a cabo en vigilia o durante el sueño, se requiere relativamente poco tiempo para su realización y es de gran objetividad y confiabilidad.

Aunque en la actualidad el potencial provocado se aplica principalmente en la clínica, cabe mencionar que desde sus primeros esbozos con Jewetz (1970) se ha venido utilizando en

investigación, con fines experimentales, ya que por razones de ética no se puede sujetar al ser humano a este tipo de actividades, por lo que se emplean diferentes especies de animales para valoración experimental de diversos ototóxicos y en patologías que afectan la vía auditiva, tales como: enfermedades desmielinizantes, tumores del ángulo pontocerebeloso, alteraciones de la vía visual, alteraciones neuromusculares, entre otras (Starr 1978)

### III.- JUSTIFICACIÓN

Debido a que el oído y algunos aspectos de la audición han sido abordados bajo diferentes enfoques desde el punto de vista filogenético, principalmente a través de la anatomía animal comparada. Consideramos que se ha descuidado el análisis comparativo de la fisiología auditiva, específicamente a nivel de tallo cerebral. Por lo cual surge la necesidad de conocer el procesamiento auditivo en esta estructura, comparando las diferencias auditivas entre los grupos más representativos de vertebrados terrestres a través de una técnica neurofisiológica novedosa, no invasiva conocida con el nombre de Potenciales Provocados Auditivos del Tallo Cerebral (PPATC). Esta técnica nos permitirá analizar las diferentes estructuras involucradas en el procesamiento del estímulo auditivo en las especies seleccionadas y comparar sus diferencias en relación a las latencias, amplitud y morfología del PPATC, así como las estructuras involucradas en la respuesta auditiva

### III.- HIPÓTESIS

Si se sabe que el oído de anfibios, reptiles, aves y mamíferos presenta diferencias anatómicas, producto de los procesos evolutivos a largo plazo. Entonces el procesamiento auditivo a nivel del tallo cerebral, evaluado a través de los PPATC mostrará diferencias fisiológicas en la respuesta auditiva de cada grupo de estos animales

### IV.- OBJETIVOS

Describir, analizar y comparar la respuesta auditiva de la *Rana catesbiana*, *Sceloporus torquatus*, *Gallus domesticus*, y *Cavia porcellus* que representan a los diferentes grupos de vertebrados terrestres actuales, evaluada a través del registro de los Potenciales Provocados Auditivos del Tallo Cerebral

### V.- MATERIAL Y METODO.

Los sujetos de estudio fueron anfibios de la especie *Rana catesbiana* (30 ejemplares) que fueron obtenidos del centro de reproducción acuícola de Xochimilco. Reptiles de la especie *Sceloporus torquatus* (22 ejemplares) capturados vivos en los alrededores de la ciudad de México y mantenidos en el bioterio del Instituto de la Comunicación Humana (InCH) bajo condiciones de luz y temperatura adecuadas, durante el tiempo de estudio y después fueron puestos en libertad cerca del lugar de captura. Así mismo, 21 aves de la especie *Gallus domesticus* obtenidos de la granja avícola de la Facultad de Medicina Veterinaria de la UNAM, y 21 mamíferos (cuyes) de la especie *Cavia porcellus* obtenidos del bioterio del InCH.

Todos los animales de estudio fueron organismos juveniles, evitando aquellos de mayor peso y tamaño para evitar los efectos de la edad, tales como pérdidas auditivas (presbiacusia), otoesclerosis etc.

La estimulación en todos los especímenes fue binaural en campo libre, el sonido se liberó en una cámara sonoamortiguada, por medio de una bocina localizada a 70 cm frente a las membranas timpánicas o los oídos externos del animal (con una conducción via aire de 0.002 ms). La estimulación consistió en "clicks" (chasquidos) de 100 microsegundos de duración, con una frecuencia de repetición de 20 "clicks/s", los estímulos fueron de polaridad alterna, y la intensidad de estos se calibró constantemente en niveles de audición "Hearing level" (HL) de acuerdo a las normas ANSI. Las intensidades utilizadas fueron de 70, 50, y 30 dB. Se promediaron quinientos estímulos. La estimulación se ejecutó por duplicado con el fin de asegurar la reproducibilidad del PPATC. Se utilizaron electrodos de aguja, los cuales se colocaron subcutáneamente de la siguiente manera: el electrodo activo en la intersección de la línea media sagital y la línea imaginaria que une los dos oídos (-), los otros dos electrodos se colocaron en los oídos, uno se colocó detrás de la membrana timpánica u oído externo derecho (-), y el otro detrás de la membrana timpánica u oído izquierdo (tierra). La resistencia de los electrodos siempre estuvo por debajo de los 5000 Ohms. El filtro pasabanda de la actividad eléctrica se calibró entre 100-3000 Hz.

El tiempo de análisis fue 20 ms postestímulo, la latencia de las ondas (en ms) se determinaron con un cursor en la línea de registro.

La determinación de los umbrales se realizó en orden descendente, iniciandose en 70 dB HL. sin embargo, en los casos en que no hubo respuesta se ascendió en pasos de 10 dB de

intensidad hasta encontrar el umbral. Para obtener el promedio de la señal se utilizó una computadora especial para PPATC marca Racia AP-70

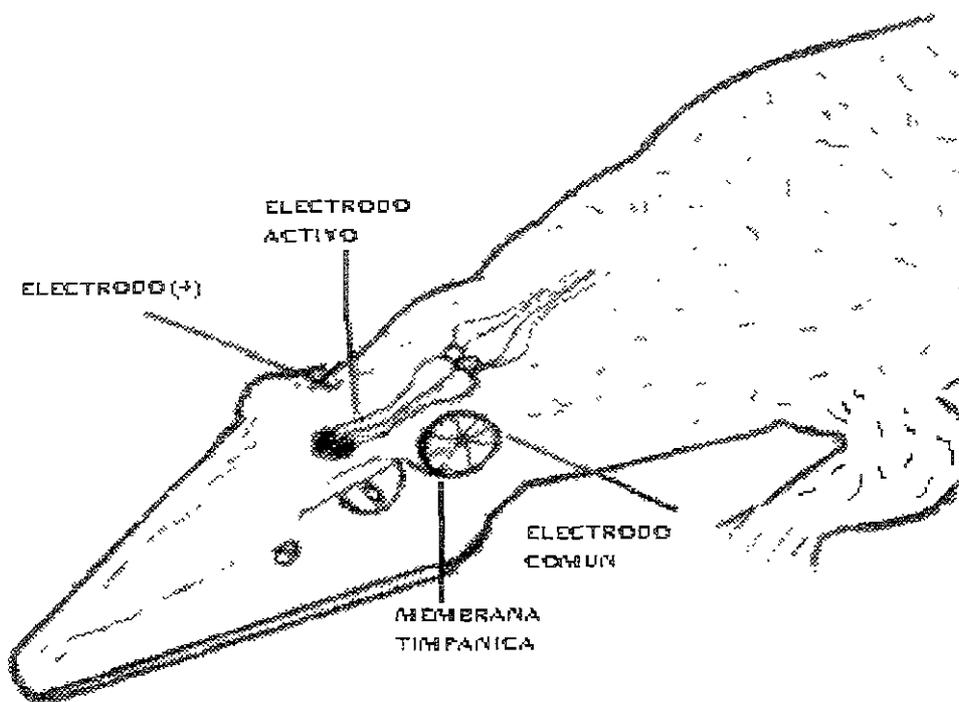
Los registros se hicieron en animales sanos, bajo anestesia (**FIGURA 6**).

En Anfibios y Reptiles, el método de anestesia fue a través de la hipotermia, por medio del descenso de la temperatura aplicando hielo hasta que el animal declinaba sus actividades y se dormía por el enfriamiento. En cambio, para Aves y Mamíferos se utilizó como anestésico clorhidrato de ketamina (50 mg/kg de peso)

Los animales se colocaron en tubos de plástico, con el fin de prevenir movimientos que pudieran contaminar el registro (**Figura 7**).

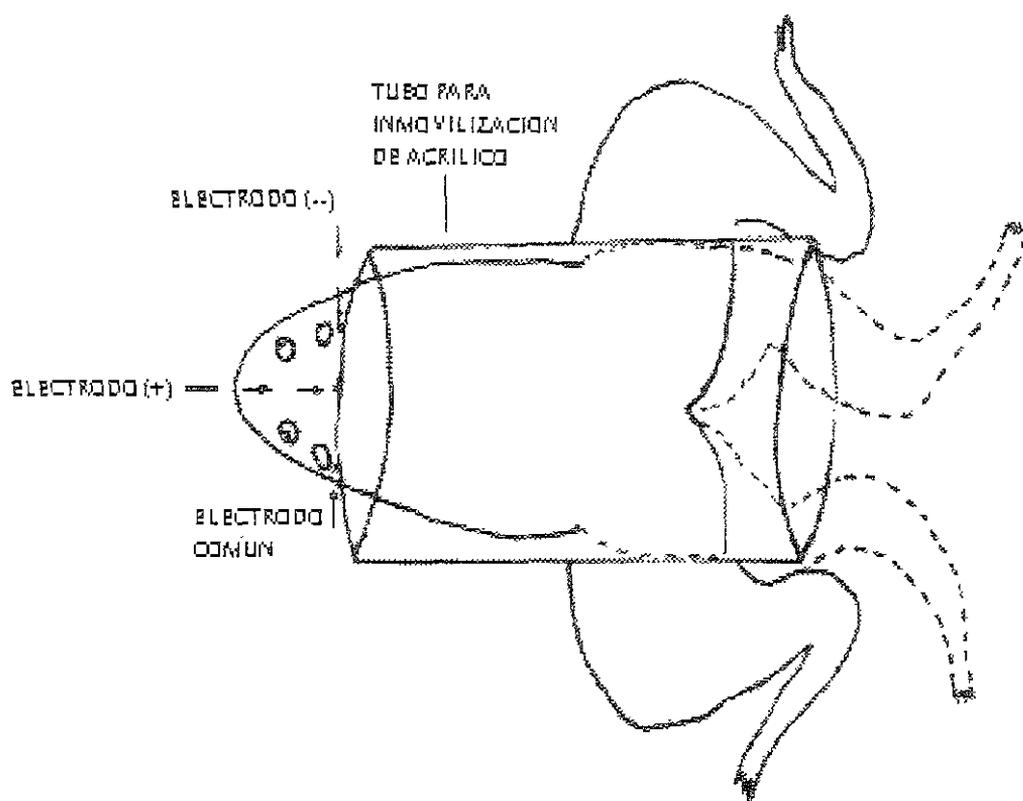
Se analizó y comparó la morfología de las ondas así como sus latencias

El análisis de la morfología se hizo por aparición y comparación del número y tamaño de ondas que se presentaron durante el registro por cada animal, tal y como se observan en las figuras de los PPATC. El análisis de las latencias se realizó obteniendo la media estadística y la desviación estandar de los valores de la latencia obtenidos por onda de cada especie analizada, tal y como se aprecia en los cuadros de resultados



**FIGURA 6**  
**COLOCACION DE ELECTRODOS EN UN REPTIL**

ELECTRODOS DE AGUJA. SE COLOCARON SUBCUTÁNEAMENTE. EL ELECTRODO ACTIVO EN LA INTERSECCIÓN DE LA LÍNEA MEDIA SAGITAL Y LA LÍNEA IMAGINARIA QUE UNE LOS DOS OÍDOS (+). LOS OTROS DOS ELECTRODOS SE COLOCARON EN LOS OÍDOS. UNO SE COLOCÓ DETRÁS DE LA MEMBRANA TIMPÁNICA (ANFIBIOS Y REPTILES) O EN EL OÍDO EXTERNO(-), Y EL OTRO DETRÁS DE LA MEMBRANA TIMPÁNICA U OÍDO IZQUIERDO (TIERRA).



**FIGURA 7**  
**RANA INMOVILIZADA**

EL ESQUEMA ILUSTR LA TÉCNICA DE INMOVILIZACIÓN QUE SE UTILIZÓ PARA EVITAR MOVIMIENTOS INDESEABLES QUE PUDIERAN CONTAMINAR LOS REGISTROS DE LOS PPATC EN LOS SUJETOS EN EXPERIMENTACIÓN. TUBOS DE PLASTICO FLEXIBLE QUE SE AJUSTABAN A LAS DIMENSIONES DEL CUERPO FUERON UTILIZADOS EN LOS DIFERENTES GRUPOS DE VERTEBRADOS.

## VI.- RESULTADOS.

### a.) *Rana catesbiana*.

Los PPATC en *R. catesbiana* se obtuvieron a intensidades de 70, 50 y 40 dB. Se encontró el umbral auditivo en 40 dB.

En esta especie los PPATC consistieron esencialmente en tres ondas que se presentan en los 10 primeros ms.

De acuerdo con la intensidad del estímulo aplicado se encontraron diferencias en la aparición del número de ondas (**Figura 8 y cuadro 1**). En 70 dB se observaron solo dos ondas, la onda I alrededor de los 2.40 ms, con una amplitud cercana a los 0.74  $\mu\text{v}$ , precedida de una gran pendiente negativa, y la onda II, alrededor de los 4.41 ms y de menor amplitud. A 50 dB de intensidad se observaron 3 ondas (**figura 8 y cuadro 1**); la onda I se observó con una latencia promedio de 2.77 ms y una amplitud de 0.50  $\mu\text{v}$ , la onda II se observó con una latencia promedio de 3.94 ms y una amplitud de 0.22  $\mu\text{v}$ . La onda III apareció alrededor de los 5 ms, con una amplitud de 0.23  $\mu\text{v}$  muy semejante a la anterior.

A 40 db (**cuadro 1**) se observaron también 3 ondas. La onda I tuvo una latencia promedio de 3.09 ms y una amplitud promedio de 0.30  $\mu\text{v}$ . Se observó un retardo en la latencia de aproximadamente 0.40 ms en la onda I respecto a la misma onda a 50 dB. La onda II se obtuvo en un promedio de 4.32 ms y una amplitud de 0.18  $\mu\text{v}$ . La onda III, que en algunas

ocasiones no se presenta, tuvo una latencia promedio de 5 54 ms con una amplitud de 0.18

$\mu\text{V}$

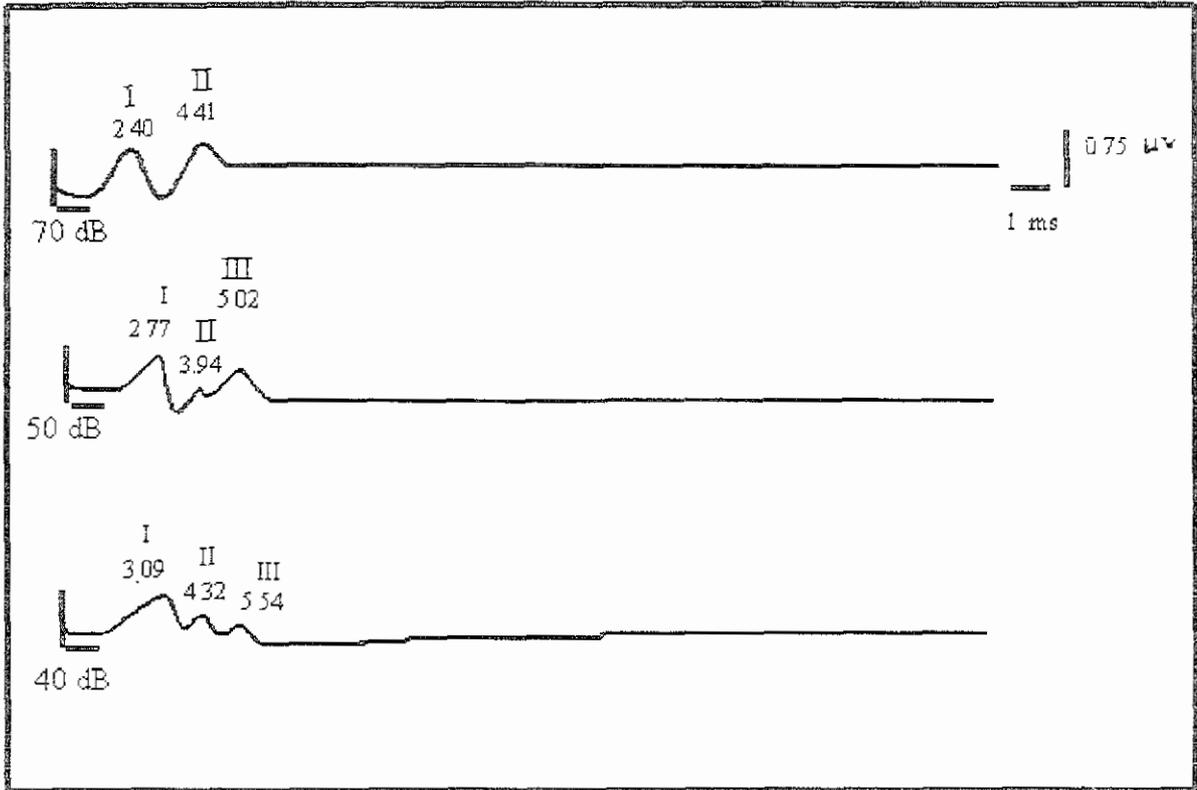


FIGURA 8

PPATC DE *R. catesbiana*

POTENCIALES PROVOCADOS AUDITIVOS DE TALLO CEREBRAL (PPATC) OBTENIDOS EN TRES DIFERENTES INTENSIDADES EN *R. Catesbiana* EN 70 dB SE OBSERVAN SOLO DOS ONDAS. EL UMBRAL AUDITIVO PARA ESTA ESPECIE SE UBICÓ EN 40 dB. PARA MÁS DETALLE LEER EL TEXTO.

CUADRO 1  
 VALOR PROMEDIO DE LATENCIAS  
 DE LOS PPATC DE *R. catesbiana*

Intensidad 70 dB

ONDA No	No DE REGISTROS (N)	VALOR MINIMO	VALOR MAXIMO	MEDIA ( $\bar{X}$ )	DESVIACION ESTANDAR
I	60	1.80	2.90	2.40	0.24
III	60	3.70	4.90	4.41	0.31

Intensidad 50 dB

I	60	2.10	3.40	2.77	0.29
II	60	3.10	4.90	3.94	0.34
III	60	4.00	6.10	5.02	0.43

Intensidad 40 dB

I	58	2.30	3.80	3.09	0.31
II	43	3.60	5.30	4.32	0.39
III	54	4.50	6.50	5.54	0.38

b) *Sceloporus torquatus*.

Los PPATC obtenidos en *S. torquatus* difieren sustancialmente de los observados en *R. catesbiana* en cuanto a la morfología y aparición de las ondas. En *S. torquatus* se obtuvieron 4 ondas muy visibles y de gran amplitud a 70 dB. La onda I tuvo una latencia media de 2.56 ms y una amplitud de 0.77  $\mu\text{V}$ . La onda II tuvo una latencia de 3.98 ms, con una amplitud muy baja de 0.18  $\mu\text{V}$ . La onda III, sin embargo, se presenta como una onda vigorosa con una latencia promedio de 5.26 ms y una amplitud de 0.91  $\mu\text{V}$ . La onda IV se obtuvo con una latencia promedio de 6.45 ms y una amplitud de 0.25  $\mu\text{V}$  (**Figura 9 y cuadro 2**). Con la intensidad de 50 dB (**Cuadro 2**) se obtuvieron también cuatro diferentes ondas. La onda I se obtuvo alrededor de los 2.81 ms, con una amplitud de 0.50  $\mu\text{V}$ . La onda II tuvo una latencia promedio de 4.16 ms y una amplitud de 0.15  $\mu\text{V}$ . La onda III es más robusta que la II y aparece alrededor de los 5.51 ms con una amplitud de 0.42  $\mu\text{V}$ . La onda IV se registró alrededor de los 6.6 ms con una amplitud de 0.15  $\mu\text{V}$ .

Se buscó la respuesta con una intensidad de 30 dB. Sin embargo, en la totalidad de los ejemplares no se obtuvo respuesta con el equipo y metodología utilizados, por lo que el umbral auditivo de estos reptiles se encontró entre 35 y 40 dB (**Cuadro 2**). La onda I tuvo una latencia de 3.08 ms con una amplitud de 0.22  $\mu\text{V}$ . La onda II se observó a los 5.30 ms con una baja amplitud de aproximadamente 0.10  $\mu\text{V}$ . La onda III siempre se presentó más

vigorosa, alrededor de los 6.74 ms y una amplitud de 0.55  $\mu\text{v}$ . En el 60% de los ejemplares se presentó una onda IV alrededor de los 7.31 ms, con una amplitud de 0.14  $\mu\text{v}$  (cuadro 2)

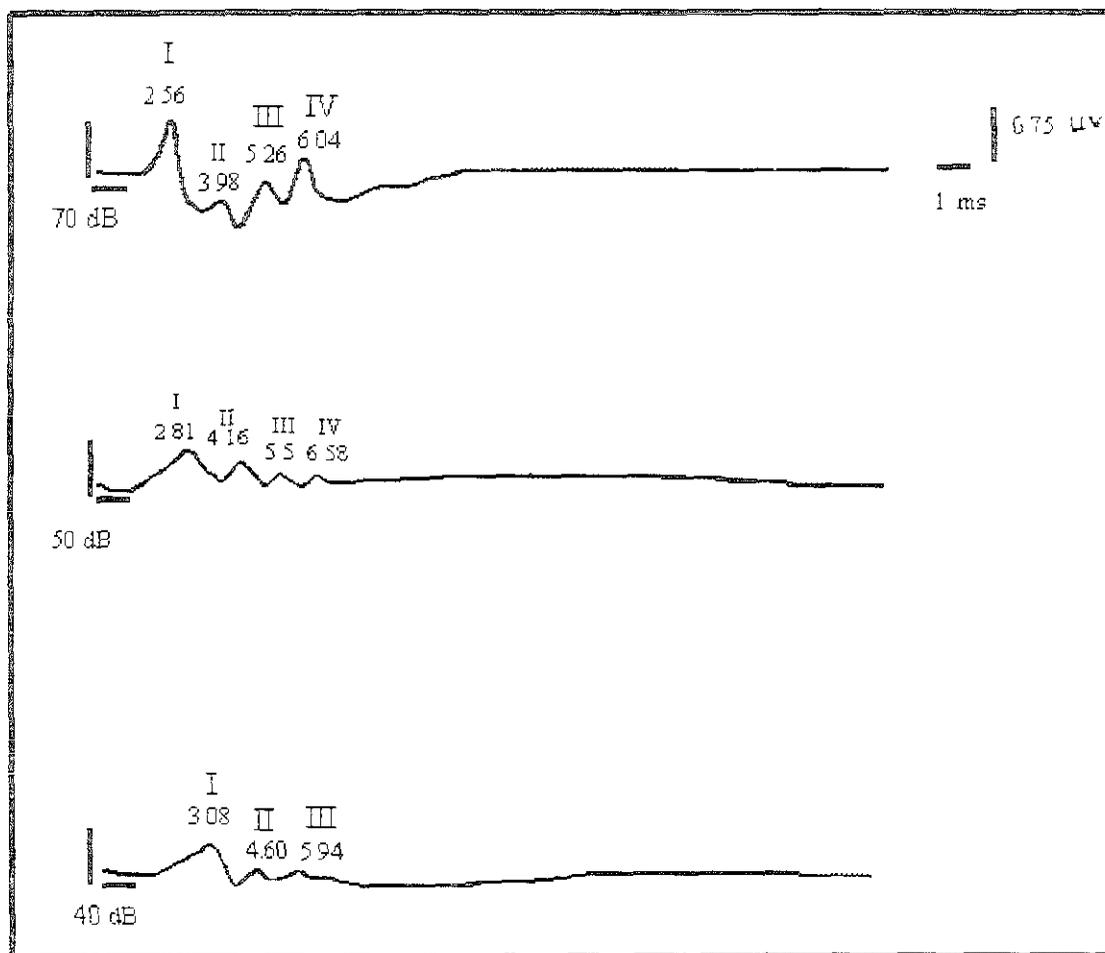


FIGURA 9

#### PPATC DE *S. torquatus*

POTENCIALES PROVOCADOS AUDITIVOS DE TALLO CEREBRAL (PPATC) OBTENIDOS EN TRES DIFERENTES INTENSIDADES EN *S. torquatus*. EN 70 dB SE OBSERVAN DIFERENCIAS EN EL NUMERO DE ONDAS CON RESPECTO A LA RESPUESTA OBTENIDA EN *R. Catesbiana*. EL UMBRAL AUDITIVO PARA ESTA ESPECIE SE UBICÓ EN 40 dB PARA MÁS DETALLE LEER EL TEXTO

**CUADRO 2**  
**VALOR PROMEDIO DE LAS LATENCIAS DE LOS PPTAC**  
**DE *S. torquatus* A 70, 50 Y 40 dB**

Intensidad de 70 dB

ONDA No	No. DE REGISTROS (N)	VALOR MINIMO	VALOR MAXIMO	$\bar{X}$ MEDIA	DESVIACION ESTANDAR
I	42	2.00	3.30	2.5619	0.3320
II	42	3.10	5.30	3.9881	0.5265
III	42	3.90	6.60	5.2690	0.6460
IV	36	5.20	7.50	6.4500	0.6980

Intensidad de 50 dB

ONDA No	No DE REGISTROS (N)	VALOR MINIMO	VALOR MAXIMO	$\bar{X}$ MEDIA	DESVIACION ESTANDAR
I	42	2.10	3.60	2.8143	0.4082
II	40	3.20	5.80	4.1675	0.6183
III	41	4.00	6.90	5.5098	0.7810
IV	32	5.10	8.20	6.5844	0.9336

## Intensidad 40 dB

ONDA No	No. DE REGISTROS (N)	VALOR MINIMO	VALOR MAXIMO	$\bar{X}$ MEDIA	DESVIACION ESTANDAR
I	38	2.30	4.00	3.0816	0.3992
II	34	3.50	5.60	4.6029	0.5430
III	34	4.50	6.70	5.9471	0.6116
IV	19	5.60	8.40	7.3105	0.8504

c.) *Gallus domesticus*

Se obtuvieron PPATC en *G. domesticus* a intensidades de 70, 50, 30 dB. El umbral se estableció en 30 dB. Al igual que en las especies anteriores, la respuesta auditiva se presentó dentro de los 10 primeros ms. Se observaron nítidamente cuando menos 4 ondas en esta especie.

Sin embargo, como se discutirá más adelante, en esta especie se observa un significativo acortamiento en las latencias respecto a las de las especies anteriores. A 70 db, en *G. domesticus* se presentan claramente 4 ondas (**figura 10 y cuadro 3**). La onda I se observó con una latencia de 1.62 ms y una amplitud de 0.75  $\mu$ v. Se considera corresponde a la porción más periférica de la vía auditiva. La onda II tuvo una amplitud un poco menor (0.60  $\mu$ v) y una latencia de 2.30 ms. La onda III se observa como una onda vigorosa cuya latencia se presenta a los 3.36 ms., con una amplitud muy semejante a la onda anterior (0.63  $\mu$ v). Por último la onda IV se observa con una latencia de 5.20 ms y se caracteriza por presentar una amplitud de 0.30  $\mu$ v.

A 50 dB se observa una disminución en la amplitud de las de las 4 ondas, aunque se siguen observando claramente. También se puede observar un alargamiento en las latencias, onda por onda respecto a 70 dB (**Figura 10 y cuadro 3**).

A diferencia de los umbrales encontrados en las dos especies anteriores (40 dB) (**cuadro 3**) en *G. domesticus* se observó una respuesta umbral bien definida en 30 dB en la que se observan tres ondas de poca amplitud pero bien definidas. En algunos ejemplares encontró el umbral auditivo en 15 dB.

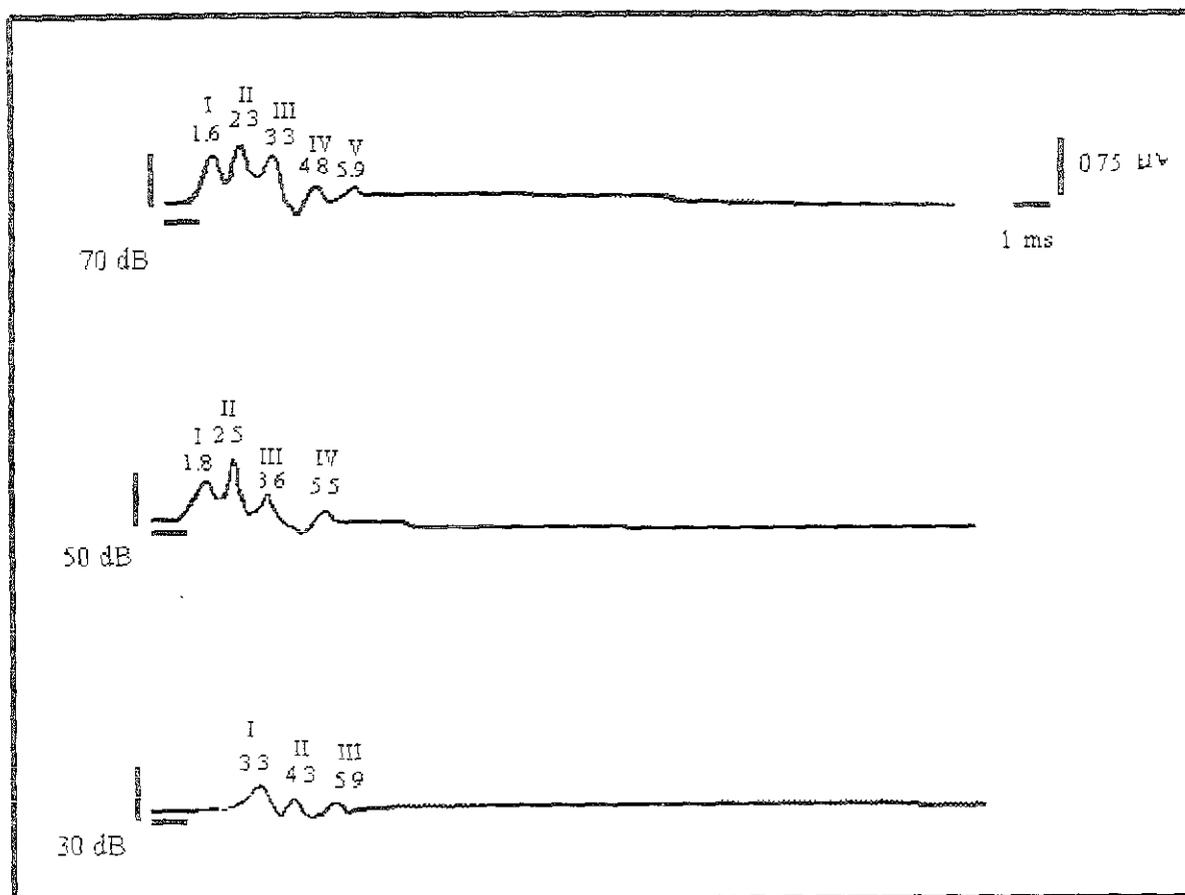


FIGURA 10  
PPATC DE *G. domesticus*

POTENCIALES PROVOCADOS AUDITIVOS DE TALLO CEREBRAL (PPATC) OBTENIDOS EN TRES DIFERENTES INTENSIDADES EN *G. Domesticus*. SE OBSERVAN DIFERENCIAS IMPORTANTES PRINCIPALMENTE EN LA REDUCCIÓN DE LAS LATENCIAS EN LAS TRES DIFERENTES INTENSIDADES.

EL UMBRAL AUDITIVO EN ESTA ESPECIE SE ENCONTRO EN 30 dB. PARA MÁS DETALLE LEER EL TEXTO.

**CUADRO 3**  
**VALOR PROMEDIO DE LAS LATENCIAS DE LOS PPTC**

DE *G. DOMESTICUS* A 70, 50 Y 40 DB.

INTENSIDAD 70 DB

ONDA No	No DE REGISTROS (N)	VALOR MINIMO	VALOR MAXIMO	$\bar{X}$ MEDIA	DESVIACION ESTANDAR
I	24	1.40	1.80	1.6167	0.1129
II	24	2.00	2.70	2.3042	0.1922
III	24	2.90	3.90	3.3583	0.2933
IV	24	4.00	5.70	4.8250	0.4245

Intensidad 50 dB

ONDA No	No DE REGISTROS (N)	VALOR MINIMO	VALOR MAXIMO	$\bar{X}$ MEDIA	DESVIACION ESTANDAR
I	24	1.50	2.30	1.8875	0.1918
II	24	2.10	3.10	2.5500	0.2359
III	24	3.30	4.20	3.6917	0.2992
IV	24	5.00	6.10	5.5292	0.3263

## Intensidad 30 dB

ONDA No	No. DE REGISTROS (N)	VALOR MINIMO	VALOR MAXIMO	$\bar{X}$ MEDIA	DESVIACION ESTANDAR
I	24	2.10	2.70	2.3667	0.1903
II	24	2.60	3.70	3.3125	0.2833
III	24	3.90	4.80	4.3583	0.3216
IV	24	5.00	6.70	5.9000	0.3856

d.) *Cavia porcellus*

Se obtuvieron PPATC en mamíferos (cuyes) *C. porcellus*, que se caracterizaron por conservar un patrón morfológico de las ondas semejante a las demás especies anteriormente estudiadas. Sin embargo, se tuvieron algunas diferencias en *C. porcellus*, ya que la respuesta auditiva de algunos ejemplares a una intensidad de 70 dB consistió en un patrón de hasta 7 ondas en una ventana de 10 ms. Para el análisis solo se tomaron en cuenta aquellas que se observaron más constantemente. Así mismo se hizo constante la presencia de una onda V de poca amplitud que no aparece en los demás grupos, pero que se presenta en la mayoría de los mamíferos y se conoce como complejo IV-V (figura 11 y cuadro 4)

A 70 dB se observaron en *C. porcellus* cinco ondas de diferente amplitud. La onda I tuvo una latencia de 1.62 ms y una amplitud de 50  $\mu$ v. La onda II se observó como una onda de poca amplitud (0.40  $\mu$ v) y una latencia de 2.35 ms.

Destaca de entre todas estas ondas, la III cuya amplitud es cercana a 0.90  $\mu$ v y se constituye como la más vigorosa de todo este complejo a diferentes intensidades, con una latencia de 2.97 ms. La onda IV es una onda semejante a la onda II, con amplitud de 0.40  $\mu$ v y una latencia de 3.85 ms. Se caracteriza por aparecer en las intensidades de 70, 50, 30 y 10 dB.

La onda V solo se pudo observar en la intensidad de 70 dB. Su amplitud fue de 0.20  $\mu$ v y tuvo una latencia promedio de 4.98 ms.

Las respuestas observadas a 50, 30 y 15 dB se caracterizaron por presentar el mismo patrón

de respuestas que en 70 dB sin embargo, al igual que en las especies anteriormente registradas se observó una alargamiento en las latencias y una disminución en la amplitud (figura 11 y cuadro 4).

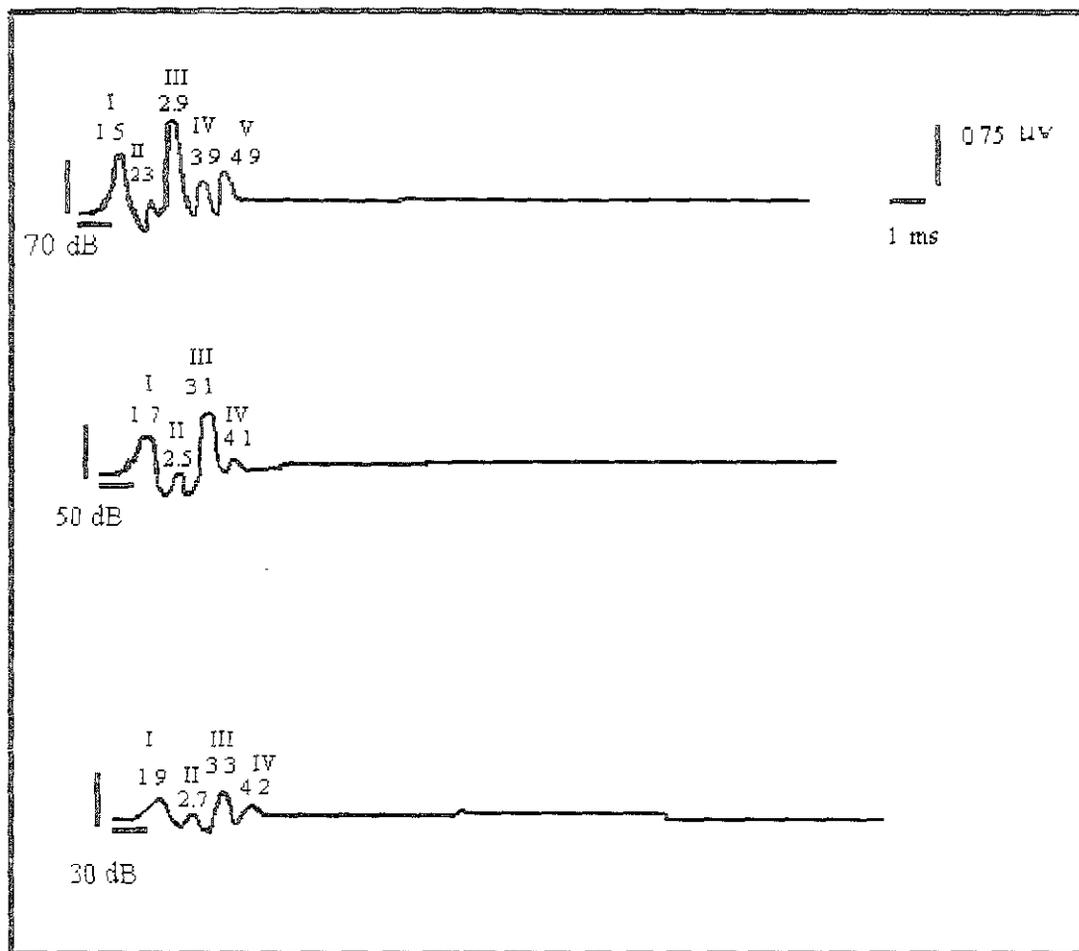


FIGURA 11  
PPATC DE *C. porcellus*

POTENCIALES PROVOCADOS AUDITIVOS DE TALLO CEREBRAL (PPATC) OBTENIDOS EN TRES DIFERENTES INTENSIDADES EN *C. porcellus*. AL IGUAL QUE EN *G. domesticus*. SE OBSERVAN DIFERENCIAS IMPORTANTES PRINCIPALMENTE EN LA MORFOLOGÍA QUE ES MÁS CLARA Y LA REDUCCION DE LAS LATENCIAS EN LAS TRES DIFERENTES INTENSIDADES. EL UMBRAL AUDITIVO EN ESTA ESPECIE SE ENCONTRO EN 30 dB. PARA MÁS DETALLE LEER EL TEXTO.

CUADRO 4  
VALOR PROMEDIO DE LAS LATENCIAS DE LOS PPATC  
DE *C. porcellus* A 70; 50 y 40 dB

Intensidad de 70 dB

ONDA No	No. DE REGISTROS (N)	VALOR MINIMO	VALOR MAXIMO	$\bar{X}$ MEDIA	DESVIACION ESTANDAR
I	28	1.3	1.6	1.5143	0.08483
II	26	2.1	2.6	2.3538	0.1606
III	28	2.7	3.3	2.9679	0.1442
IV	28	3.5	4.5	3.925	0.2577
V	14	4.1	5.3	4.9786	0.3704

## Intensidad 50 dB

ONDA No	No DE REGISTROS (N)	VALOR MINIMO	VALOR MAXIMO	$\bar{X}$ MEDIA	DESVIACION ESTANDAR
I	28	1.6	2.0	1.7250	0.111
II	26	2.3	2.9	2.5577	0.1677
III	28	3.0	3.5	3.1750	0.1266
IV	28	3.7	4.5	4.1071	0.1904

## Intensidad 30 dB

ONDA No	No. DE REGISTROS (N)	VALOR MINIMO	VALOR MAXIMO	$\bar{X}$ MEDIA	DESVIACION ESTANDAR
I	28	1.7	2.1	1.9286	0.1049
II	17	2.4	3.2	2.7471	0.2528
III	28	3.1	3.6	3.3357	0.1496
IV	25	3.9	4.5	4.1920	0.1706

## VII.- DISCUSION.

Los resultados observados en este estudio coinciden en algunos puntos con los encontrados por otros autores (Seaman 1991, Corwin y cols 1982, Morales y cols 1995, Overbeck y Church 1992, entre otros) y que en este apartado discutiremos

En este trabajo se encontraron potenciales provocados auditivos del tallo cerebral en las cuatro especies estudiadas dentro de los 10 primeros ms. que explican la actividad de las diferentes estructuras que intervienen en la generación de la respuesta auditiva temprana.

Como se mencionó en el apartado de resultados, en *R. catesbiana* a 70 dB se hallaron dos Ondas (I y II) claramente definidas, las que se caracterizaron por tener muy buena amplitud, sin embargo, no se observó la formación de una onda intermedia a esta intensidad. Seaman (1991) encontró también dos ondas parecidas, pero el utilizó la inmovilización de *R. catesbiana* a través inyección de anestésico combinado (Pentobarbital sódico 37.5 mg/kg y ketamina 75mg/kg) aplicado en miembros inferiores para inmovilizar al animal y registró por medio de electrodos fijos, previo a trépanos en la línea media del cráneo y el hueso fronto-parietal Obteniendo dos ondas que se presentaron entre los 2.5 y 5 ms.de latencia. De acuerdo a los obtenido en este trabajo se observa la coincidencia de dos ondas sin embargo la técnica utilizada por Seaman (1991) es muy diferente a la utilizada en esta investigación

Corwin y cols (1982), al analizar los PPATC en vertebrados acuáticos y terrestres, hallaron también dos ondas de gran amplitud en anfibios, utilizando una técnica completamente diferente a la aplicada en este trabajo. Mediante electrodos intracraneales obtuvo dos ondas durante los primeros 10 ms utilizando ráfagas de chasquidos de 1 kHz de intensidad .

Si relacionamos las latencias de estas dos ondas con los postulados de la fundamentación teórica de los PPATC que menciona que al aplicar un estímulo por alguna de las vías sensoriales, éste es conducido por la vía neurosensorial siempre con la misma velocidad y presentando un retardo constante en cada una de las sinapsis que componen dicha vía (Regan 1975) Esto sugiere que aun cuando no se presente una onda intermedia entre las dos observadas a la intensidad de 70 dB, el estímulo se procesa en un pequeño grupo de neuronas, ya que se observa un retardo de 1 ms que correspondería al siguiente generador. Si analizamos los tiempos de las latencias para ambas ondas, la primera onda tuvo una latencia de  $2.4 \pm 0.24$  ms y la siguiente onda de  $4.41 \pm 0.31$  ms, de acuerdo a lo anterior se presenta una diferencia de aproximadamente 2.01 ms, es decir un retardo mayor a 2 ms, se puede considerar que este retardo no es debido al trayecto lineal (longitud) de la fibra entre el primer generador y su arribo al generador de la siguiente onda, ni a la sobre estimulación auditiva, ya que de acuerdo a la anatomía del tallo cerebral y específicamente de la vía auditiva, se sabe que durante la metamorfosis las conexiones del octavo par son retenidas y las células de las partes medial y dorsolateral del área acústico lateral no degeneran pero se transforman en los núcleos dorsal y ventral del octavo nervio respectivamente (Boord y cols 1970)

Lo anterior desde el punto de vista filogenético es muy importante ya que el grupo de los anfibios es el grupo transicional entre la vida acuática y terrestre, en el que los cambios adaptativos involucran una gran cantidad de estructuras y seguramente como consecuencia se aprecian cambios y adaptaciones funcionales interesantes en este grupo como el que estamos observando con este resultado con la obtención de dos ondas positivas en el

PPATC, en el que se involucro un estímulo de transmisión vía aire y una recepción auditiva por parte del anfibio adaptada para este tipo de estímulo.

Por jerarquía de aparición en 70 dB, a la segunda onda del complejo le correspondía el número II, sin embargo debido a que en la estimulación inmediata inferior (50 dB), en el descenso negativo de la onda I aparece una nueva onda, se consideró a esta nueva onda como onda II y a la segunda onda generada a 70 dB se le consideró como onda III

Otro aspecto filo-ontogenético es que los núcleos auditivos dorsolaterales durante el estadio larvario reciben fibras del órgano de la línea lateral y en el momento de la metamorfosis muchas de estas sinapsis van a formar parte de los núcleos vestibulares, otras no arriban a la estructura correspondientes (se pierden o disminuyen en cantidad), con la consecuente pérdida de neuronas auditivas, y las menos arriban directamente a los núcleos dorsales auditivos. por lo que de estímulo auditivo en esta intensidad (70 dB) pudiera ser incapaz de provocar la formación de la onda correspondiente en este probable generador de la onda II (núcleos dorsales auditivos) aunque por la latencia obtenida en la siguiente onda se puede inferir que si se procesa el estímulo aunque la onda no sea visualizada

Desde el punto de vista evolutivo la desaparición de las sinapsis nerviosas del órgano de la línea lateral, representa la especialización del área acústico lateral a la recepción de los estímulos auditivos principalmente en un rango de frecuencias bajas, entre 150 y 1700 Hz (Sachs 1964), lo que también, se puede considerar estaría influyendo en los hallazgos encontrados en este trabajo con la ausencia de la onda II con el tipo estímulo auditivo utilizado.

Debido a esta especialización, se encontró la respuesta a intensidades menores y frecuencias bajas, provocando la respuesta esperada de los núcleos acústico-laterales en intensidades de 50 y 40 dB con la aparición de una onda alrededor de los 3 ms, de poca amplitud que corresponde a esta estructura generadora (**figura 8**).

## CUADRO 5

LATENCIAS COMPARATIVAS EN ms. OBTENIDAS CON UN ESTÍMULO DE 70 dB. EN  
LAS CUATRO ESPECIES ESTUDIADAS

ESPECIE	ONDA I	ONDA II	ONDA III	ONDA IV	ONDA V
<i>R. catesbiana</i>	2.4		4.41		
<i>S. torquatus</i>	2.5	3.9	5.9	6.4	
<i>G. domesticus</i>	1.6	2.3	3.3	4.8	
<i>C. PORCELLUS</i>	1.5	2.3	2.9	3.9	4.9

Si se observa el **cuadro 5**, correspondiente a las latencias comparadas de las 4 especies estudiadas a una intensidad de 70 dB, se notará que los reptiles (*S. torquatus*) presentan una mejor respuesta a los estímulos generados por clicks (chasquidos) a 70 dB. Como se expresó en los resultados *S. torquatus* presentó 4 ondas muy constantes y reproducibles en todos los ejemplares estudiados de esta especie. El patrón de morfológico de estas ondas es muy parecido al de las ranas, ya que, solo dos, la onda I y la onda III, presentan una amplitud mayor a  $0.70 \mu\text{v}$ , resaltando sobre la poca amplitud de la onda II y la onda IV, sugiriendo la misma forma de curva que para los anfibios. En contraste con el anfibio *R. catesbiana*, se puede apreciar que la onda II en cuya generación participan los núcleos dorsoventrales (angular y magnocelular) del tallo cerebral de *S. torquatus*, se observa en la porción más profunda de la pendiente negativa de la onda I, con una amplitud muy pobre. La onda III, al igual que en *R. catesbiana* es una onda muy robusta, lo que implicaría que las neuronas involucradas en la generación de esta curva pudieran ser más numerosas y probablemente tengan una geometría más adecuada para la decodificación del estímulo. Las probables estructuras generadoras de esta onda en el tallo cerebral de las cuatro especies estudiadas se observan en el **cuadro 6**.

En el reptil *S. torquatus* por primera vez se presenta una onda IV, muy pequeña que no aparece en el anfibio *R. catesbiana* y que se considera es generada a nivel del cerebro medio de estos animales (**cuadro 6**), en la estructura denominada toro semicircular.

**CUADRO 6**  
**RELACION DE LAS ONDAS DE LOS PPATC Y SUS POSIBLES GENERADORES EN LAS 4**  
**ESPECIES ESTUDIADAS**

INTENSIDAD	ESPECIE	ONDA	LATENCIA	PROBABLES GENERADORES
70 dB	<i>R. catesbiana</i>	I	2.4	Salida nervio acústico y Núcleos dorsolaterales
		II		S/R (Núcleos dorsolaterales)
		III	4.41	Tracto bulbo-tectal
	<i>S. torquatus</i>	I	2.28	Nervio auditivo
		II	3.98	Núcleos angular, magnocel. y prob Núcleo laminar
		III	5.96	Formación del C. Olivar
		IV	6.45	Toro Semicircular y prob Núcleo "Z"
	<i>G. domesticus</i>	I	1.62	Nervio Auditivo.
		II	2.63	N. Angular y Magnocelular.
		III	3.36	Complej. Olivar Superior y Laminar y prob. C trapezoide N Laminar
		IV	5.2	N Talámico Semilunar
	<i>C. porcellus</i>	I	1.51	Nervio Auditivo
II		2.35	N. Cocleares y C Trapezoide.	
III		2.97	C Olivar Superior.	
IV		3.35	Lemnisco Lateral	
V		4.98	Colículo Inferior	

Por otro lado, tal pareciera que las latencias en el intervalo de las ondas I-III se encuentran aumentados en *S. torquatus* a intensidades de 70 y 50 dB según se aprecia en el cuadro 7, en donde aparecen los valores del intervalo entre las ondas I y III. En cambio, en 40 dB que es la intensidad umbral para los reptiles y anfibios, se encuentra una latencia en este intervalo menor en los reptiles, que esta cercano a lo esperado, de acuerdo al nivel filogenético que ocupan los reptiles. Lo anterior quizá se deba a la recuperación tan lenta que presenta el reptil a la hipotermia a la que fue sometido para anestesiarlo y que se ve reflejada por latencias tan alargadas en las intensidades de 70 y 50 dB (Morales y cols 1995).

Respecto a las aves (*G. domesticus*) se puede considerar que su respuesta es muy similar en su patrón morfológico con la respuesta de *S. torquatus* ya que se registraron 4 ondas en 70 dB (Figura 10). Algunas diferencias están presentes en estas dos especies. La onda II en *G. domesticus* se presenta con una mayor amplitud, respecto a la misma onda en *S. torquatus*. En *R. catesbiana* a la misma intensidad esta onda no se observa. Debido a que *G. domesticus* es la primera especie en la que se observa la onda II claramente definida, se puede proponer que en la generación de esta onda intervienen varias estructuras del tallo cerebral, entre ellas los núcleos cocleares (angular y magnocelular) y el núcleo laminar. También es importante recordar el papel dual que al parecer presenta la lagéna en la percepción vestibular y auditiva en aves, ya que como se recordará las fibras de las ramas de los nervios de la papila basilar y la lagéna están íntimamente asociados y al arribar al tallo cerebral las fibras lagenares se distribuyen en los núcleos vestibulares, cerebelares y cocleares (Carr y Boudreau 1991, Boord 1969), por lo que también resulta apropiado pensar

que las fibras lagenares enriquecen la respuesta auditiva colaborando en la generación de la onda II poco observable en las especies anteriores.

Otra diferencia con respecto al grupo anterior lo constituye el núcleo laminar que es la siguiente estructura en orden ascendente en el tallo cerebral de las aves y se considera que recibe fibras biaurales de los núcleos magnocelulares por lo pudiera intervenir indirectamente en la generación de la onda II pero también en localización biaural del estímulo (Smith Z 1981) Así mismo, se ha demostrado que la papila basilar en las aves está tonotópicamente organizada (Rosenhall 1971) Cabe recordar que en las aves se inicia evolutivamente el enrollamiento del órgano de Corti, por lo que esta estructura es tubular con una pequeña incurvación en la porción final. La parte basal del tubo (inicial) responde a las frecuencias altas y sucesivamente las regiones apicales (distales) tienen su máxima sensibilidad a las frecuencias bajas. Esta diferenciación tonotópica a nivel de órgano auditivo periférico, pudiera también intervenir en la formación de la onda II cuyos probables generadores serían los núcleos angular, magnocelular y probablemente el núcleo laminar, antecesores de los núcleos cocleares en los mamíferos

Las ondas III y IV son muy parecidas con las mismas ondas registradas en *S. torquatus*, sin embargo la complejidad geométrica y el número de las fibras auditivas en las aves permite que los intervalos de conducción sean más rápidos reduciendo con ello la latencia en el total de la vía auditiva. (cuadro 6 y 7)

Las ondas III y IV parecen estar relacionadas en la localización biaural de presas y objetos en las aves. Aún cuando se ha discutido mucho sobre los probables generadores de estas ondas, de acuerdo a lo observado en este trabajo, se sugiere que la geometría de la vía

auditiva es filogenéticamente más complicada en aves que en los reptiles y anfibios y los generadores pueden ser múltiples. De esta manera se ha observado que el núcleo laminar envía fibras cruzadas hacia el colículo inferior, pero a su vez el lemnisco lateral puede tener participación inicialmente en la generación de la onda III, así como en la ecolocalización ya que sus fibras arriban ipsilateral y contralateral en los colículos inferiores, a quienes se considera son los principales generadores de la onda IV.

Entre *G. domesticus* y *C. porcellus* (aves y mamíferos) se conserva un patrón morfológico de las ondas similar en la respuesta auditiva del PPATC, sin embargo, también se observan algunas diferencias.

*C. porcellus* presentó un patrón de respuesta constante en todas las intensidades aplicadas (70, 50 y 30 db) y en algunos ejemplares el umbral auditivo se ubicó en 10 dB. En esta especie se encontraron diferencias morfológicas con respecto a las anteriores analizadas. Cinco ondas claramente definidas dentro de los primeros 10 ms se pueden observar en la **figura 11**. De las especies anteriormente analizadas, esta es la única que presenta un complejo de cinco ondas. Las ondas más dominantes y presentes en todas las intensidades aplicadas (70, 50 y 30 db) fueron las ondas I, III y IV. De este complejo morfológico destaca la onda III por su gran amplitud en todas las intensidades aplicadas (70, 50 y 30 dB). Si recordamos, en las especies anteriores había una predominancia de la onda I, que destacaba por ser la de mayor amplitud seguida de la onda III, también se observó que la onda II empieza a tener importancia desde el punto de vista morfológico en el grupo de las aves *G. domesticus*, sin embargo, no alcanza a tener una amplitud importante como la onda III y tal parece que en *C. porcellus* su amplitud se repite esta misma tendencia.

Se puede considerar que la presencia de una Onda V solamente observable en esta especie a 70 dB implica el involucramiento de estructuras más complejas del tallo cerebral ubicadas en el tectum cerebral como son los colículos inferiores, lo que posiblemente se refleje en un mejor procesamiento de la respuesta auditiva

Sí comparamos los cuadros de resultados de las diferentes especies, se observa una disminución significativa de las latencias y del tiempo de conducción nerviosa en el mamífero *C. porcellus* en diferentes intensidades (70,50 y 30 dB) Estos hallazgos coinciden con los encontrados en otros mamíferos entre ellos el ser humano (Starr y Hamilton 1976, Moller y Jannetta 1982)

Por otro lado, en el ser humano, la aparición de las ondas I, III y IV-V asociadas con los tiempos de conducción nerviosa tienen utilidad en el diagnóstico clínico

## CUADRO 7

LATENCIA INTERVALO INTERONDA I-III  
PARA LAS CUATRO ESPECIES ESTUDIADAS

INTENSIDAD	ESPECIE	LATENCIA ONDAS I-III
70 dB	<i>R. catesbiana</i>	2.01
	<i>S. torquatus</i>	2.98
	<i>G. domesticus</i>	1.78
	<i>C. porcellus</i>	1.46
50 dB	<i>R. catesbiana</i>	2.25
	<i>S. torquatus</i>	3.92
	<i>G. domesticus</i>	1.81
	<i>C. porcellus</i>	1.45
30 dB	<i>R. catesbiana</i>	S/R
	<i>S. torquatus</i>	S/R
	<i>G. domesticus</i>	2.07
	<i>C. porcellus</i>	1.41

### VIII.- CONCLUSIONES.

Es importante destacar que la respuesta auditiva en los vertebrados terrestres en la medida en que se va ascendiendo en la escala auditiva, presenta una mayor complejidad. Sin embargo, esto no explica desde el punto de vista biológico los procesos evolutivos y de especiación de los organismos. Si recordamos en *R. catesbiana* a 70 dB se presenta una respuesta sencilla en la que se observa un patrón de dos ondas, (onda I y onda III). Aunque, en la discusión se trata de explicar el origen de la generación de estas ondas, los cambios morfológicos sucedidos durante la fase larvaria y su transformación en el adulto, tanto en la porción periférica del oído como los cambios en la composición y sinapsis de los núcleos del tallo cerebral permiten plantear una serie de preguntas que abren un campo interesante en la investigación de la audición comparada

¿ Por que a pesar de ser un grupo tan aparentemente primitivo en relación a su audición, los anfibios presentan una gran riqueza en el número de especies, ligada principalmente a su variabilidad en la anchos de banda del croar de cada especie?

¿ Lo anterior estará ligado también a diferencias en su estructura y geometría de los núcleos del tallo cerebral que les han permitido ocupar diferentes nichos ecológicos?

En reptiles (*S. torquatus*) a pesar de que aparentemente se presenta un patrón morfológico muy similar al del grupo de los anfibios, la respuesta auditiva es de mayor complejidad, ya que se observan a la misma intensidad 4 ondas. En el grupo de las aves (*G. domesticus*) utilizadas en esta investigación se nota una respuesta claramente definida a 70 dB en donde se observan 4 ondas. Así mismo, este es el primer grupo en el que se obtiene respuesta en todas las intensidades aplicadas y el umbral fisiológico de respuesta se promedió en 30 dB. Aunque en algunos ejemplares se halló respuesta en 15 dB.

En los mamíferos (*C. porcellus*) a 70 dB aparecen por primera vez 5 ondas dentro de los primeros 10 ms. Al igual que en las aves, es el primer grupo en el que se observa respuesta en todas las intensidades protocolariamente establecidas, siendo el umbral fisiológico de 30 dB. Al igual que en las aves algunos individuos presentaron respuesta en 15 dB.

Es importante también señalar que en las tres primeras especies *R. catesbiana*, *S. torquatus*, y *G. domesticus*, las ondas más constantes y de mayor amplitud fueron la onda I y la onda III, y de estas ondas destaca siempre la onda I, por tener una mayor definición y amplitud, lo que nos permite sugerir que la audición en estos ejemplares depende importantemente del análisis auditivo de las estructuras periféricas, oído medio e interno, así como de las fibras del nervio auditivo. El otro relevo importante en estos tres primeros grupos, resulta de los cúmulos neuronales que forman el complejo olivar. En cambio en los mamíferos aunque también hay predominancia de estas dos ondas (I y III). Sin embargo la onda III sigue siendo la más definida y con mayor amplitud que en los demás grupos, además a esto se puede sumar la importante reducción en los tiempos conducción nerviosa y latencias de los posibles generadores, lo cual sugiere que un número mayor de estructuras del tallo cerebral se

involucran en el procesamiento del estímulo auditivo, que da como resultado una mayor complejidad en la respuesta auditiva

De acuerdo a los hallazgos en este trabajo se puede concluir que la audición en *R. catesbiana* y *S. torquatus* es más dependiente de las estructuras periféricas de la audición, en el caso del anfibio las papilas anfibia y basilar y el nervio estatocústico, en el caso del reptil, la incipiente organización involucra el nervio auditivo y los núcleos dorsoventrales que juegan un papel importante.

Se puede considerar, que estas diferencias en la forma de las ondas están relacionadas con diferencias estructurales en la vía auditiva del tallo cerebral del reptil. Los núcleos acústicos dorsolaterales en *R. catesbiana* presentan desde el punto de vista filogenético, cambios anatómicos muy importantes, que se observan también en la respuesta fisiológica auditiva, debido a la pérdida de neuronas de la línea lateral y a la especialización auditiva que integran estos núcleos sin alcanzar, en esta especie, una respuesta más compleja

El reptil (*S. torquatus*), como vertebrado terrestre definido en su totalidad, tiene una respuesta auditiva fisiológica en el PPATC mejor estructurada que la del anfibio (*R. catesbiana*). Los cambios en la disposición, número, sinapsis y geometría de la vía auditiva, se representan como cambios en la latencia, morfología, y amplitud de las ondas y sus respuestas auditiva son más parecida a la de las aves.

Se presentan reducciones importantes en los tiempos de conducción nerviosa y latencias en *G. domesticus* y en el mamífero *C. porcellus* debido probablemente a que presentan un número mayor de sinapsis y una mejor organización de relevos en las estructuras que componen la vía auditiva en ambos grupos.

La onda III se constituye como la respuesta auditiva más vigorosa, constante y de mayor amplitud en todos los grupos y aun cuando es arriesgado precisar las estructuras que generan esta onda en todos los grupos de vertebrados terrestres, se considera que la respuesta es emitida en el tracto ascendente, entre el complejo olivar superior y el colículo inferior, principalmente en el núcleo del lemnisco lateral en aquellos que lo presentan o en acúmulos neuronales cercanos a el colículo

Se puede concluir que las reducciones en los tiempos de conducción nerviosa y de latencias no están influenciados de ninguna manera por el tamaño del cráneo que postula Chambers y cols (1989) el cual sugiere que hay una correlación positiva entre el tamaño de la cabeza y las latencias de PPATC, es decir a mayor tamaño de cráneo se presenta una mayor longitud de las fibras y por lo tanto se obtiene una latencia mayor. Aun cuando el objetivo de este trabajo no era comparar morfométricamente el tamaño del cráneo, es obvio que hay variaciones muy marcadas y visibles entre las especies estudiadas que van desde el cráneo pequeño en las lagartijas (*S. torquatus*) hasta el cráneo de tamaño grande en el cuy (*C. porcellus*).

Para demostrar esto, se observa en el **cuadro 7** que existe una tendencia hacia la reducción en los tiempos del intervalo I-III y las latencias por onda en la medida en que se asciende en la escala evolutiva, en donde los mamíferos son los de mayor masa corporal y por ende los de mayor tamaño en el cráneo

Por último, se puede considerar que las ondas generadas en los diferentes núcleos del tallo cerebral de todos los vertebrados dependen de la integridad del tallo cerebral, de la temperatura del medio ambiente en los poiquiloterms y de las diferentes estructuras que

intervienen en la decodificación y codificación del estímulo auditivo, así como de los neurotransmisores involucrados en la transmisión del estímulo auditivo. Así mismo se considera que la sucesión de ondas presentes en el PPATC representan una sucesión del análisis del estímulo en los diferentes niveles del tallo cerebral y que la respuesta observada a través de las ondas en relación a la latencia, amplitud y morfología del PPATC va a depender de la escala evolutiva a la cual pertenezca el vertebrado en estudio.

Por otro lado, a pesar del esfuerzo que se hizo para comparar las respuestas auditivas del tallo cerebral a través de una herramienta moderna, no invasiva, y confiable como son los PPATC en estas cuatro especies de vertebrados terrestres quedan muchas preguntas por contestar debido a lo limitado de trabajar con una sola especie representante de cada clase. Por lo que surgen otras interrogantes:

- ¿ El conocimiento de la audición en la clase transicional (Anura) facilitaría el conocimiento del desarrollo de la audición en los vertebrados totalmente terrestres?
- ¿ Cuales son las diferencias filo-ontogenéticas desde el punto de vista histológico y bioquímico en la vía auditiva en los diferentes ordenes de los animales terrestres?
- ¿ En que momento de la escala evolutiva animal emerge la conciencia auditiva que permite diferenciar los estímulos auditivos y dar una respuesta a través del establecimiento de códigos de comunicación (canto, danzas, lenguaje social)?
- ¿ Cuales son las fases de reconocimiento del estímulo vocal que permite desarrollar en las diferentes clases de vertebrados la comunicación entre organismos de la misma especie?

¿ Cuales son los aportes hacia el conocimiento de las alteraciones y trastornos auditivos en el ser humano, a partir del estudio y el conocimiento de los PPATC en las diferentes especies de vertebrados terrestres?

Como estas preguntas, podrían plantearse muchas más. ya que la audición es un sistema de ingeniería perfecta de la naturaleza. en la que seguramente en cada especie viviente hay diferencias sutiles o marcadas en el procesamiento auditivo que les ha permitido tener ventajas que han aprovechado para llegar hasta nuestros días. Pero a pesar de esto. reiteramos que todavía hoy no se conocen en su totalidad muchos de los aspectos filogeneticos del desarrollo de la audición entre los diferentes grupos de vertebrados. Por lo que las ventanas de un interesante e importante campo de investigación están abiertas

## IX.- BIBLIOGRAFIA

- Alvarez del Villar J. 1985 Los cordados. Origen, Evolución y hábitos de los vertebrados Consejo Nacional Para la Enseñanza de la Biología. Ed. CECSA. México D.F.
- Ariëns Kappers C.U., Huber G.C., y Crosby E.C. 1936. The comparative anatomy of the nervous system of vertebrate, including man. Mac Millan, New York
- Bautista M., Morales J.J., y Poblano A. 1995 The hearing organ of lizard *Sceloporus torquatus*. An anatomical and physiological study. An. ORL Mex. Vol 40. No 3 117-121
- Beccari N. 1912 La costituzione, i nuclei terminali, e le vie di connessione del nervo acustico nella *Lacerta muralis*. Merr. Arch. Ital. anat.embriol. 10: 646-698
- Bergeijk W.A. 1966. Evolution of the sense of hearing in vertebrates. Amer. Zool. 6: 371-377
- Boord R.L. 1969 The anatomy of the avian auditory system. Ann NY Acad Sci. 167: 186-0198

Boord R L , Growchow L B , y Frishkop L.S 1970 Organization of the posterior ramus and ganglion of the eighth cranial nerve of the bullfrog *Rana catesbiana* Amer Zool 10: 555-566.

Campbell C.B., y Boord R.L. 1974. Central pathways of the posterior lateral line in *Xenopus* l. Amer Zool 1974 11 703-706.

Capranica R.R. y Frishkopf L S 1966 Responses of auditory units in the medulla of the cricket frog. J acoustic. Soc Amer 40: 1263

Carr CE. y Boudreau RE. 1991 Central projections of auditory nerve fibers in the barn owl J Com. Neurol. 314. 306-318.

Corwin J.T , Bullock T.H , y Schwitzer J. 1982 The auditory brain stem response in five vertebrate classes. Electroenceph Clin. Neurophysiol 54 629-641

Chambers R , Matthies M., y Scott K 1989 Correlations between various measure of head size and auditory brainstem responses latencies. Electroenceph. Clin.neurophysiol 35 126-138.

Dawson G.D. 1947. Cerebral responses to elctrical stimulatío of peripheral nerve in man J Neurol. Neurosurg. Psych. 10: 34-140

Defina A., y Webster DB. 1974 Central auditory pathways of nonmammalian vertebrates

Campbell CB Handbook of sensory physiology New York

Davis H 1976 Principles of electric response audiometry Ann Otol. Rhinol Laryngol 28

1-96

Flock A., y Flock B. 1966. Ultrastructure of the amphibian papilla in the bullfrog. J

Acoustic Soc Amer. 40, 1262

Gregory K M 1972. Central projections of the eighth nerve in the frogs Brain, Behavior

Evol. 5. 70-88

Gurner P 1971 The Importance of the lateral line system for the perception of surface

waves in the claw toad, *Xenopus laevis* Daudin *Experientia* (Basel) 29 295-296

Hamilton D W 1963 Posterior division of the eighth cranial nerve in *Lacerta vivipara*

*Nature* (Lond.). 200 705-706

Harris G G , y Bergeux W.V. 1962. Evidence that the lateral line organ respond to water

displacement. *J. acoust Soc Amer.* 34. 1831-1841.

Larsell O. 1967. The comparative anatomy and histology of the cerebellum from Myxinoidea through Birds. Minneapolis: Univ. Minnesota Press

Lorente de Nó R. 1933. Anatomy of eighth cranial nerve. General plan and structure of the primary cochlear nuclei. Laryngoscope (St. Louis ), 43. 327-350

Miller M.R. 1968 The cochlear duct of snakes. Proc Calif Academic. Sci. 35: 425-475

Moller A.R., y Jannetta P J 1982 Auditory evoked potentials recorded intracranially from the brain stem in man. Exp Neurol. 78 144-157

Morales J.J., Poblano A., Mújica E., y Montes de Oca E 1995 Potenciales evocados auditivos de tallo cerebral en Rana catesbiana. An. ORL Mex 40: 9-12

Morales J.J., y Ortiz H. 1999 Comparación de la respuesta auditiva del tallo cerebral entre Rana catesbiana (Anura: ranidae) y Sceloporus torquatus (Sauria: phrynosomatidae) Acta Zool Mex. (n. s ) 76 103-112

Mussiek F.E., y Baran J.A 1986. Neuroanatomy, Neurophysiology and central auditory assesment Part I. Brain stem. Ear and Hear, 7: 207-219

Overbeck W. G. y Church M. 1992. Effects of tone bursts frequency and intensity on the auditory brainstem response (ABR) from albino and pigment rats. Hear. Res. 59. 129-137.

- Potter, H D 1965 Mesencephalic auditory region of the bullfrog J Neurophysiol 28  
1132-1154
- Prebil K J 1967 Some histological and citological features of the otic ampullae in certain  
lizards Master's Thesis, Univ. Tennes U S A
- Pumphrey R J 1950 Hearing System Soc Exp Biol 4 178-181
- Radinsky L 1987 The evolution of vertebrate design University of Chicago cap 10, pp  
87-94
- Regan D 1975 Recent advances in electrical recording from the human brain Nature 253  
401-407
- Romer A S 1980 Anatomía animal comparada Ed Interamericana Mexico D F
- Rosenhall U 1971 Morphological patterns of the organ of Corti in the Birds Arch Ohr  
200. 42-63
- Rusell J J. 1976. Amphibian lateral line receptors. In frog neurobiology Llinas R. Precht  
W. Springer Verlage Berlin Hidelberg Germany. 513-550.

ESTACION DE INVESTIGACIONES  
DE LA UNAM

Ryals B M., y Rubel E W 1982. Patterns of hair cell loss in chick basilar papilla after intense auditory stimulation: Frequency organization. *Acta otolaryngol.* 93 205-210

Sachs M.B. 1964 Characteristics of primary auditory neurons in the green frog M S Thesis Cambridge, Mass. Massachusetts Institute of Technology.

Sarnat H.B, y Netsky M.G 1976. Sistema de la línea lateral, vestibular y acústico Percepción vibratoria táctil En *Evolución del sistema nervioso*. H Blume Ediciones Madrid

Segall W 1971 The auditory region (ossicles, sinuses) in gliding mammals and selected Orepresentatives of non- gliding genera. *Fieldiana Zool* 58 27-59

Seaman R. 1991. Method to record evoked potentials from eight nerve *Hearing Research* 51 301-306

Sehmsdorff J 1966. The primate superior olivary complex *Anat Rec* 154 421-422

Smith Z 1981 Organization and development of brain stem auditory nuclei of the chicken: dendritic development in N. Laminaris. *J Comp. Neurol* 203: 309-333

Starr A 1978. Sensory evoked potentials in clinical disorders of the nervous system. *Ann Rev Neurosci.*1: 103-127,

Starr A., y Hamilton A.E. 1976 Correlation between confirmed sites of neurological lesions and abnormalities of far-field auditory brainstem responses. *Electroencephal Clin neurophysiol* 41. 595-608

Takasaka T., y Smith C.A. 1971 The structure and innervation of the pigeon's basillar papilla. *J Ultrastruc Res.* 35 20-65

Wever E.G. 1981 *Handbook of sensory physiology* Ed Keidel D.W. and William D.N. Heidelberg New York, Vol V/1. 423-454

Werner C.F y Wever E.G. 1972 The function of the middle ear in lizard: *Gekko gekko* and *Eublebaris macularis* (Gekkenoidea) *J Exp. Zool* 179 1-16)