



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

TESIS:

**EFFECTO DE LA PRIVACIÓN DE SUEÑO
SOBRE LOS UMBRALES A ESTÍMULOS OLFATORIOS**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO

PRESENTA:

JULIO CÉSAR SALAZAR VÁSQUEZ

DIRECTORA DE TESIS:

DRA. KARINA MENDOZA ÁNGELES



CIUDAD UNIVERSITARIA, MÉXICO, D.F., NOVIEMBRE 2015.

El presente trabajo fue realizado en el
Laboratorio de Redes Neuronales de la Facultad de Medicina,
Parcialmente financiado por el Programa UNAM-DGAPA-PAPIIT IN204014.

Dedicatoria

A mi madre: Demetria Vásquez Hernández

A mi padre : Juan Salazar García

Por apoyarme en todo momento de mi vida, preocupándose de mi bienestar y brindándome los recursos necesarios pero sobre todo su valioso tiempo.

Gracias por creer y confiar en mí, enseñarme a valorar la vida a través de sus experiencias y ayudarme a conformar mi identidad como **Nanj ni'in** (triqui).

Me ayudaron demasiado para poder llegar a este momento. A pesar de los momentos difíciles, siempre estuvieron ahí.

Son las piezas fundamentales de mi existir, todo o casi todo se los debo a ustedes, les debo mucho.

Sobre todo les agradezco por su amor, paciencia y que dieron lo mejor de ustedes para formar una buena persona.

Gracias mamá.

Gracias papá.

Agradecimientos

A mí papá y mamá por quererme, apoyarme y soportarme durante este tiempo. Son la pieza fundamental de mí .

A mis hermanos: Juan Carlos Salazar Vásquez y Cuauhtémoc Salazar Vásquez por apoyarme y tener la oportunidad de convivir con ustedes.

A la UNAM y Facultad de Ingeniería por abrirme las puertas, brindarme los conocimientos y oportunidades ofrecidas, darme un amplio espectro de lo que se puede brindar a la sociedad.

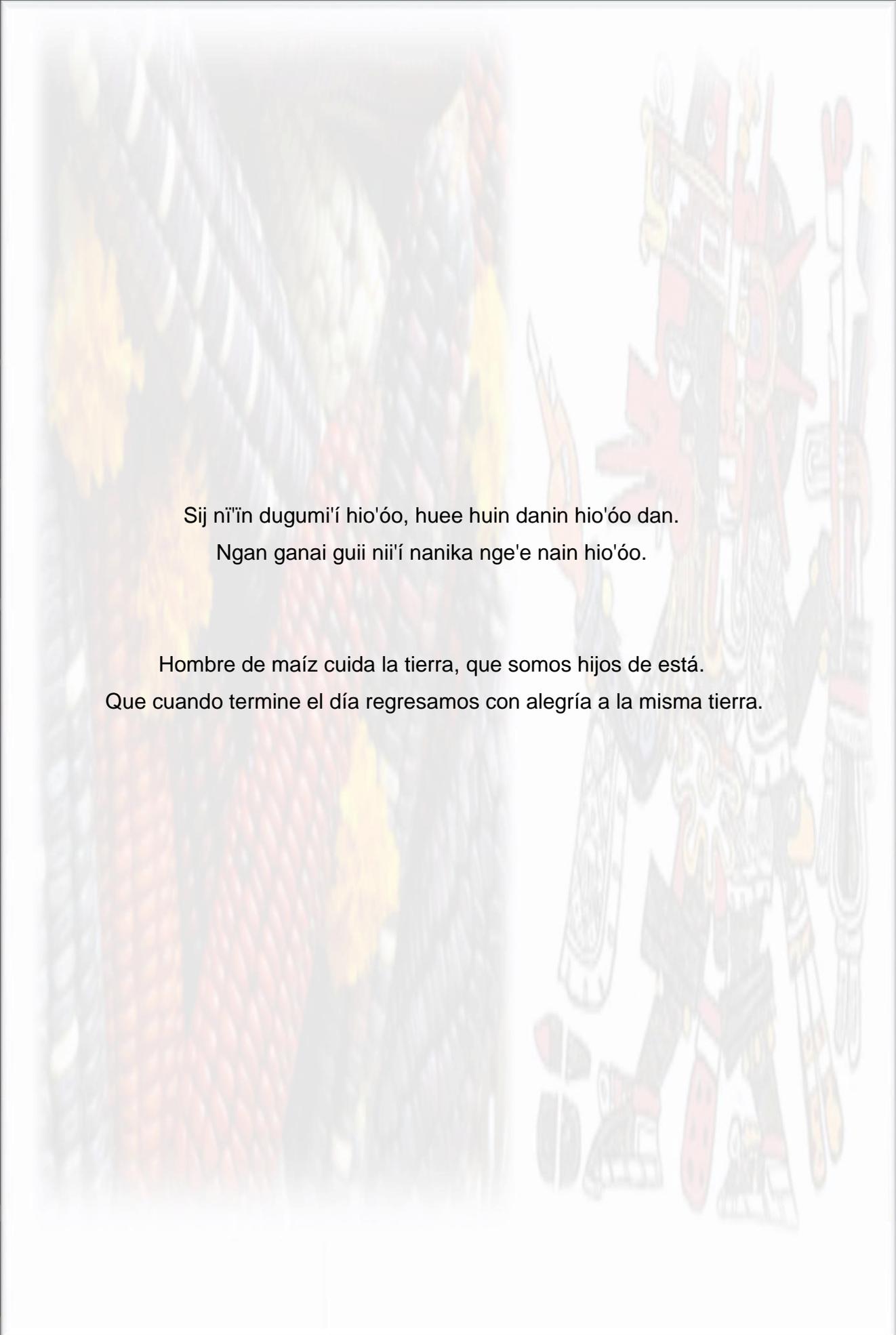
Al Programa Universitario de Estudios de la Diversidad Cultural y la Interculturalidad (PUIC), por el tiempo que se me brindó la beca (año y medio) y darme un mejor panorama de los pueblos originarios.

A la Dra. Karina Mendoza Ángeles por compartir sus conocimientos, brindarme su apoyo, tiempo y dedicación para la realización del proyecto.

A mis sinodales, por brindarme su tiempo para leer este trabajo y aceptar ser parte de mi jurado.

Ing. Gabriel Alejandro Jaramillo Morales., M.I Juan Manuel Gómez Gonzales., M.I Vicente Flores Olvera y Dr. Jesús Gerardo Hernández Falcón

A mis amigos por toda su ayuda, consejos y los momentos que compartimos, durante la etapa de formación.



Sij nĩ'in dugumi'í hio'óo, huee huiñ danin hio'óo dan.
Ngan ganai guii nĩ'í nanika nge'e nain hio'óo.

Hombre de maíz cuida la tierra, que somos hijos de está.
Que cuando termine el día regresamos con alegría a la misma tierra.

ÍNDICE

1. Introducción	1
1.1. Conducta agonista	1
1.1.1. Conducta agonista en el acocil	2
1.2. Sistema olfatorio del acocil	4
1.2.1. Proceso de transducción	5
1.3. Sueño en el acocil	6
1.4. Correlación entre conducta agonista y sueño	8
1.5. Anatomía estructural y del sistema nervioso	8
1.6. Análisis de señales	11
1.6.1. Análisis en tiempo-frecuencia	12
1.6.2. Transformada Wavelet	14
2. Objetivo	17
3. Hipótesis	18
4. Diseño experimental	20
5. Material y Métodos	23
5.1. Material biológico	23
5.2. Diseño y colocación de los electrodos	23
5.3. Obtención de los registros	27
5.3.1. Condiciones control	27
5.3.2. Privación de sueño	28
5.4 Análisis de los registros	28

6. Resultados	29
6.1. Condiciones control	31
6.1.1. Estimulación con agua	31
6.1.2. Estimulación con comida	36
6.1.3. Estimulación con orina	41
6.2. Privación de sueño	46
6.2.1. Estimulación con agua	46
6.2.2. Estimulación con comida	50
6.2.3. Estimulación con orina	54
6.3 Comparación entre las condiciones control y de privación de sueño	58
6.3.1 Señales electrofisiológicas y respuestas conductuales	58
6.3.2 Análisis tiempo-frecuencia	58
6.3.3. Conteo de espigas	59
7. Conclusiones	62
8. Referencias	64
9. Anexos	66

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Conducta agonista

La conducta agonista es un complicado fenómeno que se despliega cuando los animales son colocados en interacción con sus conespecíficos. En estas condiciones, los individuos inician un enfrentamiento, que da como resultado el establecimiento de un orden jerárquico de dominancia-sumisión que persiste a lo largo del tiempo.

De acuerdo con **Wittenberger (1981)**, la conducta agonista es la llave para el comportamiento animal, en la medida en la que permite a los animales establecer el control de su entorno o espacio; competir por los recursos y guaridas; y por último, poder aparearse. Es decir, la conducta agonista tiene un gran significado adaptativo, en la medida de que el animal dominante, a diferencia de los sumisos tiene acceso libre al alimento y la reproducción (**Delgado-Morales y cols., 2004**).

Moyer (1969) elaboró una clasificación de 7 categorías de conducta agonista con base en el comportamiento animal y humano: depredadora, entre machos, inducida por el miedo, irritable, territorial, maternal e instrumental. La conducta agonista interviene en distintas funciones de diversas especies y las distintas categorías evolucionan en más de un centro del control del cerebro (**Moyer 1969,1971; Barlow, 1970; Tinberge, 1971**).

El nivel agonista varía de una especie a otra, incluso dentro de una misma especie puede abarcar intervalos de agresión abierta y directa, hasta sólo el uso sutil de señaladores con sustancias químicas (**Delgado-Morales y cols., 2004**). Durante los combates agonistas pueden ocurrir lesiones que podrían llevar a la muerte de uno de los congéneres en disputa, sobre todo entre individuos jóvenes. Sin embargo, en los adultos se observa una ritualización del combate por lo que es muy raro que se presenten daños o lesiones.

1.1.1 Conducta agonista en el acocil

El comportamiento agonista territorial en los crustáceos ha sido muy estudiado debido a que puede ser cuantificado, además de que en estos animales se han identificado algunos sistemas neuronales y neurotransmisores (como la serotonina y la octopamina) implicados en el desarrollo (Kravitz, 2000) y expresión de la conducta agonista.



Figura 1.1. Acociles en interacción social.

Específicamente, en el acocil (Figura 1.1), la conducta agonista está expresada por un cierto número de comportamientos que se denominan contactos positivos y contactos negativos. Los primeros son de amenaza, ataque y combate, que están orientados al acercamiento de un individuo a un oponente, mientras los segundos son de retirada y evasión, y consisten en evitar contacto con alguno de los conespecíficos.

La información adquirida por los diferentes sistemas sensoriales durante los encuentros agonistas conlleva a adoptar un estatus, que puede ser de dominancia o sumisión entre un grupo de dos o más conespecíficos. Aquel que adquiere la dominancia obtiene ventajas en comparación con sus congéneres en la disponibilidad de alimento, apareamiento y refugio. El grado de dominancia de un individuo puede calcularse mediante una relación entre los contactos positivos y negativos que despliega. El acocil dominante será aquel que presente mayor

número de contactos positivos y provoque en sus contrincantes el mayor número de contactos negativos.

Si los encuentros se efectúan diariamente los contactos positivos que despliegan todos los individuos de una triada disminuyen, mientras que los contactos negativos aumentan en los animales sumisos. Es decir, al parecer se establece una memoria de reconocimiento individual a partir de la información sensorial percibida durante el primer contacto.

Se ha planteado que en el establecimiento de un orden jerárquico intervienen tanto factores intrínsecos como extrínsecos. Los factores intrínsecos son las características físicas o fisiológicas inherentes como el tamaño físico, el tamaño de la quela o del caparazón y se plantea que algunos de estos factores podrían ser determinantes para establecer y poder predecir la dominancia en un conjunto de congéneres. Mientras que los factores extrínsecos son características del medio ambiente como la temperatura, humedad y oxígeno, donde se encuentra el alimento, etc.

Actualmente se considera que las relaciones entre la dominancia-sumisión no son atributos exclusivas de los individuos y que están sujetas a diversos cambios como la edad y la experiencia. Sin embargo, existen importantes incógnitas sobre qué factores intrínsecos contribuyen a que un acocil establezca dominancia sobre otro. Considerando que la obtención y el procesamiento de la información sensorial son fundamentales para el establecimiento del orden jerárquico, es posible postular que aquel individuo que procese de manera más eficiente la información externa tendrá ventajas sobre el resto de los contrincantes.

El acocil tiene diferentes sistemas sensoriales bien desarrollados y es capaz de procesar señales químicas, mecánicas y visuales, sin embargo existe evidencia que indica que el sistema olfatorio es determinante en el establecimiento del orden jerárquico.

1.2. Sistema olfatorio del acocil

Los patrones específicos de movimiento y tipos de conducta dependen del sistema nervioso, este toma la información del exterior vía sistemas sensoriales, la procesa e integra y finalmente dirige la actividad en cierto sentido a través del sistema muscular.

Por lo que el sistema nervioso puede ser conceptualizado en tres partes principales: 1) La entrada de información al sistema, 2) El procesamiento de dicha información y 3) La ejecución de acciones específicas mediante la contracción muscular en distintas combinaciones y secuencias para crear un patrón de movimiento o una conducta particular (**Grier,1984**).

El sistema sensorial que permite la percepción química (gusto y olfato), es el más frecuentemente encontrado en diferentes especies de animales. Las señales olfatorias en particular, son usadas como un medio de comunicación entre conspecíficos que permite establecer atracción sexual; identificación o reconocimiento de conespecíficos; identificar una posible presa o depredador, alimento o alguna sustancia nociva.

En el acocil, el sistema olfatorio comprende las anténulas y los lóbulos olfatorios, estos últimos localizados en el deutocerebro. El proceso de transducción inicia en las anténulas, las cuales poseen unas estructuras en forma de cilios denominados estetascos que contienen quimiorreceptores inervados.

Cada anténula cuenta con una gran cantidad de estetascos, que salen del exoesqueleto flagelar y están conectados con el deutocerebro mediante neuronas sensoriales bipolares con dendritas ramificadas a todo lo largo **del lumen del cilio**.

Estas ramificaciones están en contacto con el medio externo a través de una pared cuticular esponjosa delgada y permeable que se encuentra en la zona distal

de cada uno de los cilios. El número de estetascos por anténula varía, así como la cantidad de neuronas que inervan cada uno de los cilios (alrededor de 100) (**Delgado-Morales y cols., 2004**).

Los cilios quimiosensitivos también se encuentran en los distintos apéndices, especialmente en los pereiópodos y en los apéndices bucales. Sin embargo, en estas regiones sólo están inervadas por un pequeño número de neuronas receptoras (no mayor a 20) y además no presentan dendritas ramificadas.

Los quimiorreceptores que se encuentran en las anténulas son considerados órganos olfatorios y se diferencian de los quimiorreceptores dactilares y bucales, en que éstos son considerados órganos del gusto, aunque esto no es de todo cierto, ya que los quimiorreceptores que están presentes en las anténulas, actúan como receptores que incitan o estimulan algunos comportamientos de alimentación. Se ha descubierto que los receptores en los apéndices dactilares y bucales, podrían desencadenar el apareamiento con una debida estimulación (**Delgado-Morales y cols., 2004**).

Una diferencia entre los apéndices mencionados (bucales, pereiópodos) y las anténulas es que éstas **son 5 veces más sensibles, es decir los umbrales de los quimiorreceptores son menores en las anténulas**. Además, las anténulas son muy eficientes para detectar compuestos químicos a bajas concentraciones debido a su capacidad de moverse en amplios espacios.

1.2.1 Proceso de transducción

En el acócil existen células receptoras olfatorias (CRO), las cuales se encuentran distribuidas sobre las anténulas. Las sustancias odoríferas (de carácter hidrofílico) llegan a través de los poros de los cilios olfatorios. Aunque no se han identificado moléculas receptoras específicas en las CRO, se ha visto que éstas responden a la estimulación olorosa con potenciales de receptores graduados de tipo

despolarizante que llevan a la generación de potenciales de acción (**Delgado-Morales y cols., 2004**).

Se han identificado varios tipos de canales y corrientes iónicas. Destacan los canales activados por AMP_c (**Michel y Ache, 1992**), canales activados por IP₃ y canales activados por IP₄ (**Fadool y Ache, 1994**). Se han encontrado al menos dos vías de segundos mensajeros en las CRO de algunos crustáceos (langostas), las cuales usan AMP_c e IP₃ en las dendritas.

La señal olfatoria es conducida por los axones de la CRO, generalmente 2 de cada polo sensorial, los que terminan en estructuras similares a los glomérulos del vertebrado. En los crustáceos decápodos las proyecciones aferentes primarias terminan en glomérulos de forma cónica, que se encuentran en los lóbulos olfatorios del cerebro.

La mayoría de las CRO proyectadas al lóbulo antenular ipsilateral y los glomérulos, contienen las neuronas principales e interneuronas-locales. Parece haber compartimentalización de las entradas aferentes en los centros olfatorios primarios (**Hildebrand y Shepheard, 1977**).

1.3. Sueño en el acocil

El acocil se ha usado como modelo de estudio de algunas funciones cerebrales de las llamadas 'complejas' debido a que en él es posible colocar electrodos en la superficie del cerebro y obtener registros de su actividad eléctrica cerebral. Particularmente, en esta preparación se ha descrito la presencia de sueño de ondas lentas y se han caracterizado algunos de sus aspectos conductuales y electrofisiológicos.

Desde el punto de vista conductual, y en condiciones de laboratorio, en el acocil es posible observar dos tipos básicos de comportamiento: a) desplazándose por el acuario, explorándolo e interactuando con sus conespecíficos (estableciendo y

manteniendo órdenes jerárquicos) (**Figura 1.2 A**), o b) inmóvil. En este caso, se le puede encontrar de lado a nivel de la superficie del agua, soportado por las patas ambulatorias de un lado colocadas en el fondo del acuario y las contralaterales en la pared del mismo y con la mitad del animal a nivel de la superficie del agua (**Figura 1.2 B**). Esta es la posición estereotípica de sueño, se asocia con un aumento en el umbral a estímulos sensoriales y un patrón típico y característico en la actividad del electroencefalograma (EEG).

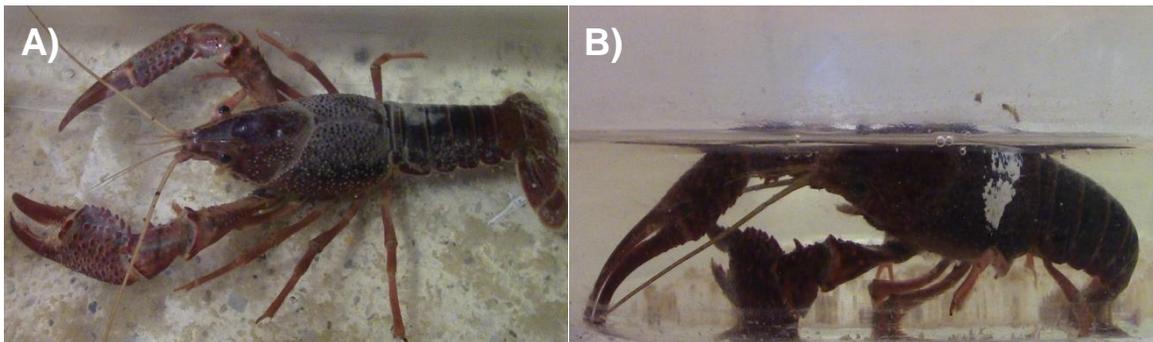


Figura 1.2. Acocil *Procamburus clarkii*. A) Desplazándose (alerta) y B) Inmóvil (Dormido)

Desde el punto de vista electrofisiológico, el EEG de acociles despiertos y alertas se caracteriza por la presencia de multitud de espigas sobre una línea base prácticamente plana.

El análisis del EEG del acocil mediante transformada wavelet ha permitido concluir que en el animal alerta la mayoría de las frecuencias presentes, presentan valores en potencia que varían de manera azarosa.

La frecuencia dominante es de alrededor de los 40 Hz. Cuando el animal se pone de lado y duerme, la actividad de espigas es sustituida por ondas lentas con frecuencias de 15-20 Hz y se reduce la potencia de las ondas con frecuencias de 30-45 Hz lo cual es único para este estado.

Hasta el momento se desconoce cómo participan las entradas sensoriales en el inicio o la terminación de estos cambios y cómo se modifican los umbrales, registrados directamente del cerebro, antes, durante e inmediatamente después de los periodos de sueño y si estas entradas sensoriales son determinantes para que aparezca el propio sueño (tal como ocurre en los vertebrados). Sin embargo, resultados preliminares parecen indicar que el bloqueo de las entradas olfatorias modifica el tiempo total de sueño.

1.4. Correlación entre conducta agonista y sueño

Una de las hipótesis más aceptadas respecto a la función del sueño postula que este estado cerebral permite la consolidación de la memoria. Existe evidencia que parece indicar que específicamente durante el sueño de ondas lentas se consolida la memoria declarativa. Resultados preliminares obtenidos usando al acocil como modelo de estudio indican, que la privación de sueño modifica la conducta agonista del acocil incrementando la intensidad y la duración de los contactos positivos. Asimismo, algunas observaciones preliminares parecen indicar que los umbrales a estímulos sensoriales son más bajos en los acociles dominantes que en los sumisos y que la privación de sueño y la anestesia por frío los modifica y de alguna manera interfiere en la consolidación de la memoria de reconocimiento olfatorio indispensable para el mantenimiento del orden jerárquico.

1.5. Anatomía estructural y del sistema nervioso

Para realizar este trabajo tesis experimental, se obtuvieron registros de la actividad eléctrica del cerebro (lóbulos olfatorios) y de las anténulas. Por ello es preciso identificar dónde se colocaron los electrodos. A continuación, se explica una breve revisión de la estructura física (**Figura 1.3 A**), y la anatomía del sistema nervioso del acocil (**Figura 1.3 B**).

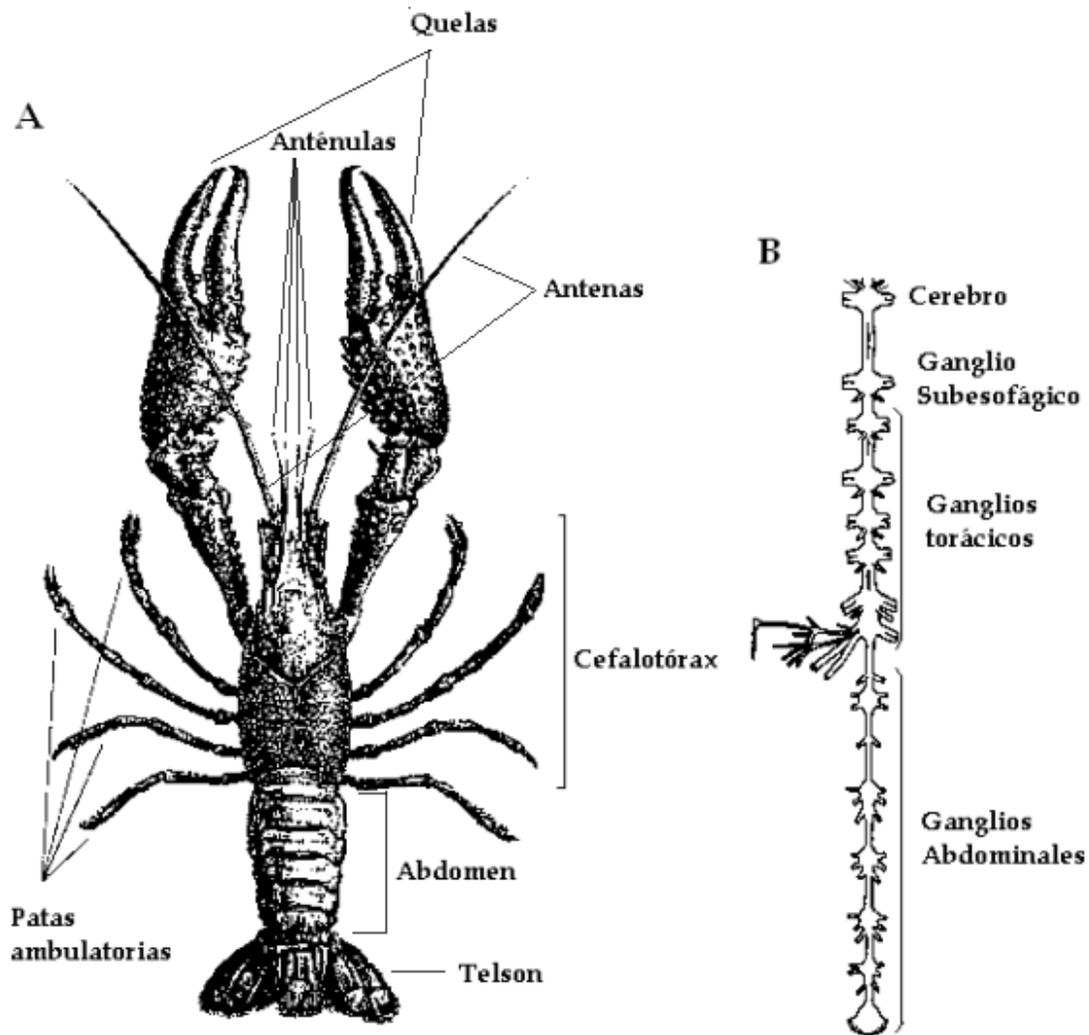


Figura 1.3. A) Vista dorsal del acocil. B) Sistema nervioso del acocil.

Modificada de Cattaert y Lray, 2001

En los apéndices de la cabeza se encuentran, las anténulas y antenas (**Figura 1.3 A**)

Las anténulas son segmentos basales que contienen estatocistos y músculos, además, soporta dos flagelos sensoriales que contienen mecanorreceptores y quimiorreceptores.

Las antenas son segmentos basales que contienen músculos, soportan en su estructura un solo flagelo largo sensorial que contiene fundamentalmente mecanorreceptores.

El cerebro del acocil está conformado por la unión de tres ganglios embrionarios: el más rostral es el protocerebro, después está el deutocerebro y por último el tritocerebro que es el más caudal (**Figura 1.4**).

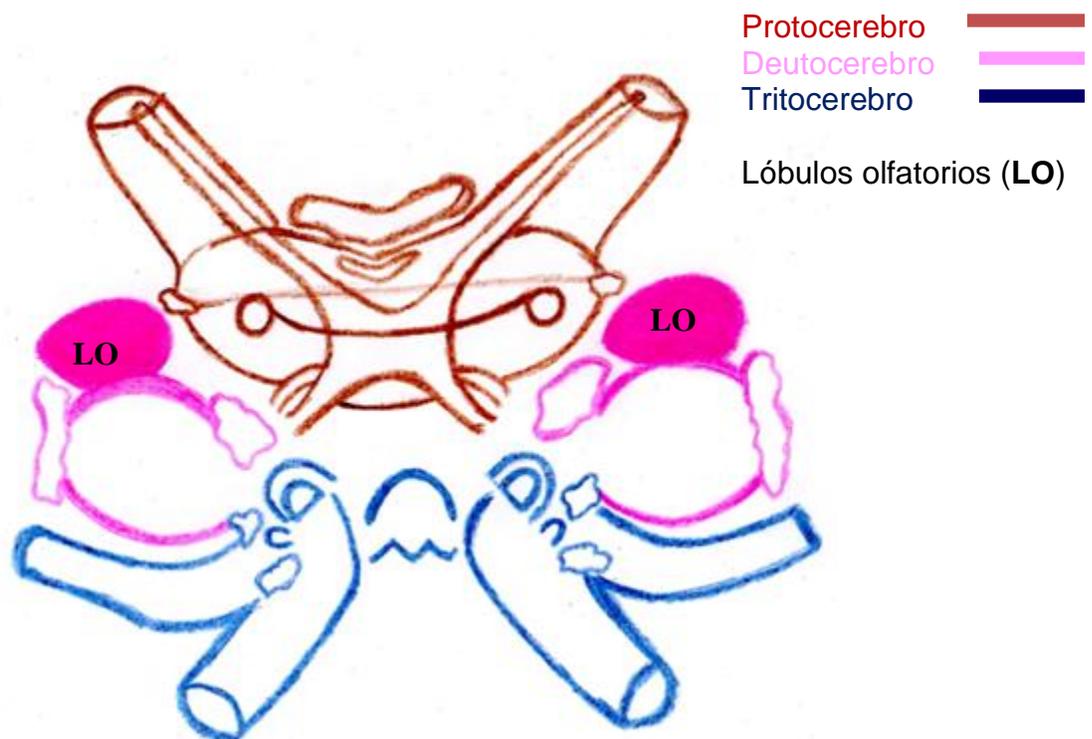


Figura 1.4 Vista dorsal del cerebro del acocil. Modificada de Sandeman y cols., 1984.

Al protocerebro lo conforman el ganglio óptico (lámina, médula externa e interna), el protocerebro lateral (médula terminal y cuerpo elipsoidal) y el protocerebro medio (neuropilos del protocerebro medial anterior y posterior, puente del protocerebro y el cuerpo central).

Al deutocerebro lo conforman los lóbulos olfatorios (LO) que son esferas delineadas ubicadas sobre cada lado del cerebro, contienen áreas en forma de cono en campos sinápticos empaquetados densamente (glomérulos olfatorios), organizados con sus vértices señalando al centro de la esfera. Los lóbulos olfatorios reciben las terminaciones aferentes primarias de los quimiorreceptores ubicados en la anténula. También se encuentran los **neuropilos** laterales de las anténulas (mecanorreceptores y neuronas motoras), los neuropilos centrales de las antenas y los lóbulos accesorios.

Por último el tritocerebro está formado por el neuropilo tegumentario y los neuropilos de las antenas (mecanorreceptores, propioceptores y neuronas motoras). El tritocerebro forma un par de conectivos que se extienden alrededor del esófago hacia el ganglio subesofágico, las cuales permiten la comunicación entre el cerebro y la cadena nerviosa tóracoabdominal. Al tritocerebro también llegan algunos nervios antenulares, así como ciertos nervios sensoriales de la región anterior de la cabeza (**Mendoza-Ángeles, 2008**).

Para realizar este trabajo se implantaron electrodos de diferentes características tanto en la región del cerebro correspondiente al deutocerebro, específicamente en lóbulos olfatorios y en las anténulas del acocil.

1.6 Análisis de señales

Las señales son modificaciones en las variables de estado de los procesos que se llevan a cabo en los sistemas. Están presentes en una infinidad de disciplinas, por mencionar algunas, están en los circuitos eléctricos, las comunicaciones, la acústica, el procesamiento de voz e imágenes, el control de procesos, entre muchas más disciplinas, incluyendo las ciencias biomédicas.

A pesar de ser muy diferentes, las señales presentan características básicas en común en su naturaleza física. Dependiendo de las señales de las que se trate pueden tener diferentes variables independientes como el desplazamiento, el

ángulo o por lo general el tiempo, ellas nos proporcionan información del fenómeno que las genera. La importancia de las señales se debe a los diversos fenómenos que describen y a las múltiples representaciones que de ellas se pueden realizar: en forma de bases de datos, gráficas o funciones matemáticas (**Mata y cols., 2006**).

Algunos ejemplos de señales son la corriente y el voltaje eléctrico, la presión, la temperatura, la voz, las imágenes. Dentro del ámbito biomédico, se encuentran las electrofisiológicas que son las que se abordarán en este trabajo.

Cada señal nos brinda información sobre el estado en que se encuentra una determinada condición dentro de un proceso. Por lo anterior es importante caracterizar adecuadamente una señal, para analizarla con el método adecuado.

Las señales que se registraron, representan los potenciales de acción de los axones olfatorios o la actividad eléctrica de campo del deuterocerebro como función del tiempo. Es decir, son modificaciones en las variables de estado de los procesos que se llevan a cabo en los sistemas olfatorio y nervioso por lo que para su análisis pueden usarse algunos métodos descritos para señales dependientes del tiempo.

1.6.1. Análisis en tiempo-frecuencia

Un proceso físico puede ser descrito en el dominio del tiempo, mediante la representación de una función respecto al tiempo $f(t)$. De igual manera es posible describir este mismo proceso en el dominio de la frecuencia con una función con respecto a la frecuencia $F(\omega)$. Existen algunas herramientas para este fin las cuales se han desarrollado para satisfacer las diferentes necesidades que se han presentado en el análisis de señales. El método más conocido es la transformada de Fourier (TF) que consiste en representar una señal $f(t)$ mediante una sumatoria de funciones, para usarla, es indispensable que esta sea estacionaria y periódica aunque también pueden presentar cambios vertiginosos pero sólo en intervalos

pequeños. También está la transformada Rápida de Fourier (**TRF**), que es una herramienta con la capacidad de representar un proceso físico, tanto en el dominio del tiempo como en la frecuencia. Dado que está definida globalmente solo es válida para señales estacionarias.

Para el análisis de señales no estacionarias han surgido varios métodos como la transformada de Fourier en corto tiempo (**TFCT**), la transformada Gabor y la transformada Wavelet (**TW**).

La transformada de Fourier en corto tiempo (TFCT) puede analizar señales no estacionarias pero sólo en pequeños segmentos de la señal en un tiempo determinado (mediante una ventana fija), por lo que no permite analizar los detalles en señales que presenten variaciones de frecuencia en el tiempo.

En 1946 Denis Gabor adaptó la Transformada de Fourier, dando lugar a la Transformada de Gabor que es un tipo especial de TFCT, en el que se utiliza una ventana de tipo gaussiano para la localización de las frecuencias en el tiempo.

En esta técnica un parámetro, equivalente a un intervalo de tiempo fijo, es empleado para trasladar la ventana con el objetivo de cubrir todo el dominio temporal de la señal. Nos permite analizar la señal en tiempo-frecuencia (**Kouro y Musalem, 2002**).

Esta idea se presenta de una forma esquemática en la **Figura 1.5**.



Figura 1.5 Representación esquemática de la Transformada de Gabor y TFCT.

Los métodos mencionados anteriormente son incapaces de identificar los momentos en que una señal no estacionaria presenta cambios abruptos en su frecuencia, por lo tanto existiría pérdida de información indispensable para un buen análisis.

Se presenta un problema al analizar una señal no estacionaria en la resolución tiempo-frecuencia que es resultado del principio de incertidumbre de Heisenberg, sin embargo, es posible realizar el análisis mediante un método multirresolución como la transformada wavelet. Este método ha sido utilizado previamente para el análisis de señales electrofisiológicas.

1.6.2 Transformada Wavelet

A mediados de los años 80 Morlet y Grossman reactivaron la colaboración fundamental entre las teorías de la física atómica y el procesamiento de señales y formalizaron lo que hoy se conoce como transformada Wavelet (**Osorio, 2006**). Consiste en un análisis de multirresolución con ventanas de longitudes variables, que se adaptan para registrar todo el ancho de frecuencia de la señal. Este método es eficiente para el análisis de señales no estacionarias y de rápida transitoriedad, mapea la señal en una representación de tiempo-frecuencia preservando el aspecto temporal de las señales (**Lester, 2006**).

Permite obtener una representación, descomposición y reconstrucción de las señales, que pueden presentar cambios abruptos en sus componentes de tiempo-frecuencia de forma instantánea mediante el uso de intervalos grandes de tiempo en segmentos de la señal que requieran una mayor precisión en bajas frecuencias, y de intervalos pequeños de tiempo cuando se requiera información en altas frecuencias, lo que brinda una buena resolución en tiempo y frecuencia en cualquier ubicación del plano $t-\omega$.

Esta idea se presenta de una forma esquemática en la **Figura 1.7**

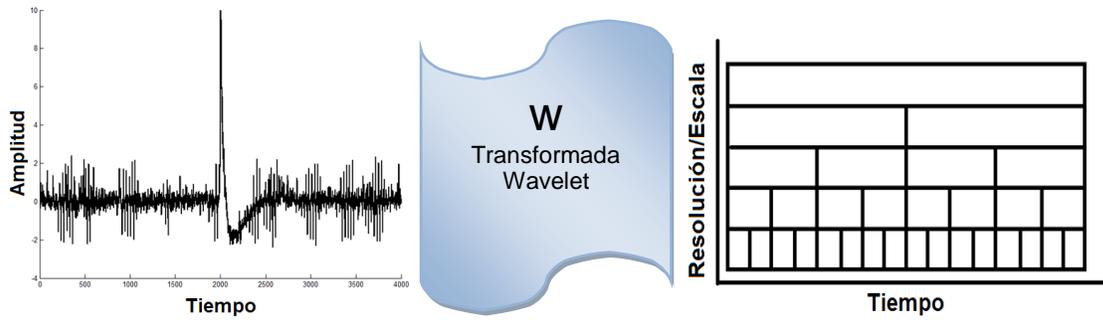


Figura 1.7. Representación esquemática de la transformada Wavelet.

De manera muy general, la transformada wavelet (TW) de una función $f(t)$, es la descomposición de $f(t)$ en un conjunto de funciones $\Psi_{\tau,s}(t)$ que forman una base y son llamadas "Wavelets". La TW se define como:

$$W_f(\tau, s) = \int f(t) \overline{\Psi_{\tau,s}(t)} dt \quad \text{Ec 1.1}$$

Y las wavelets son generadas a partir de la traslación y cambio de escala de una misma función wavelet $\Psi(t)$ llamada Wavelet madre y se define como :

$$W_{\tau,s}(t) = \frac{1}{\sqrt{s}} \Psi\left(\frac{t-\tau}{s}\right) \quad \text{Ec 1.2}$$

Donde τ es el factor de traslación y s es el factor de dilatación o escala, donde $s = \frac{f}{f_0}$ con f_0 como frecuencia central. El factor de normalización $s^{-1/2}$ es incluido tal que: $\|\Psi_{\tau,s}\| = \|\Psi\|$

Para que sea una función de ventana capaz de representar $f(t)$ tanto en el dominio del tiempo como de la frecuencia, $\Psi(t)$ debe satisfacer la siguiente condición:

$$\hat{\Psi}(0) = \int_{-\infty}^{\infty} \Psi(t) dt = 0 \quad \text{Ec 1.3}$$

Para satisfacer la ecuación 1.2, es necesario que la función wavelet (ventana $t-\omega$) se construya de tal modo que posea un alto número de momentos que converjan a 0. Se dice que una wavelet tiene un orden de momentos convergentes m si:

$$\int_{-\infty}^{\infty} t^p \Psi(t) dt = 0 \quad p = 0, \dots, m - 1 \quad \text{Ec 1.4}$$

Las wavelets $\Psi_{\tau,s}(t)$, generadas de la misma función wavelet madre $\Psi(t)$ tienen diferente escala s y ubicación τ , pero tienen todas la misma forma. Se utilizan siempre factores de escala $s > 0$. Las Wavelets son dilatadas cuando la escala $s > 1$, y son contraídas cuando $s < 1$. Así, cambiando el valor de s se cubren rangos diferentes de frecuencias. Valores grandes del parámetro s corresponden a frecuencias de menor rango, o una escala grande de $\Psi_{\tau,s}(t)$. Valores pequeños de s corresponden a frecuencias de mayor rango o una escala muy pequeña de $\Psi_{\tau,s}(t)$ (Lester, 2006).

Por ello, modificando (τ, s) , $W_f(\tau, s)$ puede calcularse en todo el plano $t-\omega$.

En resumen, el análisis multirresolución permite expandir una señal en una base de funciones cuyas propiedades tiempo-frecuencia se adapten a la estructura local de la señal. La transformada Wavelet permite obtener el desarrollo de una señal en una base ortonormal de funciones wavelets, las cuales tienen propiedades de localización en tiempo y frecuencia. El patrón de descomposición del plano tiempo-frecuencia está predeterminado por la elección de las funciones de la base.

Dentro de los usos de esta herramienta, se puede incluir el análisis de señales electrocardiográficas, sísmicas, de sonido, de radar, así como para la compresión y procesamiento de imágenes y reconocimiento de patrones (Lester, 2006).

El registro eléctrico obtenido de los lóbulos olfatorios y las anténulas es de tipo no estacionario, por lo que será analizado mediante esta herramienta.

2. OBJETIVO

El objetivo general de este trabajo fue identificar cuál es el efecto de la privación de sueño en la respuesta electrofisiológica del lóbulo olfatorio y las anténulas del acocil *Procambarus clarkii* a estímulos olfatorios.

3. HIPÓTESIS

Una de las preguntas pendientes por responder es ¿Cuál es la función del sueño? existen diversas hipótesis y un enfoque común para abordar el problema y obtener información al respecto consiste en la realización de estudios que puedan correlacionar la privación de sueño de un individuo con las implicaciones que esto tiene en sus procesos cognitivos y conductuales. Algunos resultados obtenidos al respecto apuntan a que el sueño participa en la consolidación de la memoria.

El acocil puede usarse como modelo de estudio de sueño debido a que presenta este estado cerebral con características similares a las descritas en el vertebrado como son: posición estereotípica, incremento en el umbral a estímulos externos, regulación homeostática y actividad eléctrica cerebral específica. En estos animales se establecen memorias de reconocimiento jerárquico después de que desarrollan encuentros agonistas. La entrada sensorial más importante para el establecimiento y mantenimiento de un orden jerárquico es la olfatoria.

La privación de sueño en el acocil modifica la conducta agonista y tiene un efecto similar a la aplicación de agentes amnésicos. Considerando que la obtención y el procesamiento de la información sensorial son fundamentales para el establecimiento del orden jerárquico, es posible postular que el efecto de la privación de sueño en la memoria de reconocimiento jerárquico se debe a que genera cambios en la respuesta a estímulos olfatorios. Si esto es cierto, los cambios se verían reflejados en los registros electrofisiológicos de los órganos donde se procesa la información olfatoria, es decir, los lóbulos olfatorios y las anténulas. Considerando que, al igual que la actividad eléctrica cerebral, la actividad registrada en las anténulas es no estacionaria, es susceptible de ser analizada por medio de técnicas multirresolución.

Por lo tanto, es posible proponer que si existen diferencias en las respuestas electrofisiológicas registradas en los lóbulos olfatorios y las anténulas de acociles en a) condiciones control y b) privados de sueño estas se harán evidentes por medio de técnicas de análisis multirresolución.

4. DISEÑO EXPERIMENTAL

Con la finalidad de verificar la validez de la hipótesis y propuestas planteadas, se desarrolló el trabajo experimental de la siguiente manera:

Colocación de los electrodos

Se utilizaron dos preparaciones: 1) Deambulante, en la que el acocil podía desplazarse libremente en el acuario y 2) no deambulante en la que quedaba fijo sobre un soporte. Esta se explica detalladamente en la sección de materiales y métodos.

Se realizaron registros simultáneos de la posición y de la actividad eléctrica de acociles deambulantes, con electrodos crónicamente implantados. Los registros tuvieron duraciones de 5 y 50 minutos. Cuando el acocil se encontraba en alerta los registros de la actividad eléctrica presentaban espigas con una frecuencia alrededor de 300 Hz, cuando la actividad eléctrica presentaba ondas lentas con frecuencias de 15-20 Hz, indicaba que se encontraba en estado de sueño (**Ramón y cols., 2004**). Usando estos criterios fue posible identificar, por un lado, que el acocil estuviera correctamente implantado sobre los lóbulos olfatorios (que durante el sueño presentan ondas lentas) y, por otro lado que las manipulaciones siguientes se llevaran a cabo en el acocil despierto.

Una vez validada la colocación de los electrodos ubicados en los lóbulos olfatorios, se colocaron electrodos sobre la anténula y se inmovilizó al acocil, mediante la preparación no deambulante en la que se realizaron registros simultáneos de la conducta y de la actividad eléctrica con la finalidad de evaluar la respuesta a la estimulación olfatoria.

Estimulación a acociles en condiciones:

a) Control.

Se registró la actividad eléctrica del lóbulo olfatorio y de la anténula con la preparación no deambulante. Los registros tuvieron una duración de 5 minutos. La aplicación de los estímulos olfatorios sobre una de las anténulas fue a los 100 y 200 segundos de iniciado el registro.

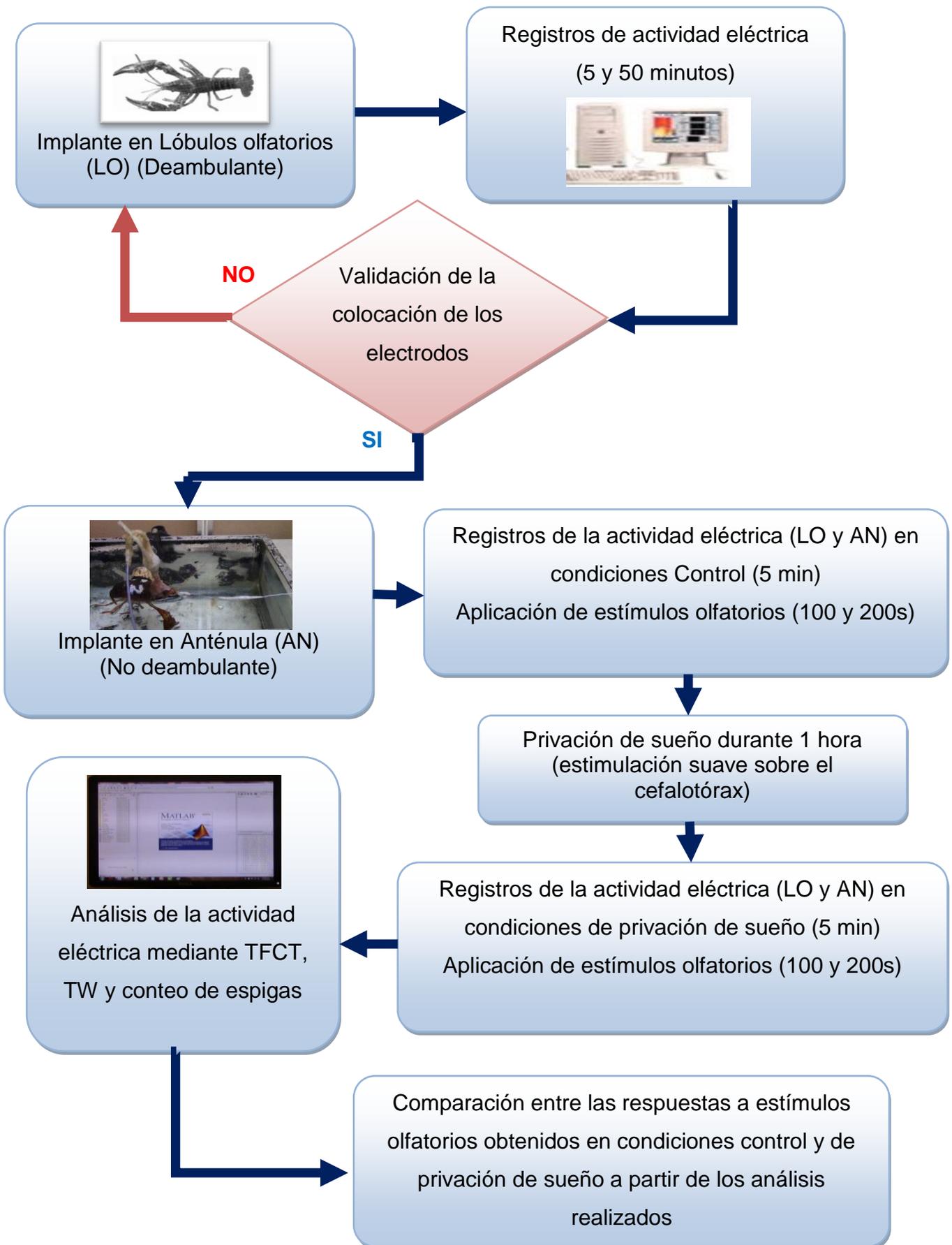
b) Privación de sueño.

Antes de iniciar los registros se privó de sueño al acocil durante una hora. Los registros se realizaron con la preparación no deambulante y la aplicación de los estímulos se llevó a cabo de la misma manera que en la condición control.

Análisis de las respuestas obtenidas en condiciones control y de privación de sueño.

Una vez obtenidos los registros en las condiciones control y de privación de sueño fueron analizados mediante TFCT, TW y conteo de espigas.

A continuación se presenta en un diagrama de flujo, paso a paso la realización del diseño experimental.



5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Material biológico

Los experimentos se llevaron a cabo en acociles *Procambarus clarkii* machos adultos en intermuda, con longitud de aproximadamente 12 cm desde el *rostrum* hasta los urópodos y peso de entre 20 y 30 g, con sus extremidades y apéndices completos.

Desde su llegada al laboratorio, los acociles se colocaron en acuarios individuales (20x15x15 cm), bajo ciclos naturales de luz-oscuridad 12:12 (encendido a las 7:00 horas, apagado a las 19:00 horas) y alimentados una vez por semana con comida para gato.

Se usaron acociles de tamaños similares ($\pm 10\%$) organizados en triadas, para que no existieran sesgos durante las interacciones agonistas que dan como resultado el orden jerárquico.

5.2. Diseño y colocación de los electrodos

a) En los lóbulos olfatorios:

Para obtener los registros electrofisiológicos de los lóbulos olfatorios, se usaron electrodos como los reportados por Hernández y cols. (1996), que consisten en cánulas de acero inoxidable (1 mm de diámetro externo) que llevan en su interior dos alambres (electrodos activos) de **platino-iridio** ($127 \mu\text{m}$ de diámetro) recubiertos con teflón y por fuera un alambre soldado (electrodo de referencia). Un extremo de la cánula fue doblada a 45° grados, lo cual permite que exista una mejor inserción al momento de colocar el electrodo. Este diseño permite obtener un registro de campo circunscrito a la región del cerebro delimitada por la cánula.

El procedimiento para colocar los electrodos es el siguiente, se anestesió a los acociles por frío (agua y hielo), durante un período de 50-60 minutos.

Posteriormente se realizó una perforación en forma de trapecio en la parte dorsal del cefalotórax, una vez retirado el trozo de caparazón, se hizo una disección roma de los músculos de la cabeza, se retraían las vísceras (principalmente el estómago), y se retenían en esa posición con un separador. De esta manera quedaba expuesto el fondo de la cavidad cefálica y con ello también el cerebro. Se retiraba la hemolinfa para tener libre acceso a la cavidad, y se colocaba la preparación bajo un microscopio estereoscópico. Esto permitía introducir el electrodo mediante un micromanipulador, hasta colocarlo sobre el deutocerebro, más específicamente sobre uno de los lóbulos olfatorios (lóbulo izquierdo), cuidando que se realizara un sello eléctrico al momento de que la cánula descansara sobre el cerebro. Se fijaba el electrodo sobre el cefalotórax con cemento dental (mezcla de acrílico líquido y polímero acrílico autocurable), de manera uniforme. Después de la cirugía el acocil era regresado a su acuario y mantenido sin perturbaciones durante 24 h.

En la **Figura 5.1**, se representa la preparación biológica, el punto rosa, señala la ubicación del cerebro.

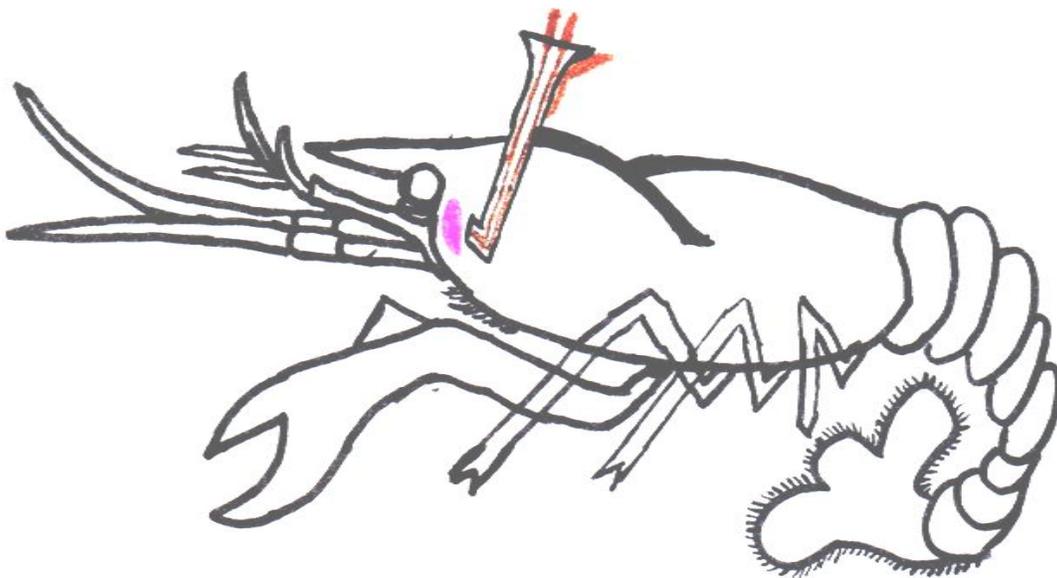


Figura 5.1. Posición del electrodo, al quedar fijado en el acocil.

b) En la anténula:

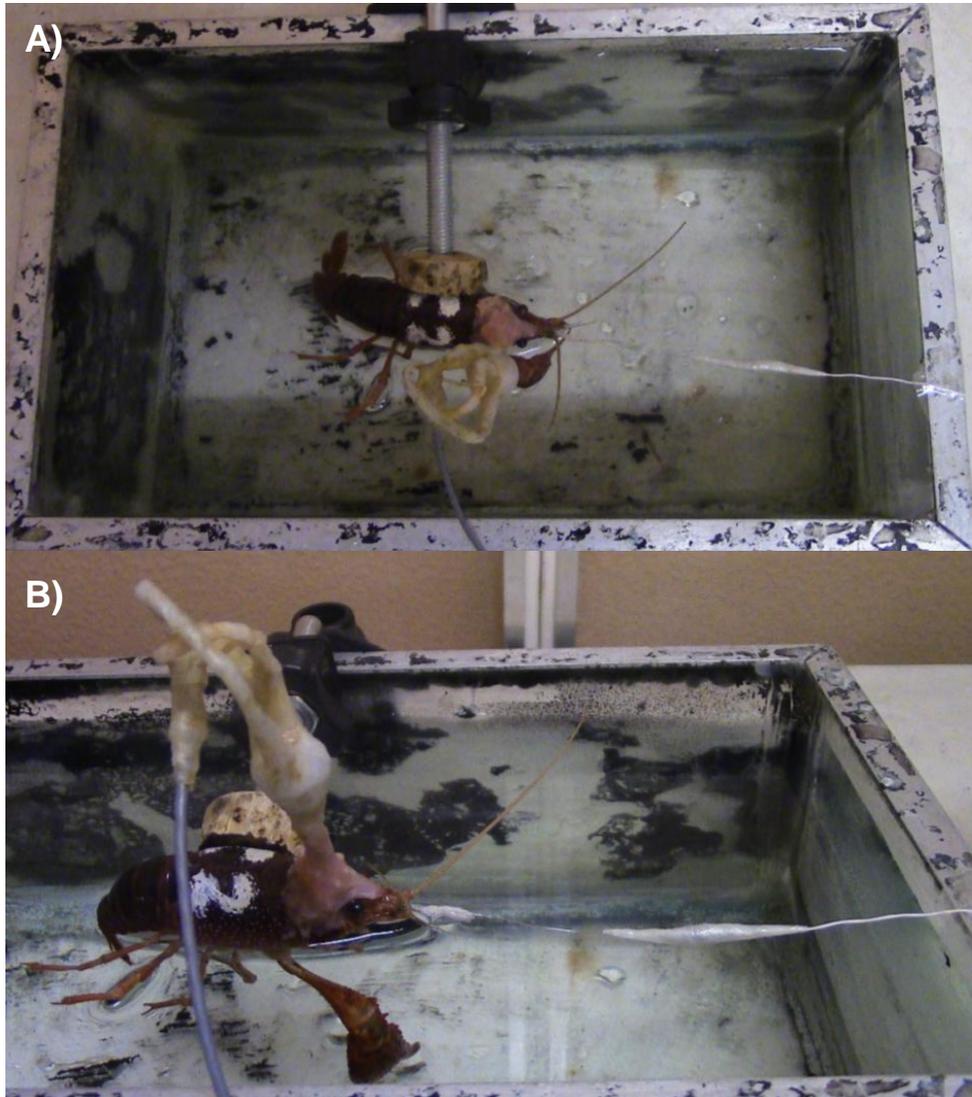
Para obtener los registros electrofisiológicos de la anténula, se usó un electrodo que consiste en un alambre (electrodo activo) de **platino-iridio** (76 μm de diámetro) recubierto de teflón y como electrodo de referencia se usó la cánula del electrodo colocado anteriormente en los lóbulos olfatorios.

El procedimiento para colocar el electrodo es el siguiente, primero se ataron las quelas a los acociles, de esa manera no pudieran pinzar y se pudiera maniobrar al colocar el electrodo. Posteriormente se colocaba al acocil sobre una base metálica a la que fue atado, una vez inmobilizado se secaron las anténulas y parte de la cámara branquial (ya que en ella se guardan pequeñas cantidades de agua que humedecen las anténulas y antenas), inmediatamente se colocó el electrodo haciendo un pequeño nudo en uno de los flagelos de la anténula izquierda la que correspondía al mismo lado en que se colocó el electrodo del lóbulo olfatorio. El nudo se colocó sin apretarlo demasiado, sólo lo necesario para que tuvieran contacto el electrodo con la anténula. Una vez fijado el electrodo se cubrió de parafilm, cuidando que no se desplazara. Esta película de plástico y cera ayudó a aislar eléctricamente la preparación.

Una vez colocado el electrodo, se desató al acocil y fue colocado en la preparación no deambulante que se describe a continuación y se mantuvo sin perturbaciones durante una hora de tal manera que se adaptara al electrodo.

Preparación no deambulante

Una vez que ambos electrodos estuvieron colocados, se procedió a inmobilizar al acocil. Esto se llevó a cabo mediante la colocación de un corcho en un costado del cefalotórax. A través de un soporte horizontal el corcho se fijó a la pared del acuario para mantener al acocil suspendido en el acuario como se muestra en la **Figura 5.2.**



**Figura 5.2. Preparación no deambulante con el acocil suspendido.
A) Vista aérea y B) Vista horizontal.**

Esto permitió que las anténulas no se humedecieran y evitó que el contacto con el agua introdujera algún tipo de señal no deseada, que afectara al registro. Cabe mencionar que el acuario se llenó de agua de tal manera que cubriera la cámara branquial del acocil y pudiera respirar sin complicaciones.

En estas condiciones el acocil suspendido no puede dormir de la misma manera que un animal deambulante (de lado y al nivel de la superficie del agua). En esta preparación el sueño se identifica por un relajamiento de todos los apéndices, los músculos abdominales y los del telson, de manera que cuelgan flácidos del animal hasta alcanzar la superficie del agua, es decir, pérdida del tono muscular que se correlaciona con la presencia de ondas lentas en la actividad eléctrica cerebral (**Mendoza-Ángeles, 2008**).

5.3. Obtención de los registros

5.3.1. Condiciones control

Una vez que el acocil se adaptó a permanecer suspendido como se ha descrito se obtuvieron registros con acociles en condiciones control.

Para efectuar los registros electrofisiológicos, los electrodos fueron conectados a un amplificador (BM400, CWE) con el que las señales además fueron filtradas (pasabandas de 3 a 3 kHz). La adquisición de los datos se llevó a cabo a través de un convertidor A/D (6024E, National Instruments) usando el Real Time Windows Target en Matlab (MathWorks) con una frecuencia de muestreo de 2 kHz.

Simultáneamente a los registros eléctricos se videograbó la conducta para poder correlacionarlos.

Los registros tuvieron una duración de cinco minutos durante los cuales se aplicaron estímulos olfatorios.

Estimulación:

Se aplicaron como estímulos agua, comida y orina de acociles conocidos.

Se utilizaron respectivamente, agua potable, solución de comida para gato (1g) en 50 ml de agua y la orina de un acocil dominante (0.02 ml) que se extrajo directamente de los nefroporos mediante una manguera de látex.

La estimulación fue aplicada por medio de goteo. Trenes de 5 gotas para estimular con agua y comida. Gotas únicas para estimular con orina (esto era limitado por la cantidad de orina obtenida de los nefroporos) de acociles conocidos.

Los estímulos fueron aplicados en dos momentos: a los 100 y a los 200 segundos de iniciado el registro.

5.3.2. Privación de sueño

Para realizar la privación de sueño se mantuvo a cada acocil durante una hora en el acuario de la manera antes descrita (**Figura 5.2**). Cada vez que el animal intentaba dormir se pasaba una pluma suavemente sobre el cefalotórax. Esta técnica reduce al mínimo el estrés de la manipulación, en estudios anteriores la privación de sueño mediante otros métodos (burbujeo constante por ejemplo) ocasionaba la muerte de los individuos.

Después de privarlos de sueño se obtuvieron los registros como los descritos en condiciones control.

5.4 Análisis de los registros

Se analizaron los registros en fuera de línea usando algoritmos desarrollados en Matlab. Mediante ellos se realizó un análisis tiempo-frecuencia para describir la respuesta a los estímulos aplicados. Se compararon las condiciones control y privados de sueño. Parte importante de este trabajo se manifiesta en las técnicas llevadas para el análisis de la actividad eléctrica registrada del cerebro y anténulas del acocil. Por lo cual se agregó una explicación detallada y su justificación en la sección de resultados y anexos.

Todas las manipulaciones experimentales realizadas han sido aprobadas por las Comisiones de Investigación y Ética de la División de Investigación de la Facultad de Medicina, UNAM.

6. RESULTADOS

La actividad eléctrica que se registró en la preparación deambulante del cerebro del acocil se ajusta a los datos previamente publicados respecto a los estados de sueño en el acocil (**Ramón y cols., 2004**). Cuando el acocil está parado presenta una gran cantidad de espigas montadas sobre una basal prácticamente plana con frecuencias de alrededor de 300 Hz. Esta es la actividad eléctrica característica de la vigilia. Cuando el acocil se coloca en posición de lado, esta actividad eléctrica se modifica, se reduce el número de espigas y aparecen ondas lentas con frecuencias en el rango de los 15 a 20 Hz, es decir, el acocil duerme.

El registro eléctrico obtenido en la preparación no deambulante, muestra ambos tipos de actividad eléctrica cerebral, por lo tanto, ambos estados cerebrales. En la vigilia las espigas montadas sobre una basal plana están presentes cuando el acocil se encontraba en movimiento o alerta, sus antenas flexionadas ligeramente y sus anténulas erectas, mientras que sus extremidades (pereiópodos y quelas) presentaban rigidez. En el estado de sueño, las ondas lentas se asocian con una disminución del tono muscular, que se traduce en un descenso de las extremidades y tanto las anténulas como las antenas descienden bajo el agua.

Las observaciones descritas en los párrafos anteriores permitieron identificar los estados cerebrales en los que se encontraba el acocil y realizar la estimulación durante periodos de vigilia. Se utilizó la preparación no deambulante para evaluar la respuesta a estimulación olfatoria y evitar que ésta generara el desplazamiento del animal (alejándose o acercándose a la fuente de estimulación) y por lo tanto que el movimiento de los cables imposibilitara el registro de la actividad eléctrica.

Al caracterizar la actividad eléctrica del lóbulo olfatorio y de la anténula mediante la determinación de los parámetros estadísticos de la señales es posible afirmar que las señales de la actividad eléctrica del lóbulo olfatorio y de la anténula del

acocil son no-estacionarias. Por lo que fueron analizadas mediante TFCT y transformada wavelet.

El análisis con TFCT produjo espectrogramas que incluyen muestras, la frecuencia en hertz, y la potencia codificada en color de acuerdo con el espectro natural de la luz visible. En este tipo de gráficas, las líneas horizontales indican componentes de frecuencia y las líneas verticales localizan eventos transitorios en el tiempo.

Para obtener una buena resolución para todo el intervalo de frecuencias que conforma la señal, se utilizó el análisis mediante la transformada wavelet. La función **Morlet** fue usada como wavelet madre (**Mendoza- Ángeles, 2008**).

Del análisis con Transformada Wavelet (TW), se obtuvieron gráficas tridimensionales que incluyen muestras, frecuencia (sólo la banda de 0-45 Hz) y la potencia (codificada en color, se usa el espectro de luz visible).

A continuación se presentan las respuestas obtenidas del lóbulo olfatorio y la anténula a la estimulación con agua, comida y orina. Para fines de comparación se han agrupado en 6.1. Condiciones control y 6.2. Privación de sueño. Para cada estímulo se presenta un registro típico y el análisis obtenido con TFCT y TW.

6.1. Condiciones control

6.1.1. Estimulación con agua

La **figura 6.1** muestra registros obtenidos del lóbulo olfatorio (L1 y L2) y las anténulas (AN) al aplicar como estímulo agua.

Los trazos representan la respuesta a la aplicación de un solo estímulo, el momento en que este fue aplicado (indicado con una flecha), está centrado de tal manera que se pueda comparar fácilmente la actividad eléctrica antes y después del momento de estimulación.

En las tres regiones registradas se observan espigas regulares tanto en amplitud como en frecuencia, que incrementan ligeramente después de aplicarse el estímulo.

La señal eléctrica registrada de la anténula muestra un incremento en la actividad eléctrica después de la aplicación del estímulo.

El acocil no presentó una respuesta conductual a la estimulación.

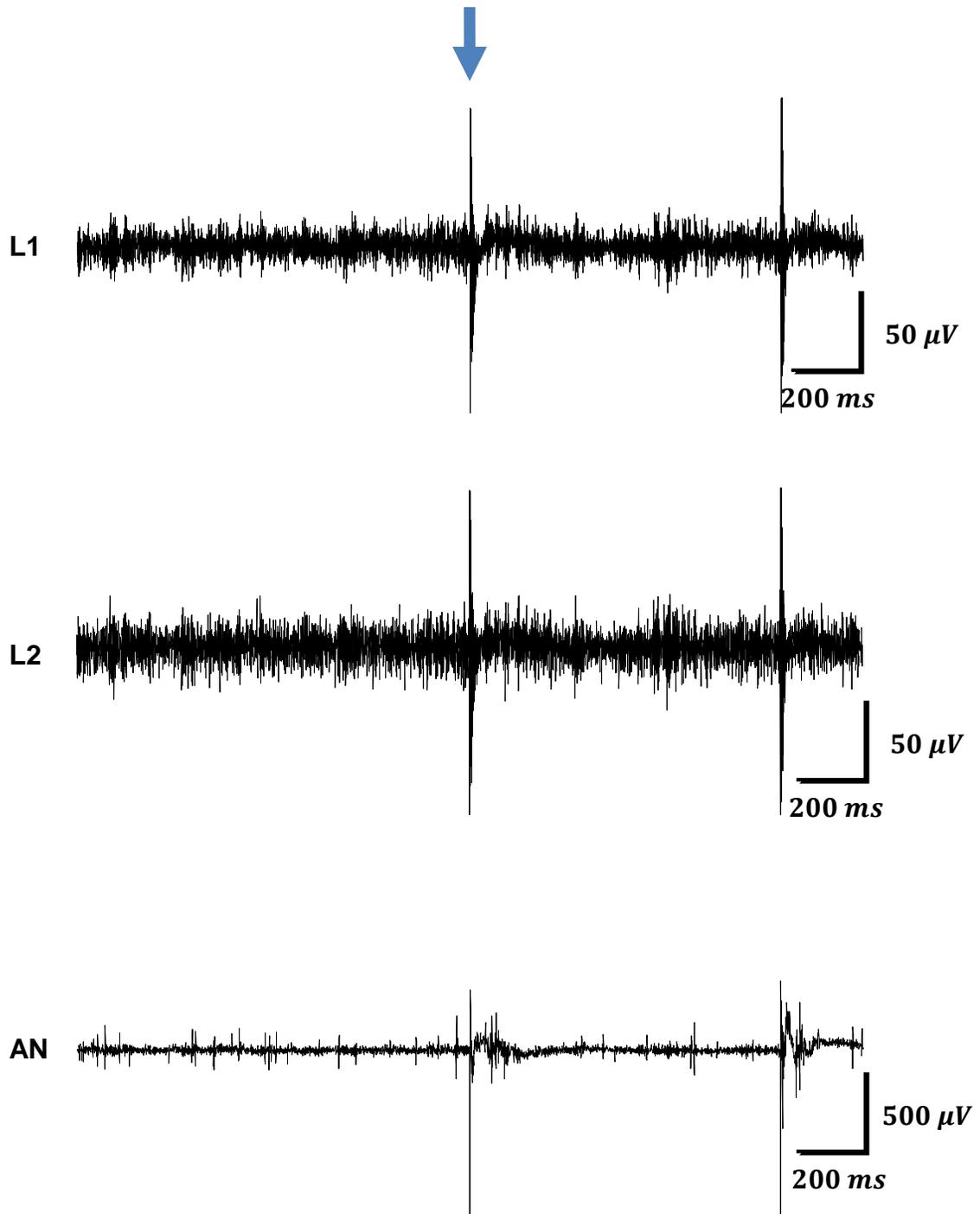


Figura 6.1. Actividad eléctrica del cerebro (lóbulo olfatorio L1 y L2) y de la anténula (AN) del acocil en condiciones control. La flecha indica el momento en que se aplicó el estímulo (agua).

Los espectrogramas de la Figura 6.2, corresponden al análisis de la actividad eléctrica del lóbulo olfatorio (espectrogramas superiores) y de la anténula (espectrograma inferior), en condiciones control mostradas en la Figura 6.1. Como

¹puede observarse, hay un ligero incremento en la potencia registrada en la anténula después de la aplicación del estímulo.

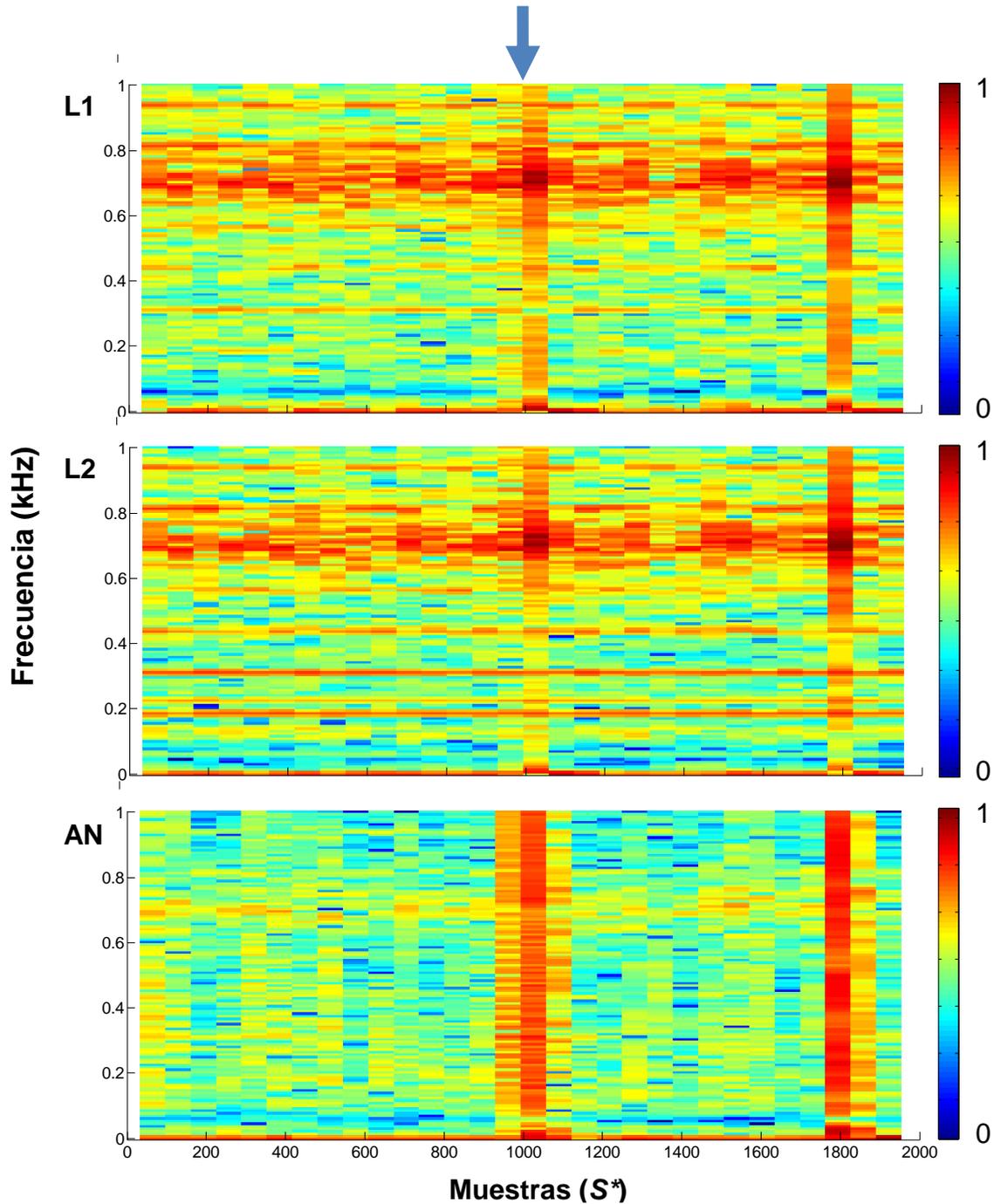


Figura 6.2. Espectrograma de la actividad eléctrica del cerebro (lóbulo olfatorio L1 y L2) y de la anténula (AN) del acocil en condiciones control. La flecha indica el momento en que se aplicó el estímulo (agua).

* S del inglés Samples (muestras).

La TW de la actividad eléctrica cerebral (lóbulo olfatorio) y anténula (**Figura 6.3**), muestra una actividad constante a lo largo del tiempo, las frecuencias dominantes se encuentran alrededor de los 35-40 Hz para el lóbulo olfatorio y de 30-44 Hz para la anténula. La potencia está incrementada también alrededor de los 0-8 Hz en L1, 0-14 Hz en L2 y 0-17 Hz en la anténula.

En el lóbulo olfatorio no se presentan cambios después de la aplicación del estímulo mientras que la actividad eléctrica de la anténula presenta un incremento de la potencia de 0-17 Hz, por un intervalo pequeño (0.1 s).

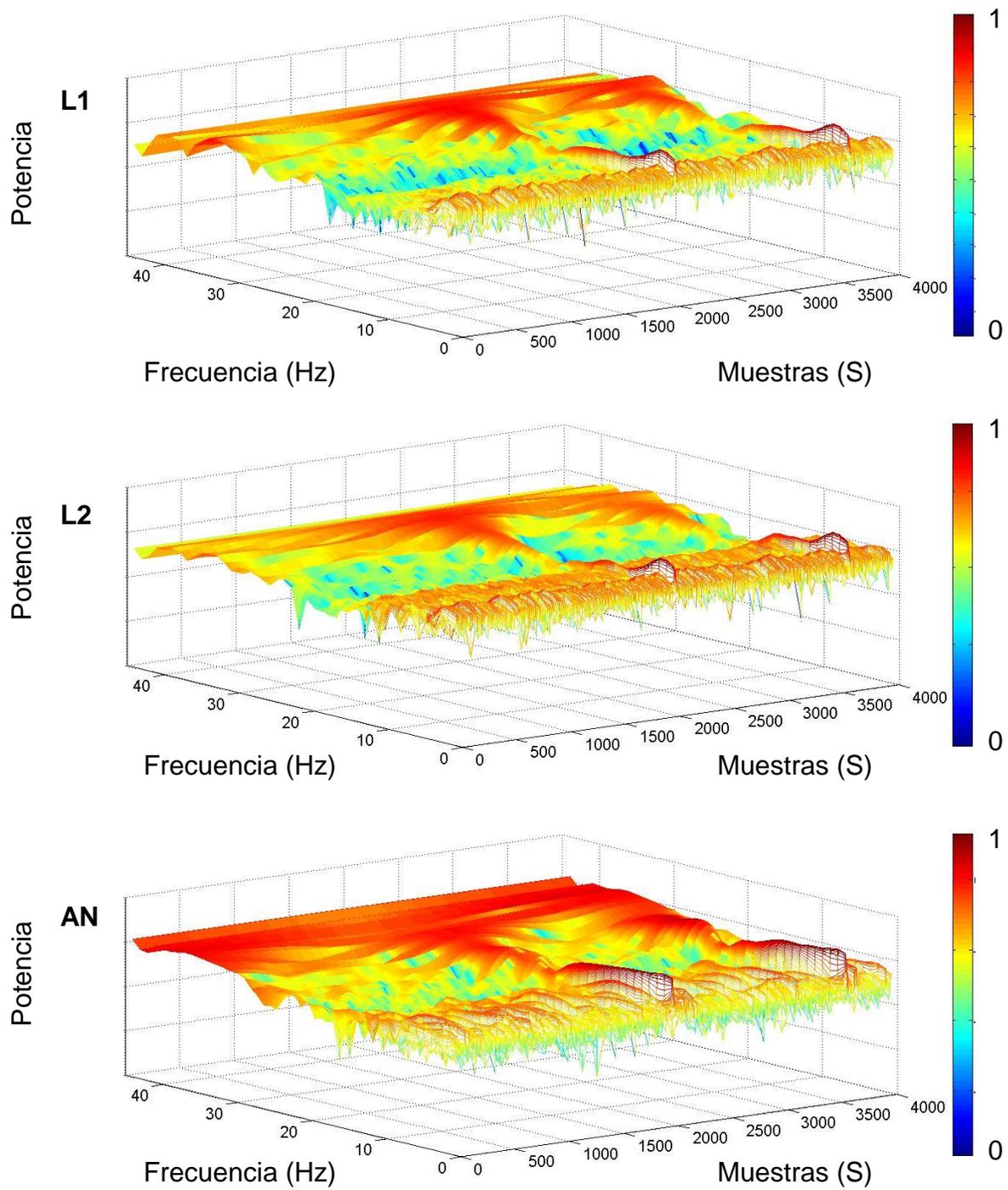


Figura 6.3. Gráficas tridimensionales de la TW de la actividad eléctrica del cerebro (Lóbulo olfatorio L1 y L2) y de la anténula (AN) del acocil en condiciones control. El estímulo aplicado es agua.

6.1.2. Estimulación con comida

La Figura 6.4 muestra registros obtenidos del lóbulo olfatorio y las anténulas al aplicar como estímulo gotas de una solución de comida en agua.

En las tres regiones registradas se observan espigas regulares tanto en amplitud como en frecuencia. Nuevamente en la señal eléctrica correspondiente a la anténula pareciera que hay un incremento en la frecuencia de descarga en respuesta a la aplicación del estímulo.

La respuesta conductual a la estimulación fueron movimientos de corta duración e intensidad de las quelas, antenas y anténulas.

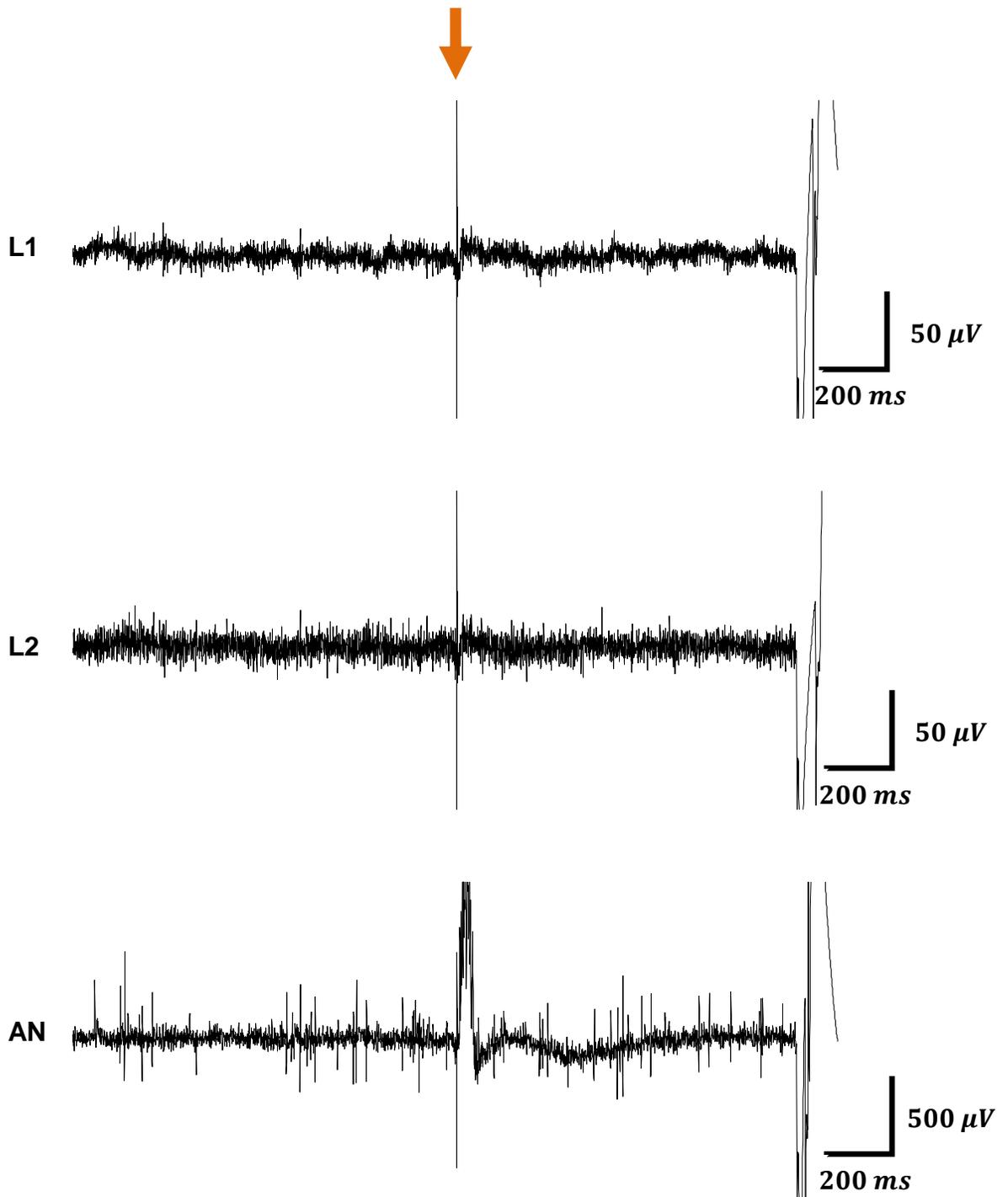


Figura 6.4. Actividad eléctrica del cerebro (lóbulo olfatorio L1 y L2) y de la anténula (AN) del acocil en condiciones control. La flecha indica el momento en que se aplicó el estímulo (comida).

El análisis con TFCT muestra que el incremento en la actividad ocurre para bajas frecuencias.

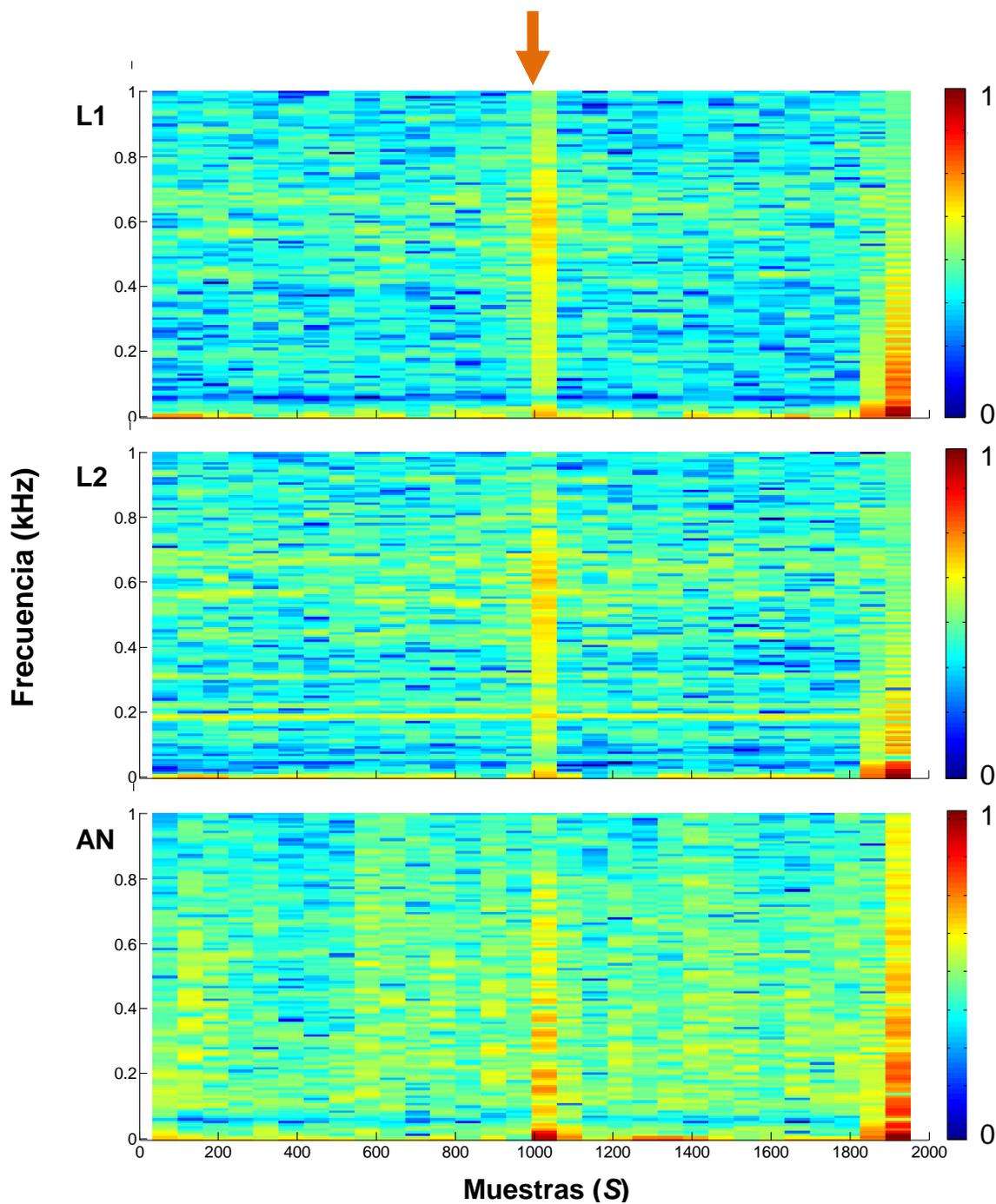


Figura 6.5. Espectrograma de la actividad eléctrica del cerebro (lóbulo olfatorio L1 y L2) y de la anténula (AN) del acocil en condiciones control. La flecha indica el momento en que se aplicó el estímulo (comida).

El análisis detallado con TW muestra una dinámica constante a lo largo del tiempo, las frecuencias dominantes se encuentran alrededor de los 25-44 Hz para el lóbulo olfatorio y de 30-44 Hz para la anténula. También se encuentra incrementada la potencia alrededor de los 0-18 Hz para el lóbulo olfatorio y de la banda de 0-15 Hz para la anténula.

No se observan cambios después de la aplicación del estímulo.

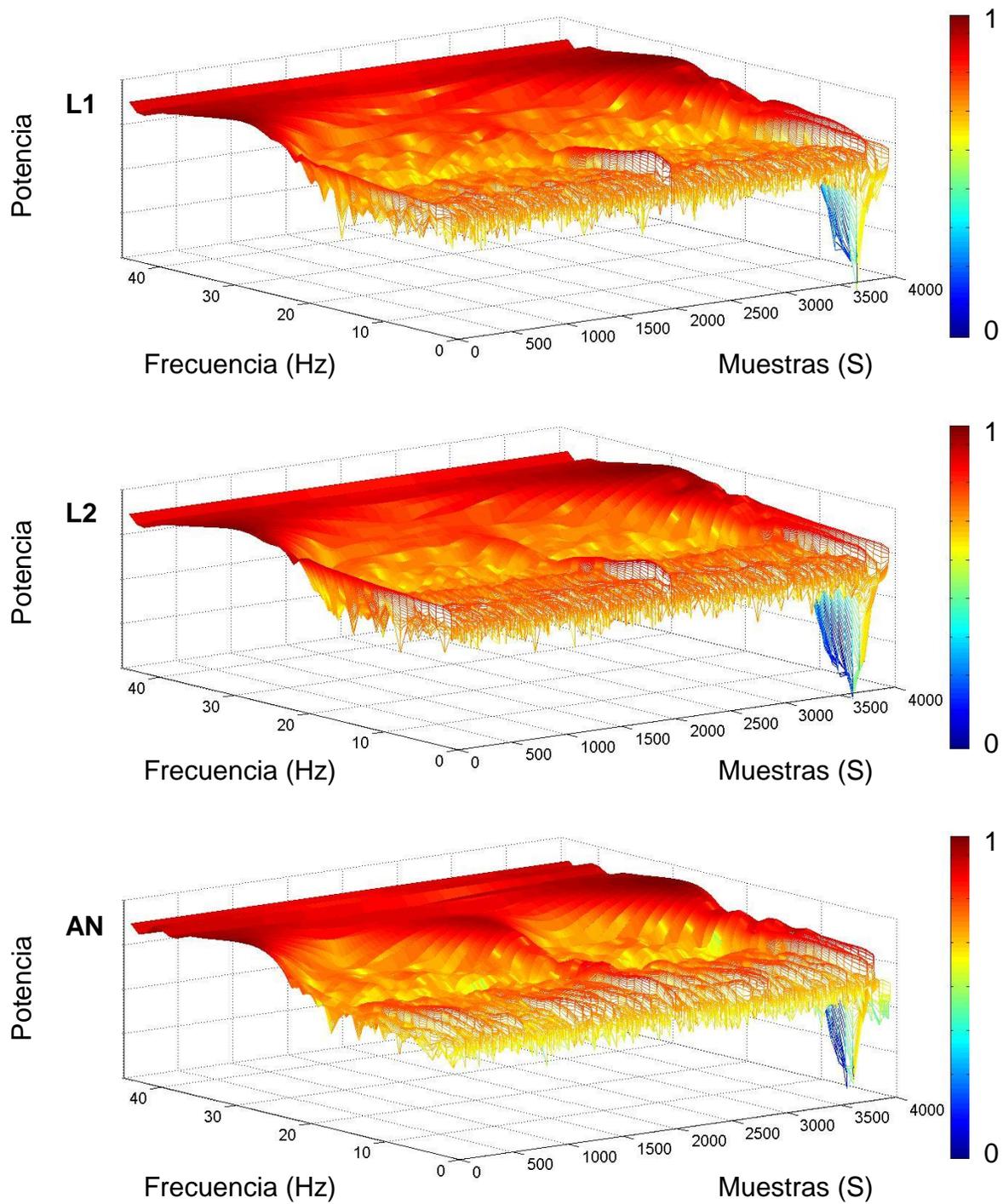


Figura 6.6. Gráficas tridimensionales de la TW de la actividad eléctrica del cerebro (lóbulo olfatorio L1 y L2) y de la anténula (AN) del acocil en condiciones control. El estímulo aplicado es una solución de comida en agua.

6.1.3. Estimulación con orina

La **Figura 6.7** muestra la actividad eléctrica obtenida del lóbulo olfatorio y las anténulas al aplicar como estímulo gotas de orina de un acocil dominante con respecto al acocil registrado.

La amplitud de las espigas incrementó de manera significativa en los registros obtenidos de los lóbulos olfatorios, nótese el cambio en la amplificación de la señal. A diferencia de los registros anteriores, la aplicación del estímulo incrementa la actividad de la anténula por un tiempo prolongado.

La respuesta conductual a la estimulación consistió en movimientos abruptos en antenas y anténulas y suaves en las patas ambulatorias y las quelas.

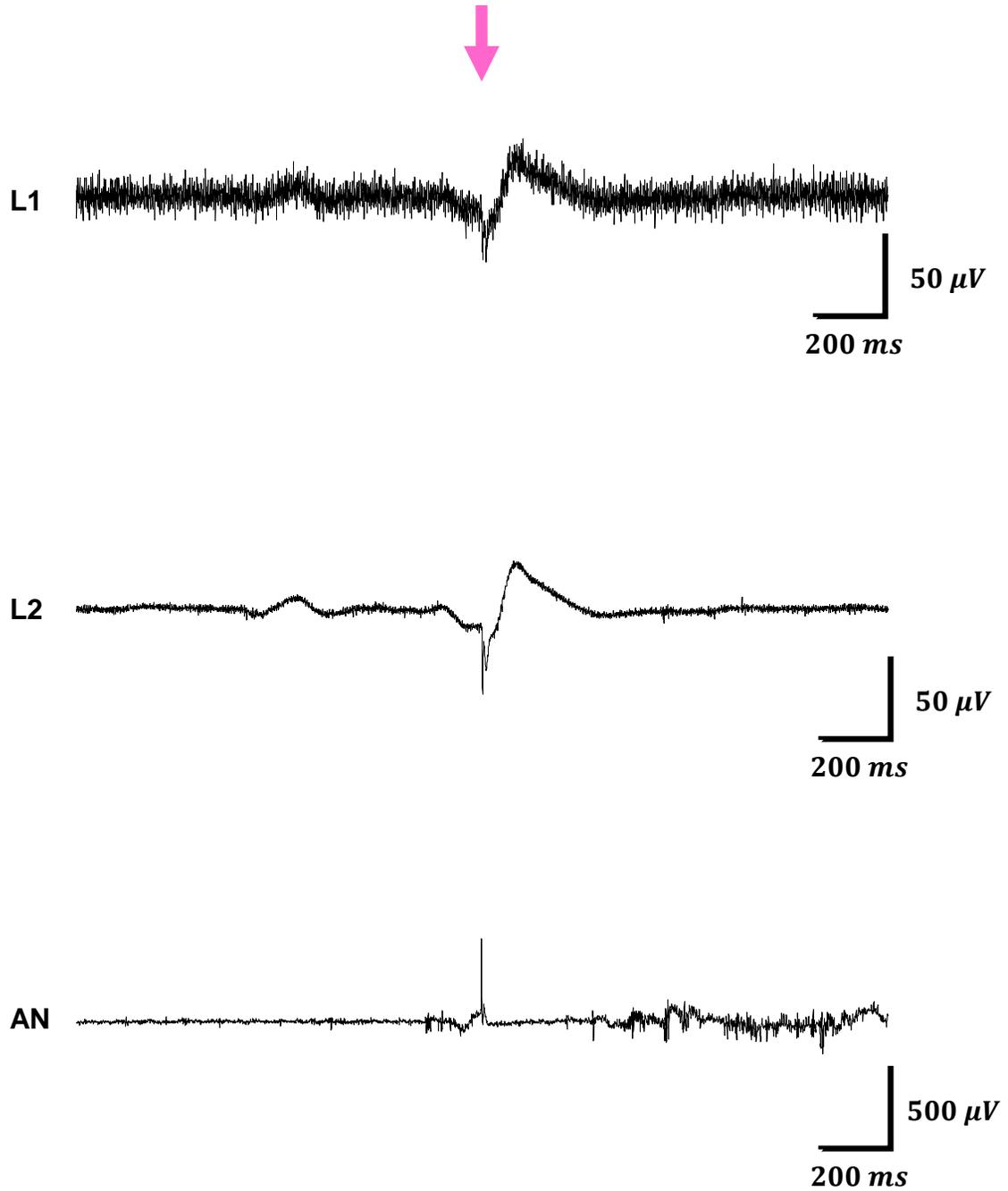


Figura 6.7. Actividad eléctrica del cerebro (lóbulo olfatorio L1 y L2) y de la anténula (AN) del acocil en condiciones control. La flecha indica el momento en que se aplicó el estímulo (orina).

Esto se hace aún más evidente al observar los espectrogramas de la Figura 6.8, Con un retardo aproximado de 0.2 segundos, se presenta un incremento de potencia para todas las frecuencias.

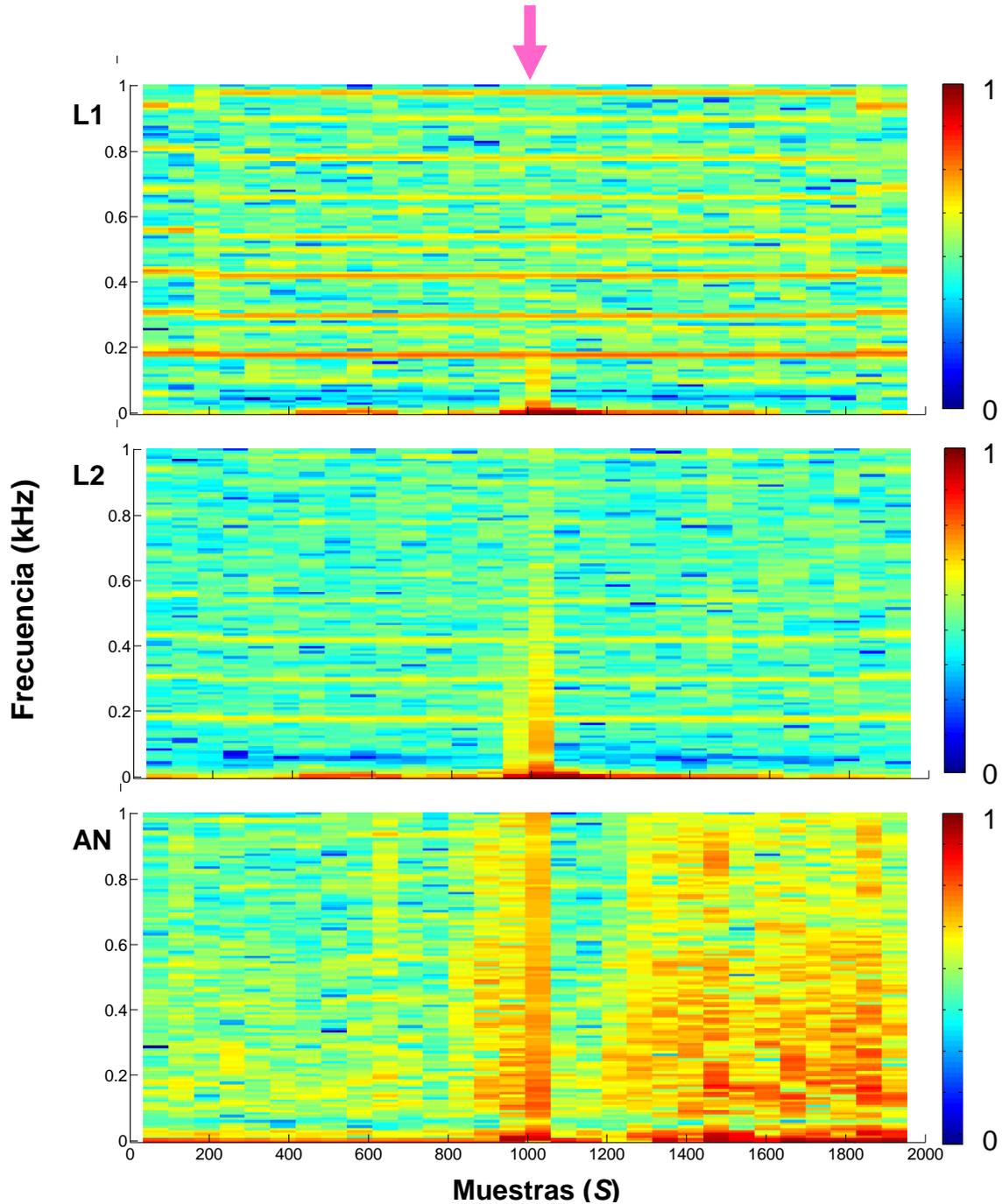


Figura 6.8. Espectrograma de la actividad eléctrica del cerebro (lóbulo olfatorio L1 y L2) y de la anténula (AN) del acocil en condiciones control. La flecha indica el momento en que se aplicó el estímulo (orina de acocil dominante).

La TW de la actividad eléctrica del lóbulo olfatorio muestra una actividad constante a lo largo del tiempo, las frecuencias dominantes se encuentran alrededor de los 33-44 Hz para el lóbulo olfatorio y de 30-43 Hz para la anténula.

También se presenta un incremento generalizado y disperso en la potencia alrededor de 0-15 Hz en L1, de 0-15 Hz en L2 y de 0-15 Hz en la anténula.

En los registros del lóbulo olfatorio no se observan cambios antes y después de la aplicación del estímulo, pero en la TW de la actividad eléctrica de la anténula se presenta un incremento de la potencia para el rango de frecuencia de 0-35 Hz que se mantiene hasta el final del registro.

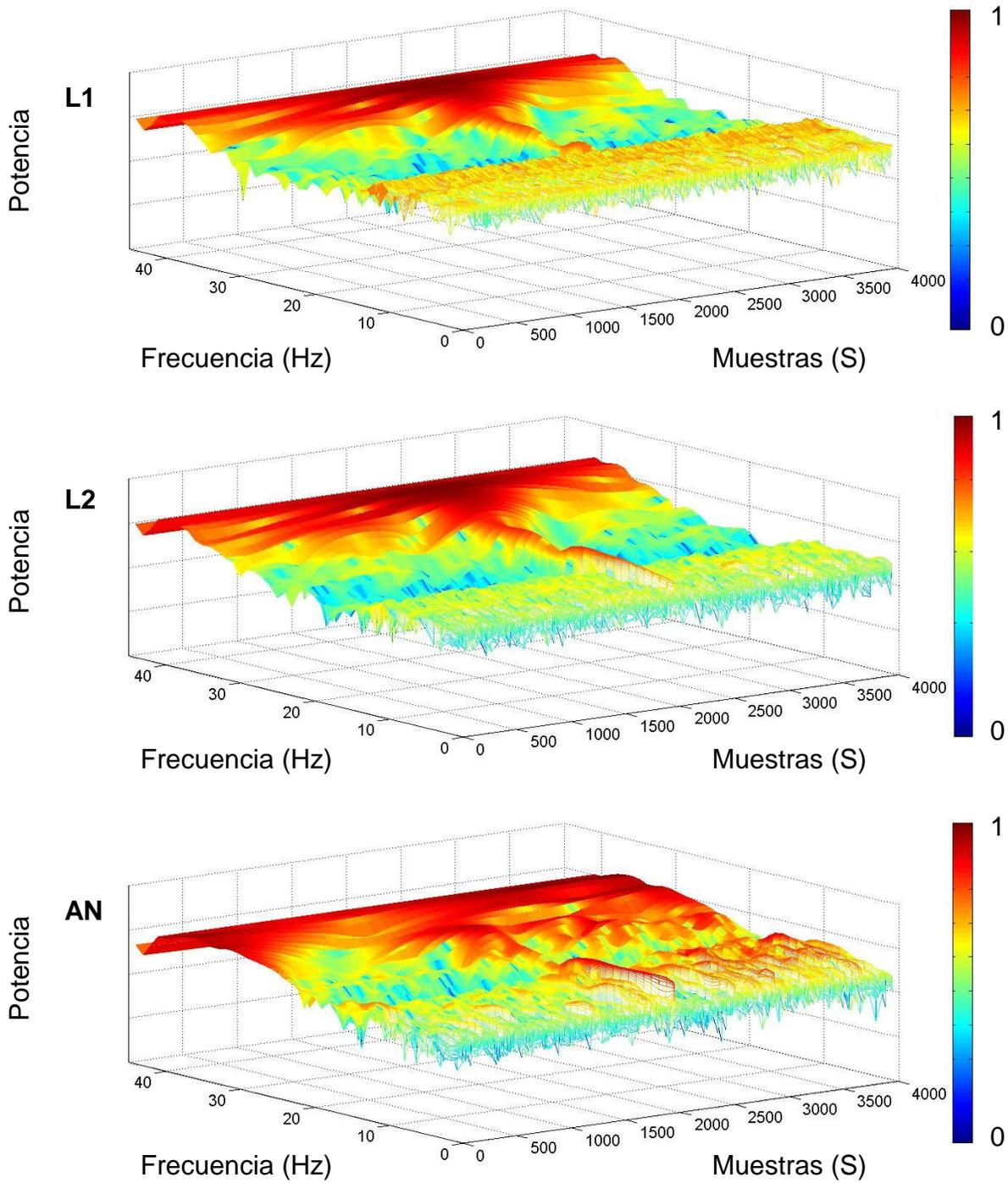


Figura 6.9. Gráficas tridimensionales de la TW de la actividad eléctrica del cerebro (lóbulo olfatorio L1 y L2) y de la anténula (AN) del acocil en condiciones control. El estímulo aplicado es orina de un acocil dominante.

6.2. Privación de sueño

6.2.1. Estimulación con agua

La **Figura 6.10** muestra los registros obtenidos al aplicar una gota de agua a acociles privados de sueño.

Existe una disminución generalizada de la amplitud con respecto a los registros obtenidos en condiciones control (Figura 6.1). La amplitud máxima es de aproximadamente un 60% de la medida en condiciones control. En ninguno de los sitios registrados se observa una respuesta a la aplicación del estímulo.

El acocil no presentó una respuesta conductual a la estimulación.

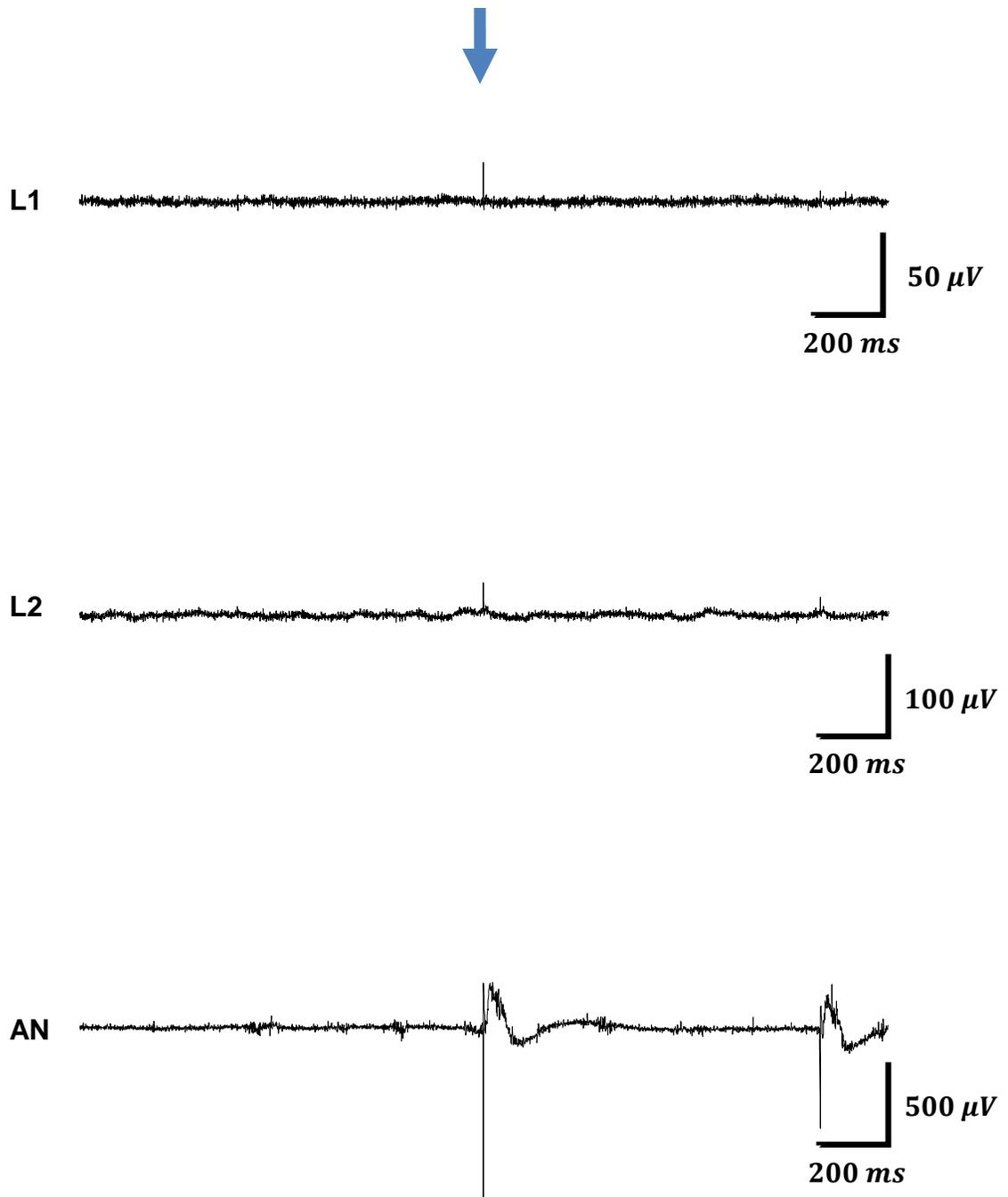


Figura 6.10. Actividad eléctrica del cerebro (lóbulo olfatorio L1 y L2) y de la anténula (AN) del acocil en condiciones privado de sueño. La flecha indica el momento en que se aplicó el estímulo (agua).

Esto se corrobora con el análisis obtenido mediante TFCT (Figura 6.11). En los espectrogramas no existen cambios en las potencias después de la aplicación del estímulo.

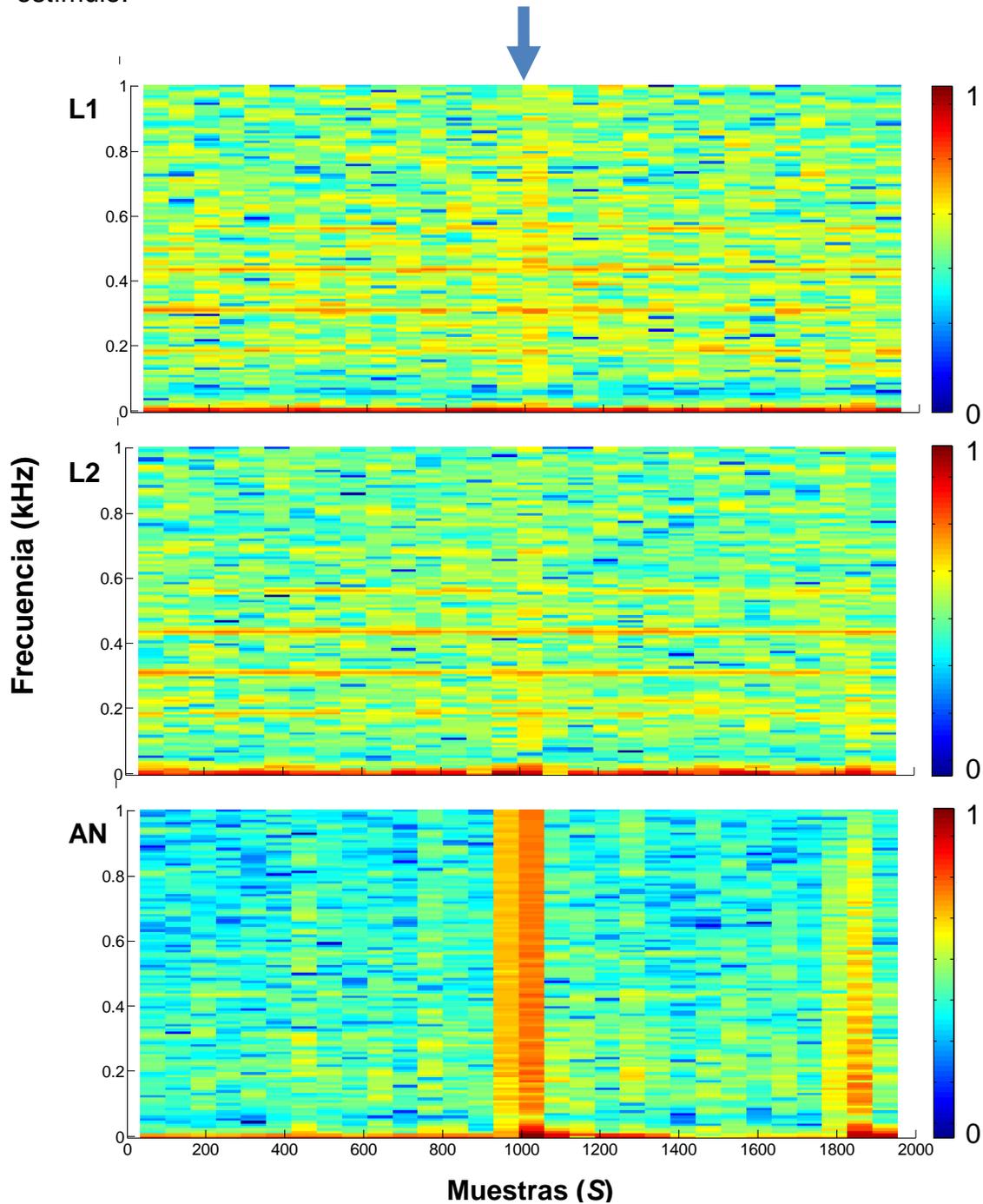


Figura 6.11. Espectrograma de la actividad eléctrica del cerebro (lóbulo olfatorio L1 y L2) y de la anténula (AN) del acocil privado de sueño. La flecha indica el momento en que se aplicó el estímulo (agua).

La Figura 6.12 muestra frecuencias dominantes en la banda de 25 a 42 Hz para L1, 23 a 41 Hz para L2 y de 30-44 Hz para la anténula. No existen cambios en la actividad después de la aplicación del estímulo.

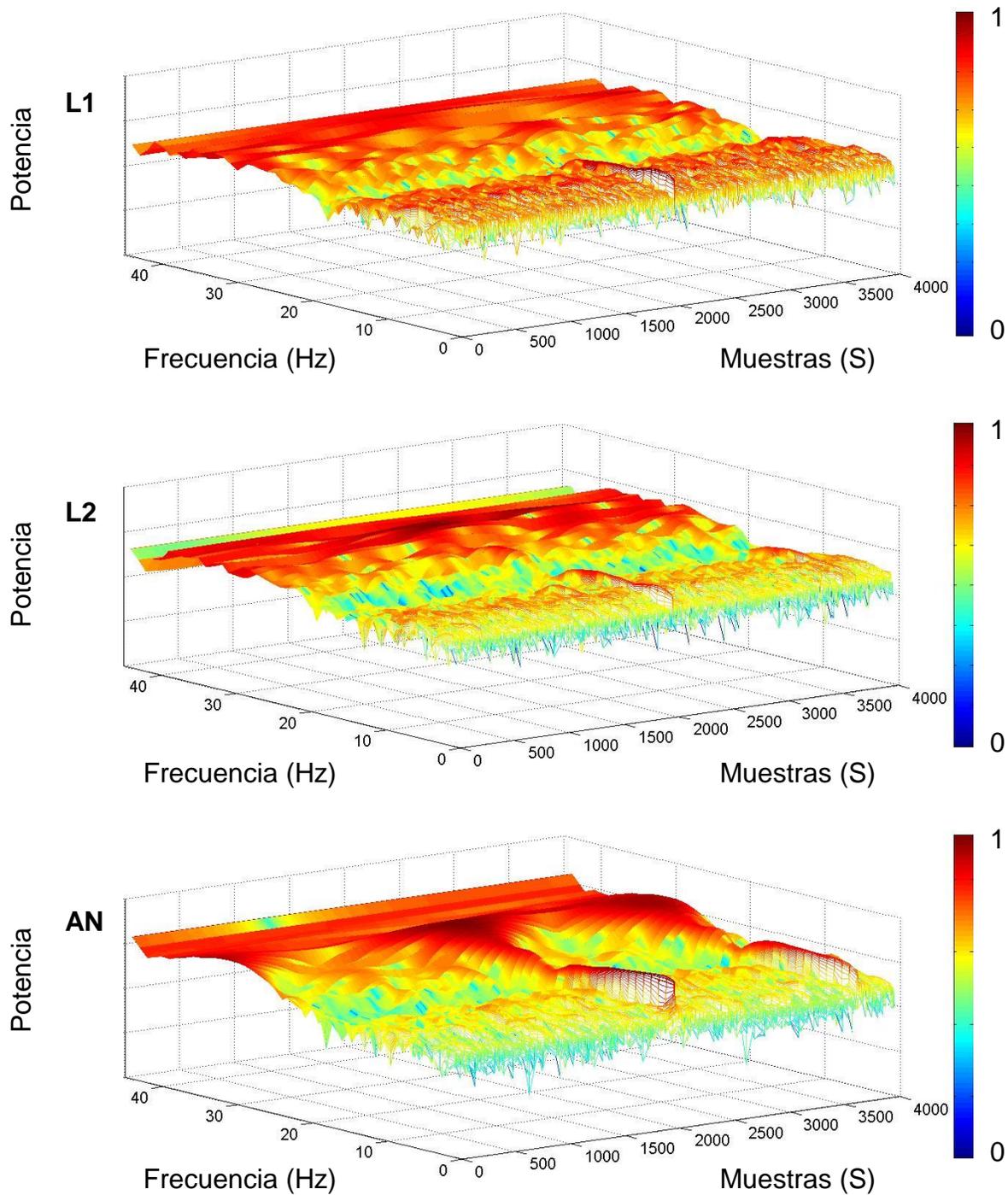


Figura 6.12. Gráficas tridimensionales de la TW de la actividad eléctrica del cerebro (lóbulo olfatorio L1 y L2) y de la anténula (AN) del acocil privado de sueño. El estímulo aplicado es agua.

6.2.2. Estimulación con comida

Como puede observarse en la Figura 6.13 La actividad eléctrica registrada en las tres regiones se mantiene disminuida. Al igual que con la estimulación con agua en ninguno de los sitios registrados se observa una respuesta a la aplicación del estímulo.

El acocil no presentó una respuesta conductual a la estimulación.

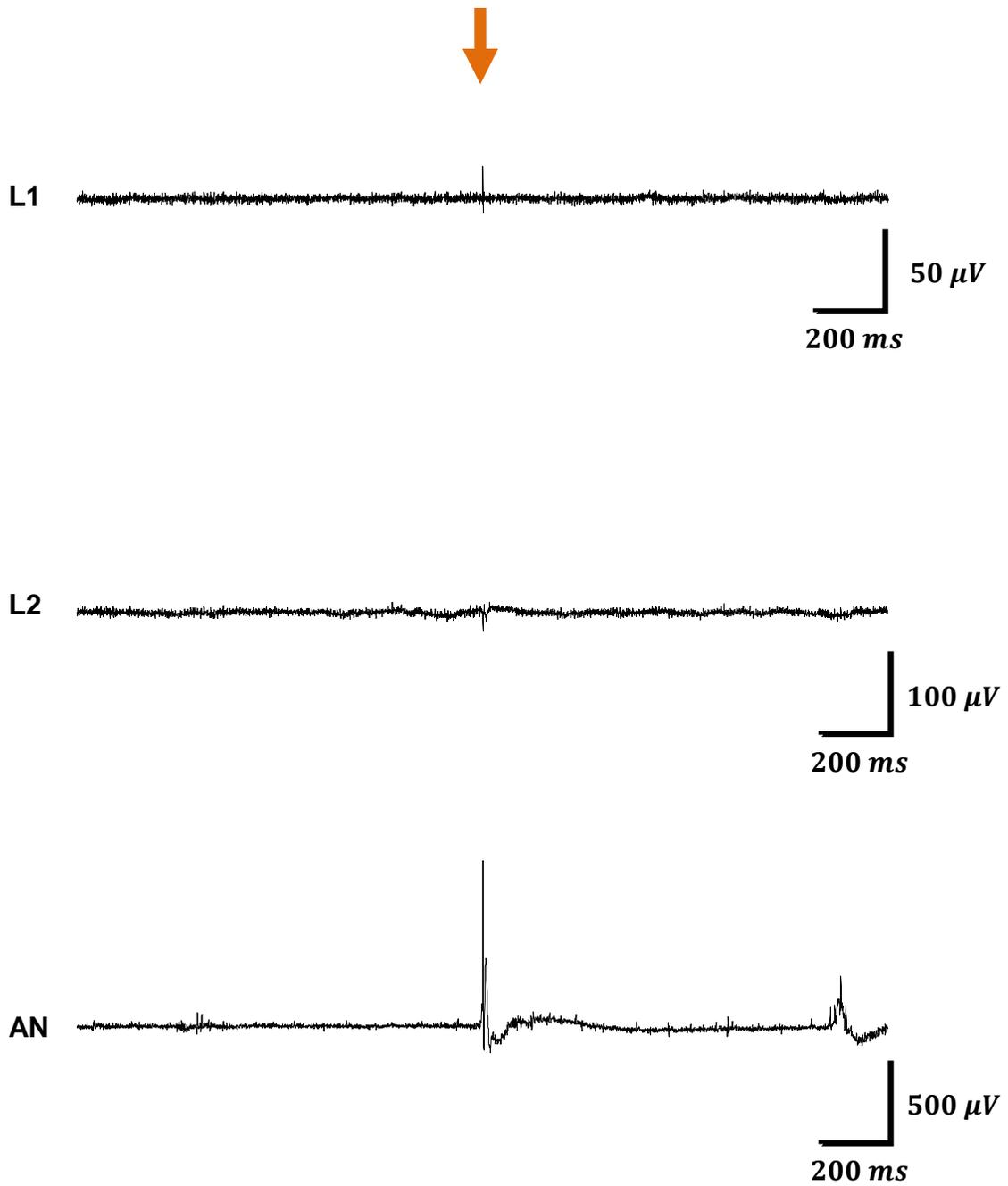


Figura 6.13. Actividad eléctrica del cerebro (lóbulo olfatorio L1 y L2) y de la anténula (AN) del acocil privado de sueño. La flecha indica el momento en que se aplicó el estímulo (comida).

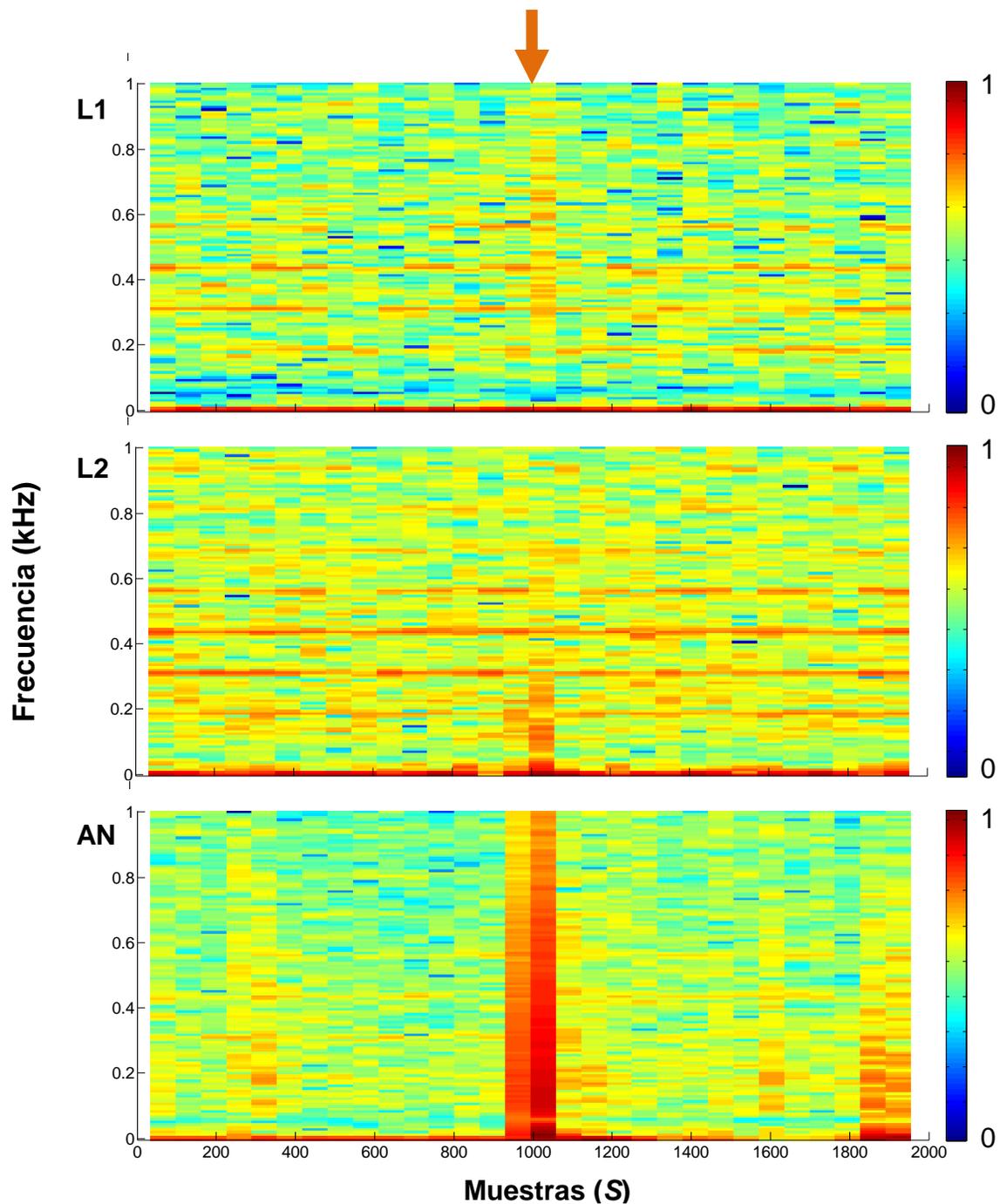


Figura 6.14. Espectrograma de la actividad eléctrica del cerebro (lóbulo olfatorio L1 y L2) y de la anténula (AN) del acocil privado de sueño. La flecha indica el momento en que se aplicó el estímulo (comida).

Esto se corrobora con el análisis tiempo-frecuencia con TFCT (**Figura 6.14**) y con TW. Este último muestra que las frecuencias dominantes se encuentran alrededor de los 30 y 44 Hz para L1, 28 y 44 Hz para L2 y de 25 a 44 Hz para la anténula.

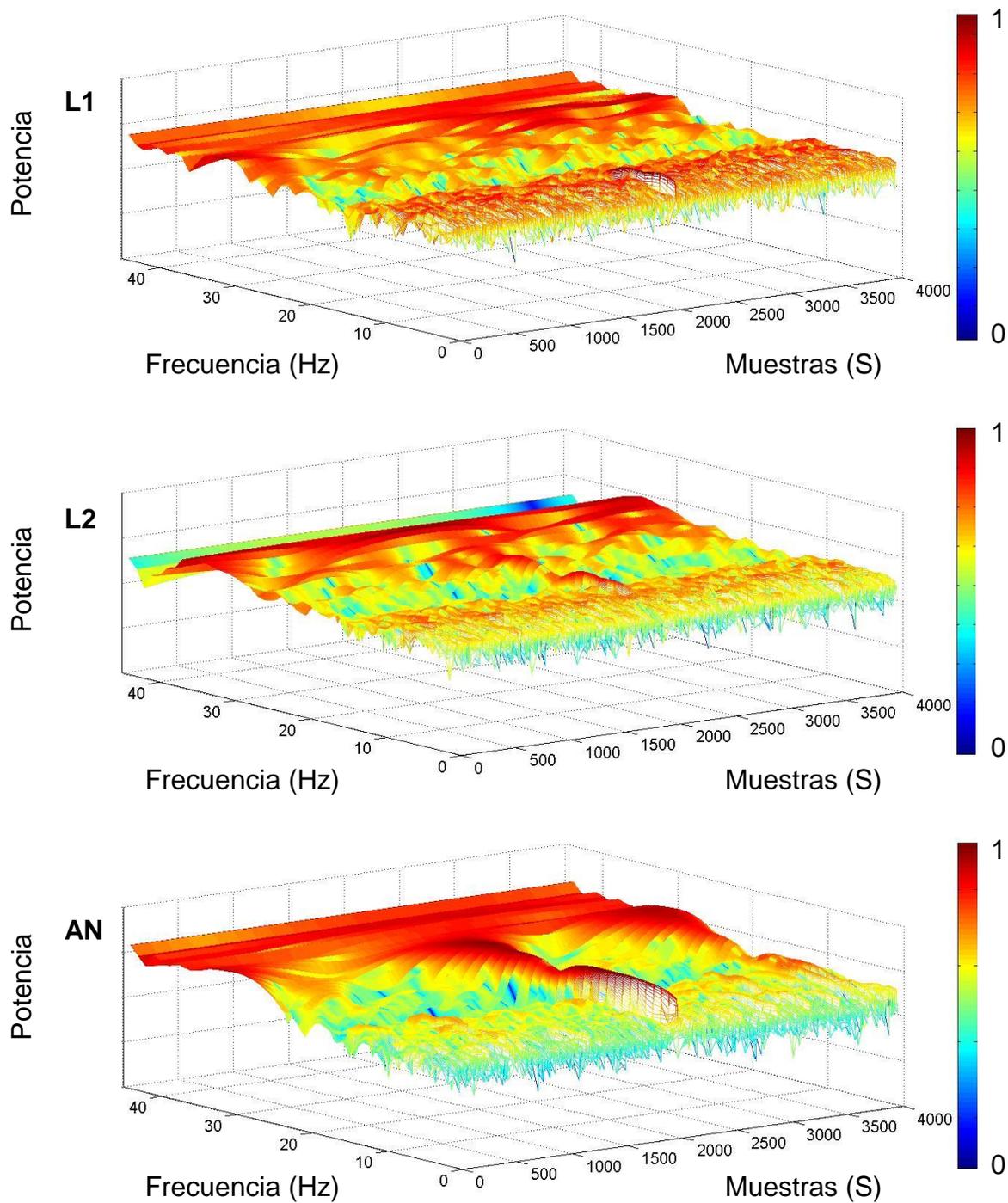


Figura 6.15. Gráficas tridimensionales, de la TW de la actividad eléctrica del cerebro (lóbulo olfatorio L1 y L2) y de la anténula (AN) del acocil en condiciones privado de sueño. El estímulo aplicado es una solución de comida en agua.

6.2.3. Estimulación con orina

Al igual que en los casos anteriores, la amplitud de la señal eléctrica es menor con respecto a los registros control (Figura 6.7).

Inmediatamente después a la aplicación de gotas de orina de un acocil dominante, se observa un incremento en la actividad eléctrica registrada en la anténula (**Figura 6.16**). Sin embargo, esto no ocurre en el lóbulo olfatorio.

El acocil presentó una respuesta conductual a la estimulación similar a la observada en condiciones control pero de menor intensidad.

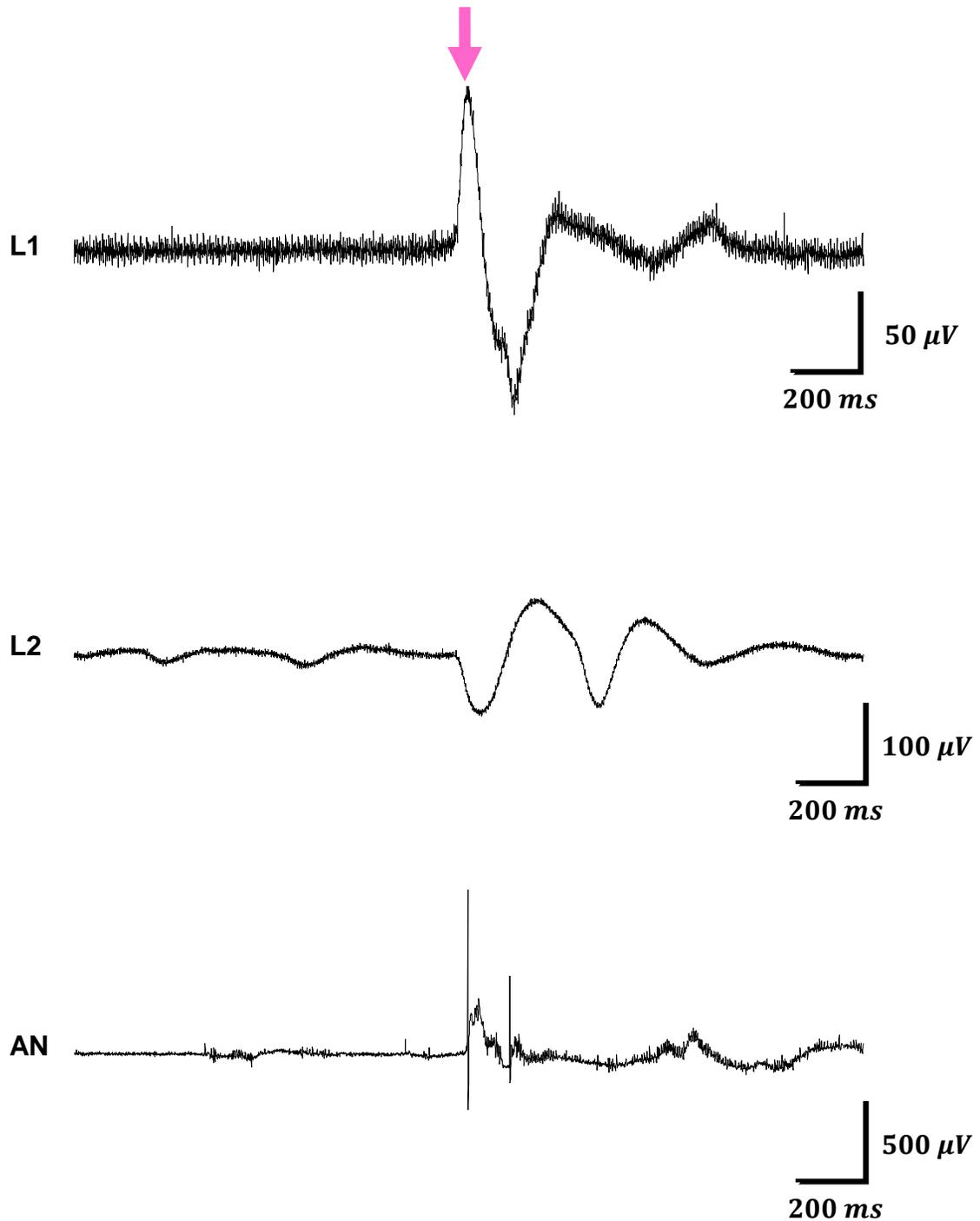


Figura 6.16. Actividad eléctrica del cerebro (lóbulo olfatorio L1 y L2) y de la anténula (AN) del acocil en condiciones privado de sueño. La flecha indica el momento en que se aplicó el estímulo (orina).

El espectrograma de la actividad eléctrica de la anténula muestra un incremento generalizado en la potencia después de la aplicación del estímulo. La potencia permanece elevada hasta el final del registro.

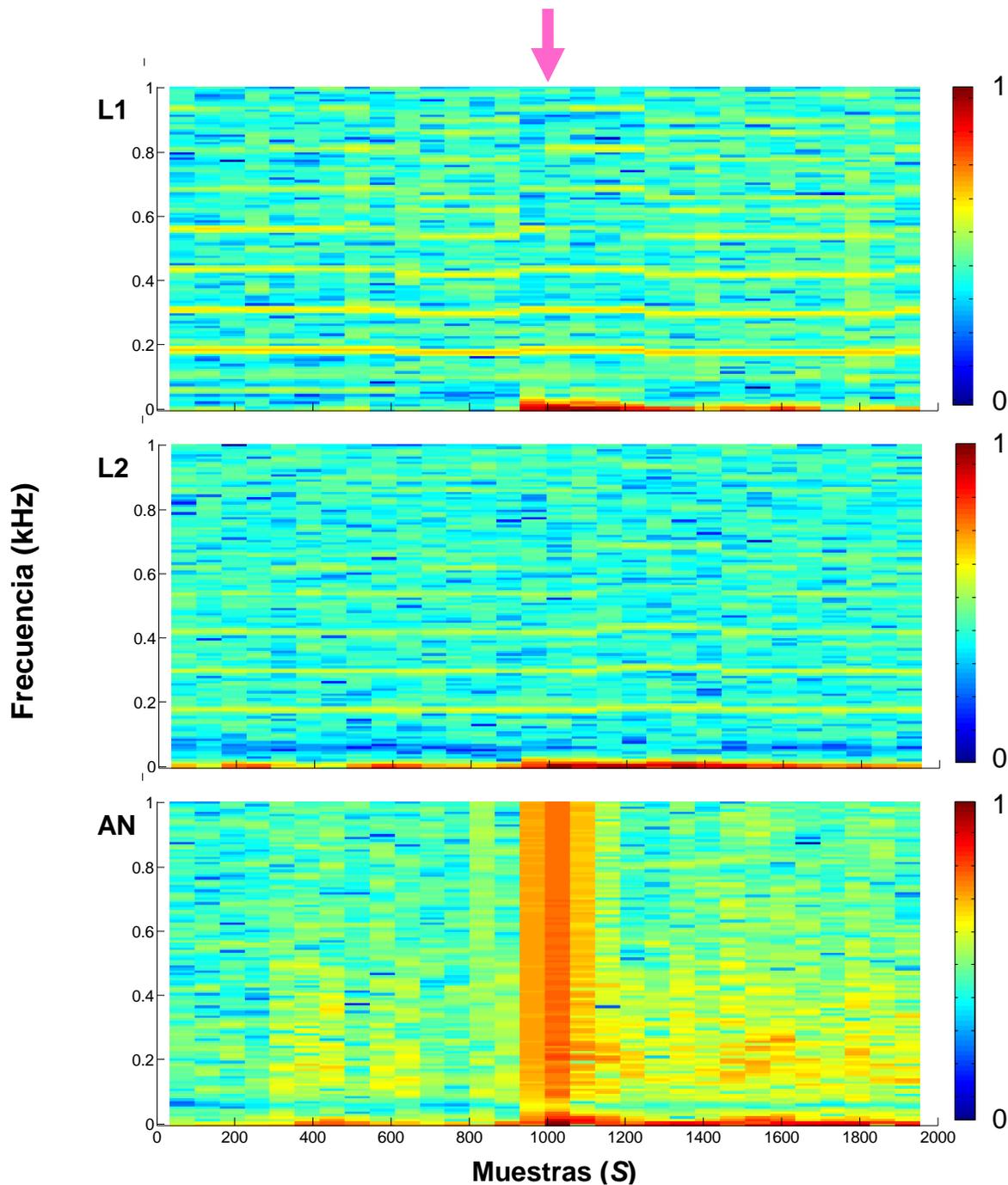


Figura 6.17. Espectrograma de la actividad eléctrica del cerebro (lóbulo olfatorio L1 y L2) y de la anténula (AN) del acocil privado de sueño. La flecha indica el momento en que se aplicó el estímulo (orina).

La TW muestra que las frecuencias dominantes se encuentran en el rango de 30-44 Hz para L1, de 28-44 Hz para L2 y de 25-44 Hz para la anténula.

También se presenta un incremento generalizado y disperso en la potencias bajas, alrededor de 0-15 Hz en L1, de 0-15 Hz en L2 y de 0-15 Hz en la anténula.

La aplicación del estímulo eleva la potencia de la banda de 0-15 Hz en los registros obtenidos de la anténula.

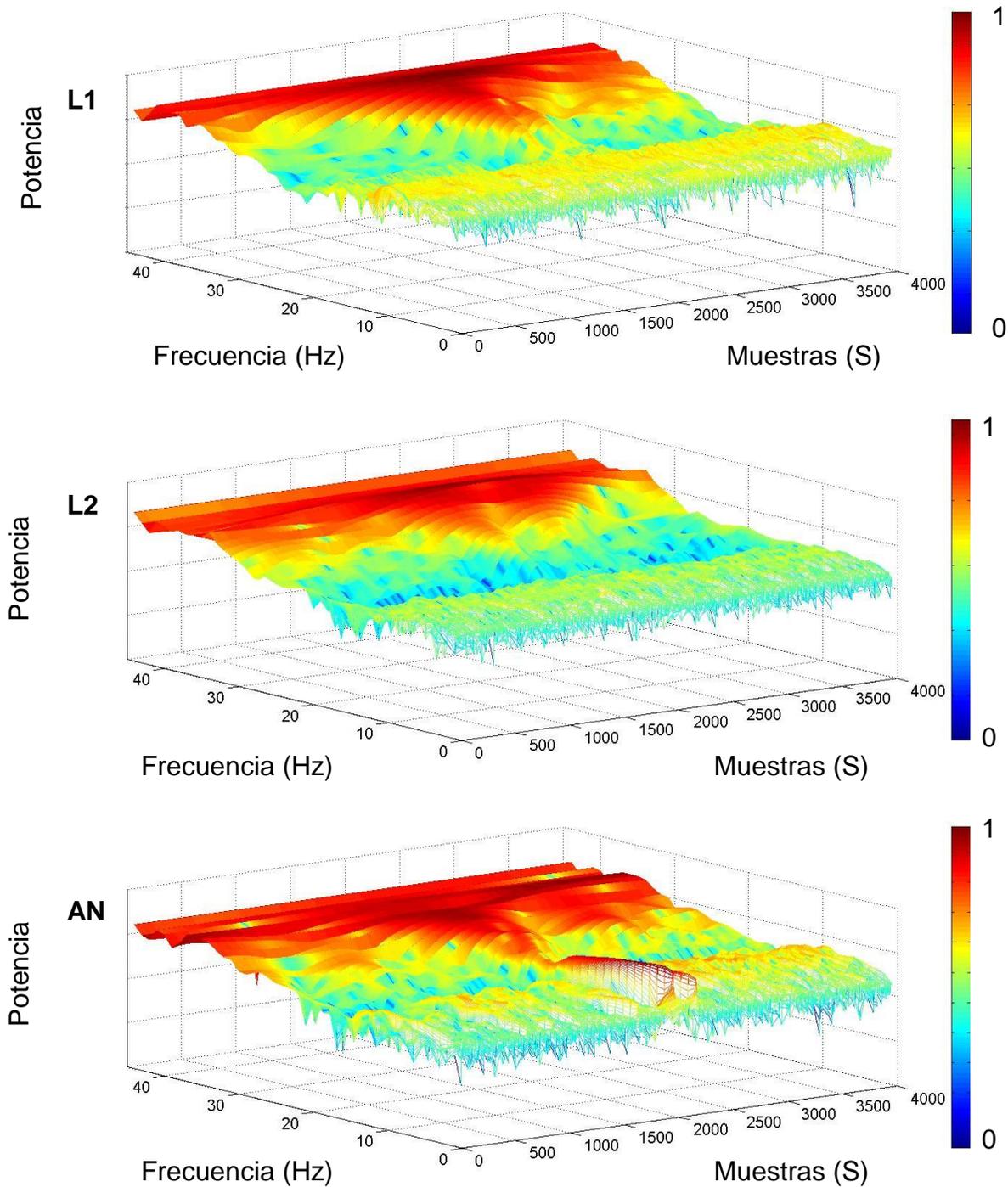


Figura 6.18. Gráficas tridimensionales de la TW de la actividad eléctrica del cerebro (lóbulo olfatorio L1 y L2) y de la anténula (AN) del acocil privado de sueño. El estímulo aplicado es orina.

6.3 Comparación entre las condiciones control y de privación de sueño

6.3.1 Señales electrofisiológicas y respuestas conductuales

En condiciones de privación de sueño, se observa una disminución de la amplitud de los registros al compararlos con las señales obtenidas en condiciones control. Esta disminución es de un **60%**.

En condiciones control, se observó una respuesta conductual en los acociles sólo cuando se aplicó comida u orina. Esta respuesta conductual fue de mayor intensidad cuando el estímulo aplicado era orina.

En condiciones de privación de sueño sólo se presentó una respuesta conductual a la aplicación de orina. Esta fue menor que la observada en condiciones control.

6.3.2 Análisis tiempo-frecuencia

Al comparar los espectrogramas de las señales eléctricas obtenidas en condiciones control, se encuentra que sólo existen cambios en el que corresponde a la actividad eléctrica de la anténula. Esto ocurre cuando el estímulo que se aplica es orina. Los cambios consisten en un incremento en la potencia para todas las frecuencias.

En las señales electrofisiológicas provenientes de acociles privados de sueño, la estimulación genera cambios en la actividad eléctrica de la anténula y sólo si el estímulo aplicado es orina. Los cambios consisten en un incremento de la potencia para el intervalo de frecuencia que va de 0 a 500 Hz. Este incremento es de menor potencia que el obtenido en condiciones control.

Lo anterior es corroborado mediante el análisis con TW que además permitió identificar algunos cambios en las frecuencias de 0-15 Hz.

6.3.3. Conteo de espigas

El conteo de espigas realizado para los registros de actividad eléctrica, permitió obtener un análisis estadístico, que compara la respuesta del lóbulo olfatorio y la anténula en condiciones control y de privación de sueño.

En la Figura 6.19, se muestra la diferencia en la tasa de descarga del lóbulo olfatorio (L1 y L2) y la anténula, antes y después de la aplicación del estímulo olfatorio (agua). Se realizó la comparación estadística de la actividad antes y después de la privación de sueño. Como se puede ver en la gráfica no existen cambios significativos en la descarga de los lóbulos olfatorios o de las anténulas ante la privación de sueño (t de dos colas; $p > 0.05$, $N = 41$).

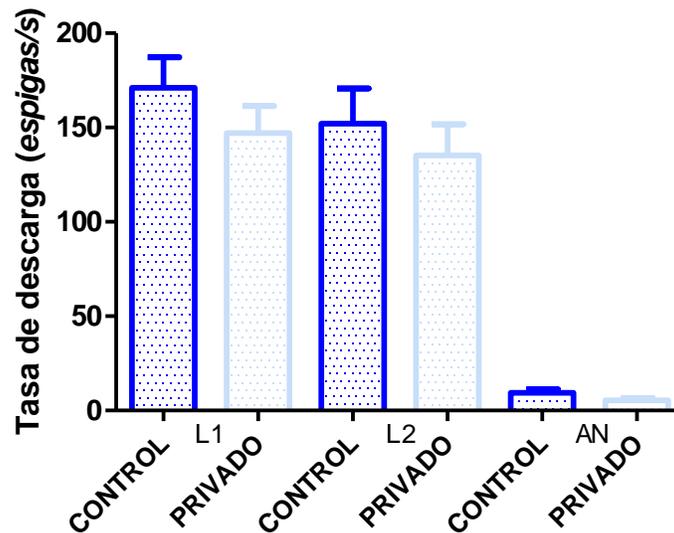


Figura 6.19. Diferencia en el número de espigas obtenidas del lóbulo olfatorio (L1 y L2) y anténula (AN) en condiciones control y de privación de sueño. El estímulo aplicado fue agua.

En la Figura 6.20, se muestra la diferencia en la tasa de descarga del lóbulo olfatorio (L1 y L2) y la anténula, antes y después de la aplicación del estímulo olfatorio (agua). Se realizó la comparación estadística de la actividad antes y después de la privación de sueño. Como se puede ver en la gráfica no existen cambios significativos en la descarga de los lóbulos olfatorios o de las anténulas ante la privación de sueño (t de dos colas; $p > 0.05$, $N = 41$).

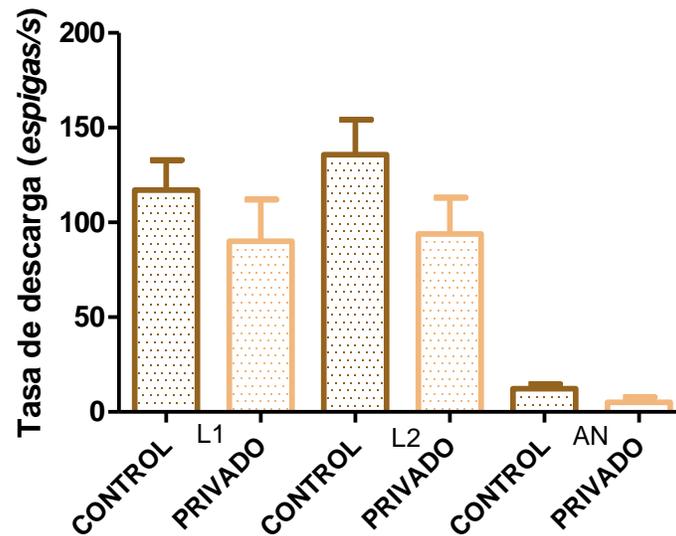


Figura 6.20. Diferencia en el número de espigas obtenidas del lóbulo olfatorio (L1 y L2) y anténula (AN) en condiciones control y de privación de sueño. El estímulo aplicado fue comida.

En la Figura 6.21, se muestra la diferencia en la tasa de descarga del lóbulo olfatorio (L1 y L2) y la anténula, antes y después de la aplicación del estímulo olfatorio (orina). Se realizó la comparación estadística de la actividad antes y después de la privación de sueño. Como se puede ver en la gráfica no existen cambios significativos en la descarga de los lóbulos olfatorios ($p > 0.05$), pero sí en la de las anténulas (t de dos colas; $p < 0.05$, $N = 41$).

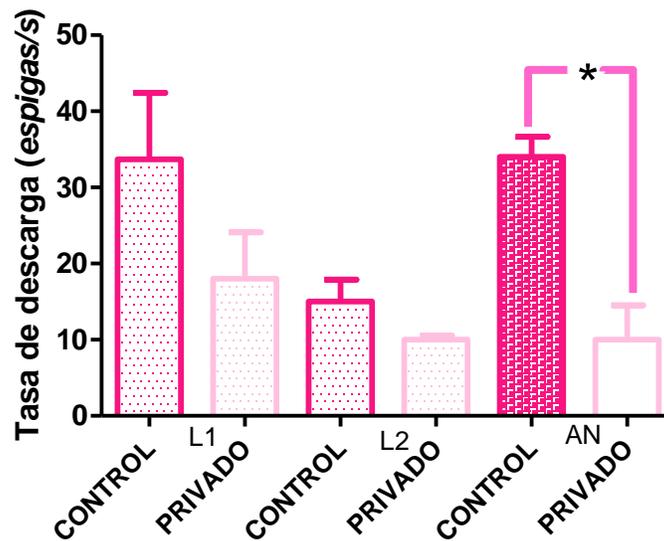


Figura 6.21. Diferencia en el número de espigas obtenidas del lóbulo olfatorio (L1 y L2) y anténula (AN) en condiciones control y de privación de sueño. El estímulo aplicado fue orina.

7. CONCLUSIONES

La privación de sueño modifica las respuestas electrofisiológicas a estímulos olfatorios registradas en el lóbulo olfatorio pero principalmente las registradas en las anténulas del acocil. Con base en esto, es posible concluir que la integridad de las respuestas olfatorias requiere de un periodo de sueño normal.

Por otra parte, el reconocimiento social agonista depende de la integridad de la entrada olfatoria. Considerando que la privación de sueño modifica la respuesta a estimulación olfatoria, es concluir que en el acocil el sueño es necesario para el reconocimiento del ambiente y de los conespecíficos.

El análisis con transformada Wavelet permite postular que la entrada de información por vía olfatoria se procesa en forma lineal y que a nivel central (lóbulos olfatorios), su integración es de carácter no-lineal y muy probablemente distribuida.

Los efectos de la privación de sueño se pueden explicar postulando una disociación entre la porción periférica (los quimiorreceptores de las anténulas) y el procesamiento de la información a nivel de los lóbulos olfatorios.

En la medida en que el objetivo de este trabajo fue identificar cuál es el efecto de la privación de sueño en la respuesta electrofisiológica del lóbulo olfatorio y las anténulas del acocil *Procambarus clarkii* a estímulos olfatorios, es posible concluir éste se cumplió satisfactoriamente.

Finalmente, como el trabajo desarrollado plantea algunas preguntas que pueden explorarse a futuro como son: A) ¿La privación de sueño modifica la respuesta a otras entradas sensoriales como las mecánicas y las visuales? B) ¿El reconocimiento jerárquico depende de estas entradas sensoriales también? C) ¿El reconocimiento jerárquico consiste en una memoria de largo o de corto plazo? D) ¿es posible utilizar otros métodos de análisis que nos brinden información sobre el mecanismo mediante el cual se procesa centralmente la información sensorial?

8. REFERENCIAS

1. **Barlow GW.** 1968. Ethological units of behavior. In D. Ingle, ed., The central nervous system and fish behavior, pp. 217-232. University of Chicago Press, Chicago. viii + 272 pp.
2. **Brown JL.** 1970b. The neural control of aggression. In. C. H. Southwick, ed. (q.v) Animal aggression: Selected readings, pp. 164-186.
3. **Cattaer D y D LeRay.** 2001, Adaptive motor control in crayfish. *Progress in Neurobiology* 63: 199-240.
4. **Delgado-Morales G,** J Hernández-Falcón, F Ramón. 2004, Agonistic behavior in crayfish: The importance of sensory inputs. *Crustaceana.* 77:1-24.
5. **Fadool DA.** and Ache, B.N. 1994. Inositol 1, 3, 4, 5- tetrakisphosphate gated channels in olfactory receptor neurons. *Proc Natl Acad. Sci.* 91: 9471-9475.
6. **Grier J.** 1984. Biology of animal behavior. Mosby College Publishing. p 541.
7. **Hernández FJ,** J Serrato, F Ramón. 1996, Chronic recording of electrical activity from the brain of unrestrained crayfish: The basal, unstimulated activity. *Comp. Biochem. Physiol.*, 114A: 219-226.
8. **Hildebrand JG,** GM Shepherd. 1977, Mechanism of olfactory discrimination: converging evidence for common principles across phyla. *Annu. Rev. Neurosci.* 20: 595-631.
9. **Karavanich C y J Atema,** 1998, Individual recognition and memory in lobster dominance. *Animal behaviour*, 56:1553-1560.
10. **Kravitz EA.** 2000. Serotonin and aggression: insights gained from a lobster model system and speculations on the role of amine neurons in a complex behavior. *J. Comp. Physiol.* 186: 221-238.
11. **Kouro SR y RM Musalem,** 2002. Tutorial introductorio a la Teoría Wavelet. *Técnicas Modernas en Automática.* IEEE.

12. **Lester M.** Apuntes Transformada Wavelet. Introducción a la Transformada Wavelet. Argentina, UNICEN, Facultad de Ciencias Exactas, 2006, págs. 9-
13. **Mata HG,** VM Sánchez Esquivel, JM Gómez González. 2002, Análisis de sistemas y señales con computo avanzado. México, UNAM, Facultad de Ingeniería, 2006. P 15.
14. **Mendoza-Ángeles K.** Identificación y caracterización de estados cerebrales en el acocil. Tesis doctoral. UNAM, Facultad de Medicina, 2008.
15. **Mendoza-Ángeles K,** A Cabrera, J Hernández-Falcón y F Ramón. 2007, Slow waves during sleep in crayfish: a time-frequency analysis. *J. Neurosci. Methods*, 162:264-271.
16. **Mendoza-Ángeles K,** J Hernández-Falcón, F Ramón. 2010, Slow waves during sleep in crayfish. Origin and spread. *Journal of Experimental Biology*, 213:2154-2164.
17. **Michel, WC.** y BW Ache. 1992. Cyclic nucleotides mediate and odor evoked potassium conductance in lobster olfactory receptor cells. *J. Neurosci.* 12: 3979-3984.
18. **Moyer, KE.** 1969. Internal impulse to aggression. *Transactions of the New York Academy of Sciences*, 21(2): 104-114.
19. **Moyer, KE.** 1971. *The physiology of hostility*,. Markham, Chicago. x +194 pp.
20. **Osorio, SA,** 2006. Algoritmo para detección de vibraciones anormales en maquinarias utilizando la transformada wavelet. Tesis de maestría. UDLAP, Escuela de Ingeniería y Ciencias.
21. **Ramón F,** K Mendoza-Ángeles, J Hernández-Falcón. 2012, Sleep in invertebrates: crayfish. *Frontiers in Biology*, S4:1190-1200.
22. **Sandeman D,** R Sandeman, C Derby, y M Schmidt. 1992, Morphology of the brain of crayfish, crabs and spiny lobster: a common nomenclature for homologous structures. *Biological Bulletin*. 183: 304-326.
23. **Wittenberger, James F.** 1981, *Animal social behavior*, Wadsworth, Inc., Belmont, California.

9. ANEXOS

Anexo 1.

Consideraciones Éticas

Durante todas las etapas quirúrgicas de este proyecto, los animales se manipularon anestesiados por frío, que es el método común para reducir los posibles sufrimientos de estos animales.

La anestesia por frío consiste en colocar a los animales durante 30 – 40 minutos en agua a 0°C. Esto provoca pérdida de respuestas sensoriales de tipo mecánico, visual o químico. Este tipo de anestesia reduce además el sangrado al incrementar la viscosidad de la hemolinfa.

Los procedimientos mencionados han sido aprobados por las Comisiones de Investigación y Ética de la División de Investigación de la Facultad de Medicina, UNAM con número de Dictamen 048/2015 a través del oficio FMED/CI/SPLR/056/2015



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE MEDICINA
DIVISIÓN DE INVESTIGACIÓN
COMISIONES DE INVESTIGACIÓN Y DE ÉTICA
OFICIO NO. FMED/CI/SPLR/056/2015

ASUNTO: Dictamen proyecto 048/2015

Dra. Karina Mendoza Ángeles
Profesor Asociado "C" TC
Departamento de Fisiología
Facultad de Medicina, UNAM
P r e s e n t e.

Estimada doctora Mendoza Ángeles:

Me complace informarle que su proyecto número 048/2015 **"Estudio del sueño en el acocil: Papel de las entradas sensoriales en la sincronización de la actividad eléctrica cerebral"** ha sido APROBADO por las Comisiones de Investigación y Ética de esta Facultad de Medicina, en su sesión ordinaria de fecha 07 de abril de 2015, con vigencia de 3 años a partir de la fecha de aprobación.

Para conocer el seguimiento de esta investigación, es necesario que entregue un informe anual, en la División de Investigación de esta Facultad, tomando en cuenta esta fecha de elaboración del dictamen.

Asimismo, le solicitamos atentamente nos envíe una copia del o los artículos y/o copia de la carátula y resumen de las tesis que pudieran generarse relacionadas con el proyecto.

Sin otro particular de momento, aprovecho la oportunidad para enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Ciudad Universitaria, D.F., a 07 de abril de 2015.

EL SECRETARIO TÉCNICO

DR. SAMUEL PONCE DE LEÓN ROSALES

*SPLR/SCM/ETF 'bap

Anexo 2:

Registros electrofisiológicos en condiciones control y privados de sueño.

Los registros electrofisiológicos tuvieron una duración de 5 minutos, se muestrearon a una frecuencia de 2 kHz. La aplicación de los estímulos (agua, comida y orina) se llevó a cabo en una primera ocasión a los 100 segundos de iniciado el registro y en una segunda ocasión a los 200 segundos aproximadamente.

Los registros se obtuvieron en tres canales diferentes, primer y segundo canal corresponden a la actividad eléctrica del cerebro (lóbulo olfatorio) del acocil, y el tercer canal corresponde a la actividad eléctrica de la anténula.

La adquisición de los registros electrofisiológicos se obtuvo mediante un convertidor A/D (6024E, National Instruments) usando el Real Time Windows Target en Matlab.

Las señales obtenidas se representan en tres gráficas, dos de ellas corresponden al lóbulo olfatorio (gráficas superiores) una más a la anténula (gráfica inferior).

A continuación se muestran los registros completos a los que corresponden las gráficas mostradas en los resultados. Las figuras **Figura 9.1 a 9.3** representan los registros electrofisiológicos obtenidos en condiciones control, al aplicar como estímulos agua, una solución de comida en agua y orina de un acocil dominante respectivamente.

Mientras que las **Figura 9.4 a 9.6** representan los registros electrofisiológicos obtenidos en condiciones de privación de sueño al aplicar como estímulos agua, solución de comida en agua y orina de acocil dominante respectivamente.

Todos los registros obtenidos se analizaron y se explican a detalle en los resultados.

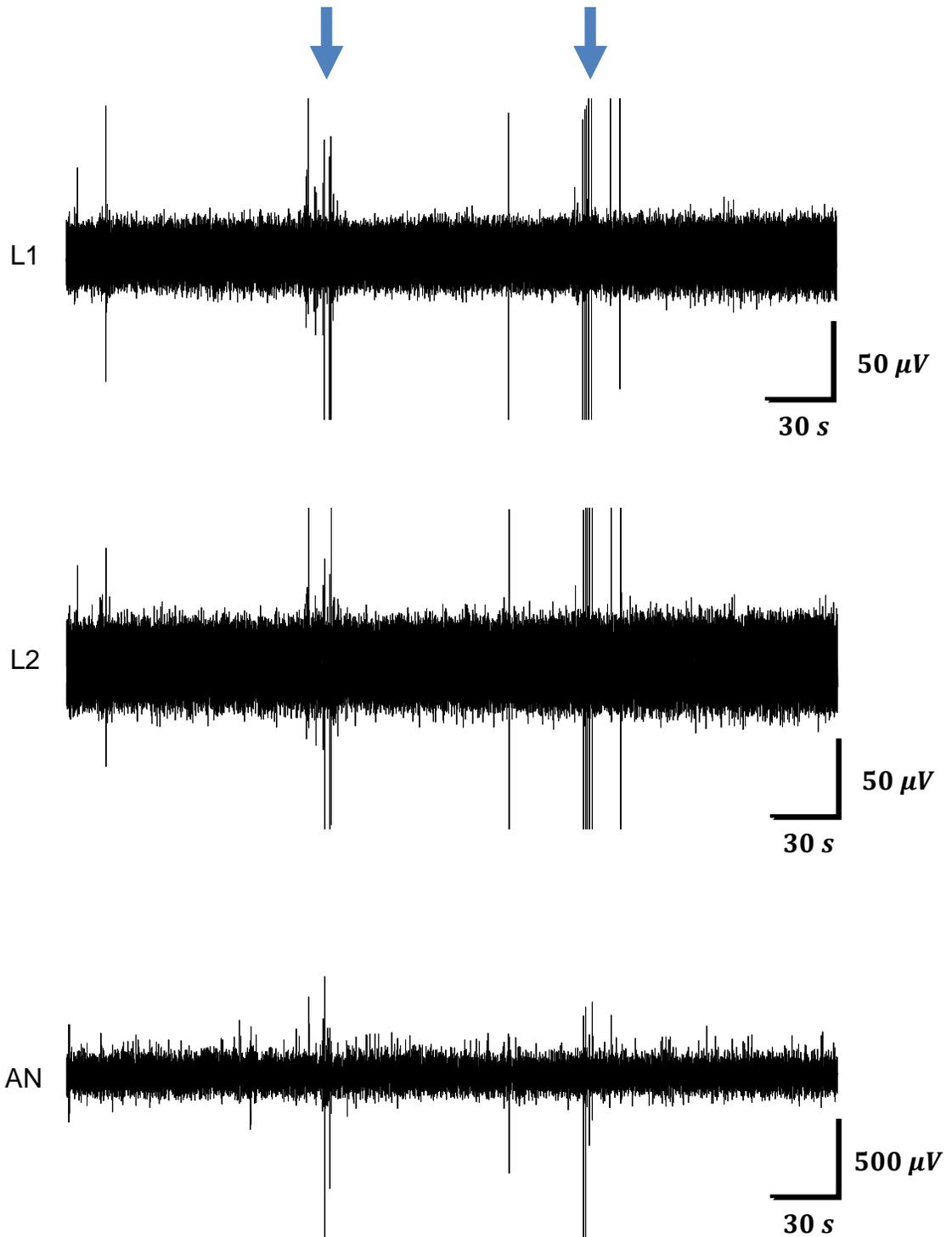


Figura 9.1. Registros electrofisiológicos del cerebro (lóbulo olfatorio L1 y L2) y de la anténula (AN) del acocil en condiciones control. Cada flecha indica el momento en que se aplicaron los estímulos (agua).

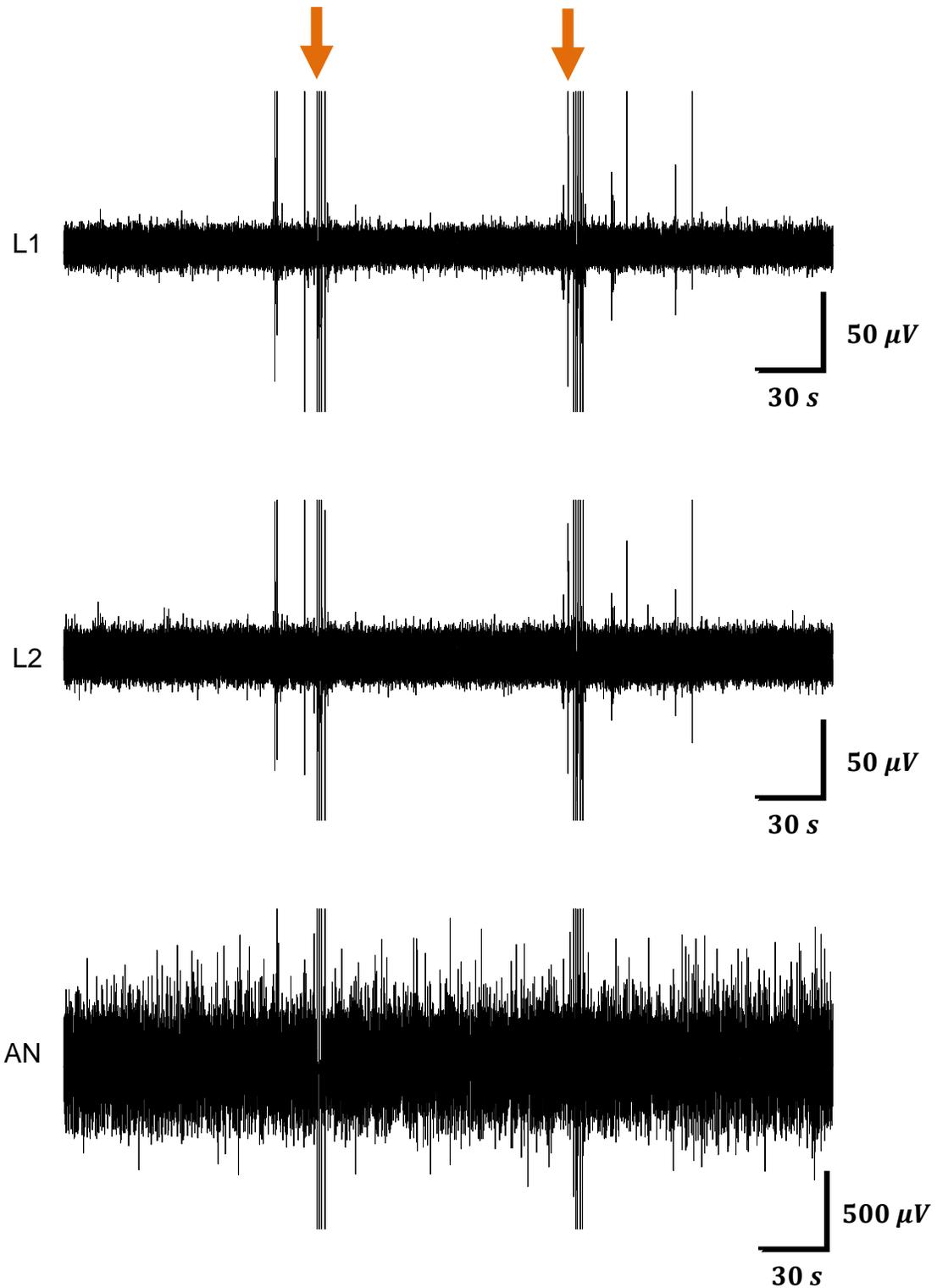


Figura 9.2. Registros electrofisiológicos del cerebro (Lóbulo olfatorio L1 y L2) y de la Anténula (AN) del acocil en condiciones control. Cada flecha indica el momento en que se aplicaron los estímulos (comida).

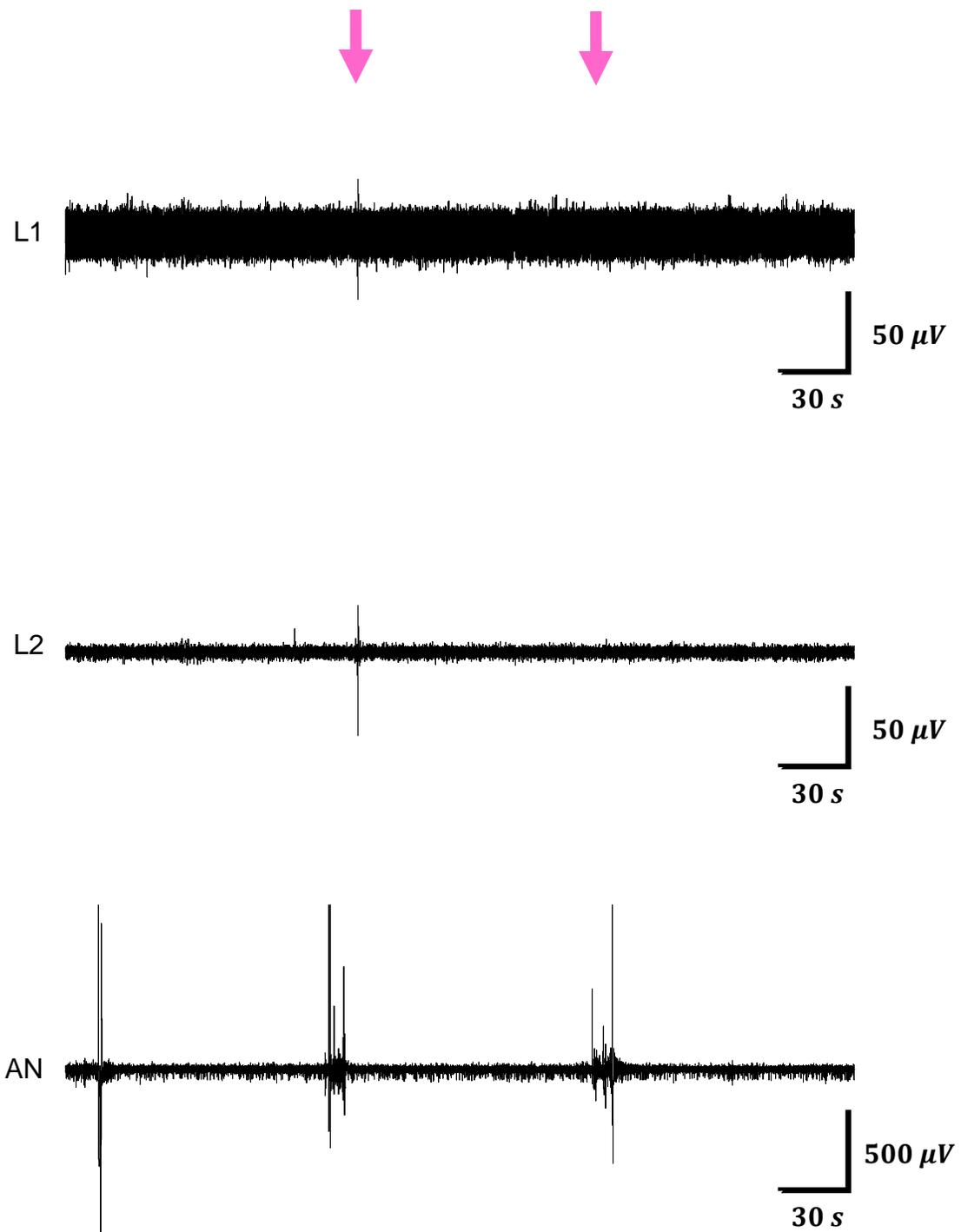


Figura 9.3. Registros electrofisiológicos del cerebro (lóbulo olfatorio L1 y L2) y de la anténula (AN) del acocil en condiciones control. Cada flecha indica el momento en que se aplicaron los estímulos (orina).

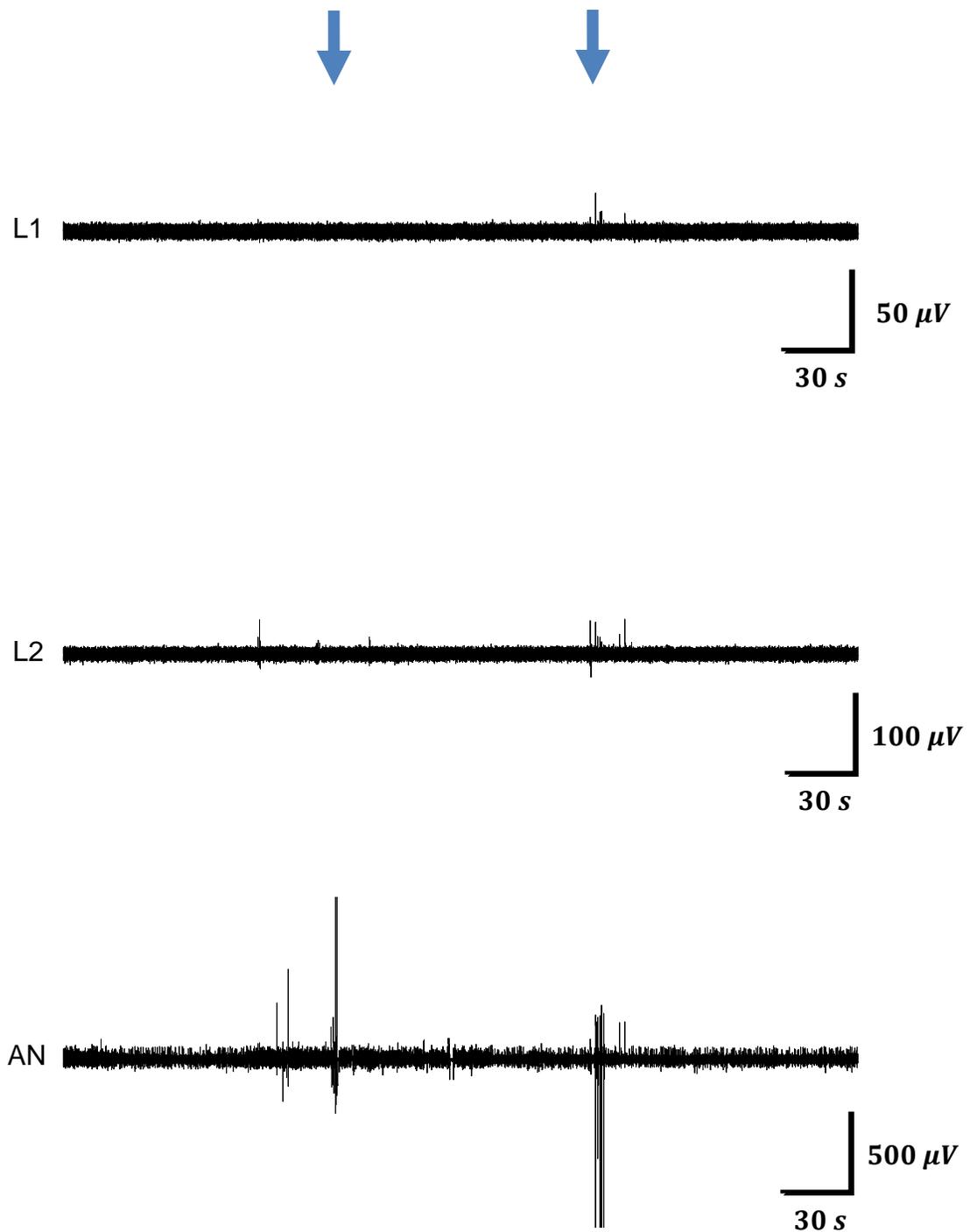


Figura 9.4. Registros electrofisiológicos del cerebro (lóbulo olfatorio L1 y L2) y de la anténula (AN) del acocil en condiciones de privación de sueño. Cada flecha indica el momento en que se aplicaron los estímulos (agua).

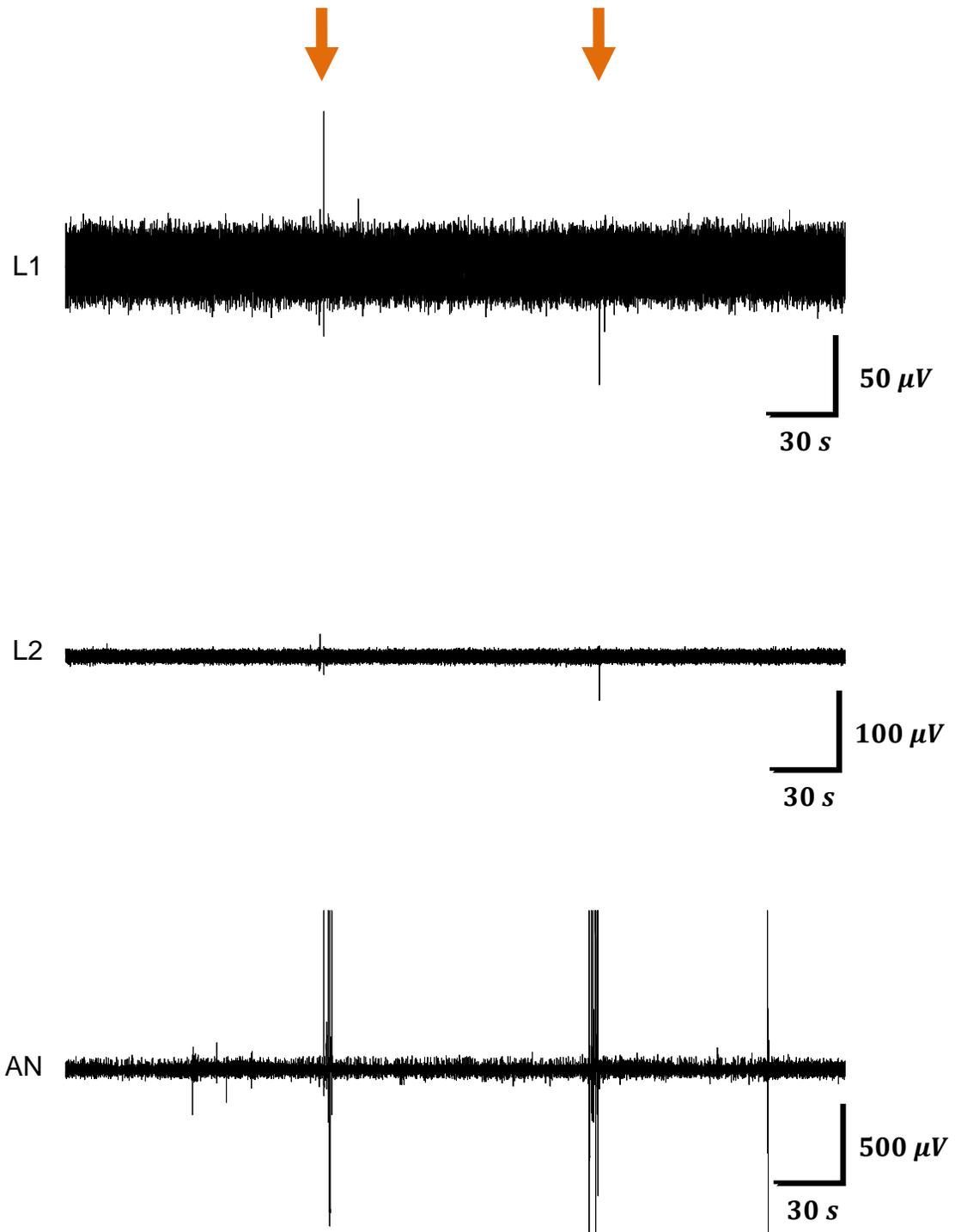


Figura 9.5. Registros electrofisiológicos del cerebro (lóbulo olfatorio L1 y L2) y de la anténula (AN) del acocil en condiciones de privación de sueño. Cada flecha indica el momento en que se aplicaron los estímulos (comida).

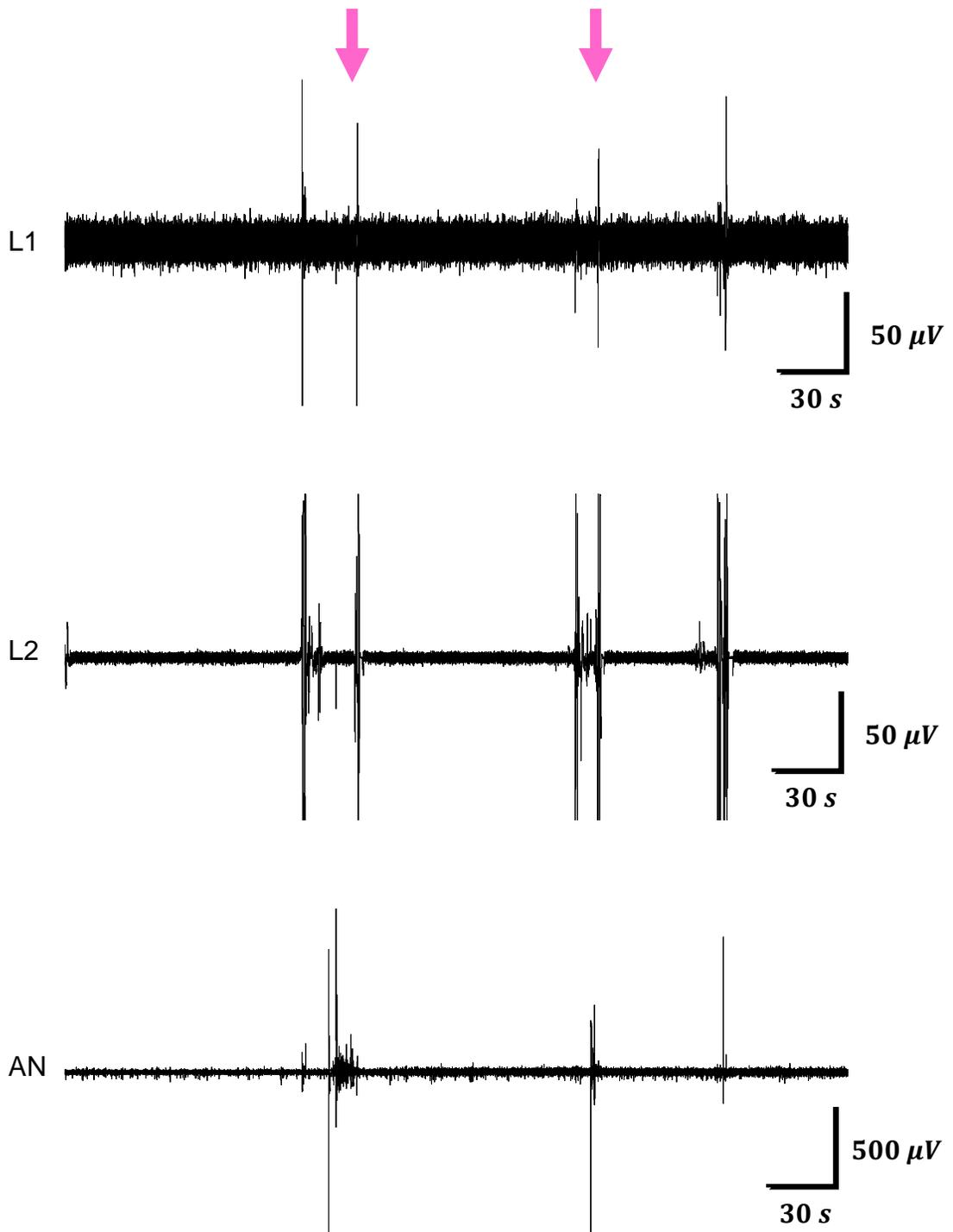


Figura 9.6. Registros electrofisiológicos del cerebro (lóbulo olfatorio L1 y L2) y de la anténula (AN) del acocil en condiciones de privación de sueño. Cada flecha indica el momento en que se aplicaron los estímulos (orina).

Anexo 3: Programas en Matlab

Se utilizaron varios programas para obtener la representación gráfica de los registros electrofisiológico, obtener el segmento a analizar, los espectrogramas y el análisis con transformada wavelet. Sólo se presentaran algunas de las funciones.

Registros electrofisiológicos

%Las señales electrofisiológicas fueron guardadas en matrices.

```
clc; clear all; close all;
```

%Registros en condiciones control y de privación de sueño, estímulos (agua, comida y orina)

```
x1='nombre de la matriz (estímulo).signals.values(:,1);
```

```
x2='nombre de la matriz (estímulo).signals.values(:,2);
```

```
x3='nombre de la matriz (estímulo).signals.values(:,3);
```

```
figure; plot(x1); figure; plot(x2); figure; plot(x2);
```

%Selección de los intervalos de muestras en el tiempo, en cuales la aplicación del estímulo debe visualizarse la mitad del registro, un segundo antes y un segundo después del estímulo.

```
ap1=x1(400020:404020);
```

```
ap2=x2(400020:404020);
```

```
ap3=x3(400020:404020);
```

```
figure; plot(ap1); figure; plot(ap2); figure; plot(ap3);
```

%Aplicación de la función specgram.

```
figure; specgram(ap1); figure; specgram(ap2); figure; specgram(ap3)
```

%Aplicación de la Transformada Wavelet

```
w1=wavelets3(ap1,2000); mesh(w1); figure (1);
```

```
w2=wavelets3(ap2,2000); mesh(w2); figure (2);
```

```
w3=wavelets3(ap3,2000); mesh(w3); figure (3);
```

%Se utilizó un filtro notch, para eliminar el ruido de 60 Hz.

```
fs = 2000;      % frecuencia de muestreo
```

```
f0 = 60;       % frecuencia de corte
```

```
fn = fs/2;     % frecuencia de Nyquist
```

```
freqRatio = f0/fn; % relacion Fc y FN
```

```
notchWidth = 0.1; %ventana notch
```

```
% zeros
```

```
zeros = [exp( sqrt(-1)*pi*freqRatio ), exp( -sqrt(-1)*pi*freqRatio )];
```

```
%# polos
```

```
poles = (1-notchWidth) * zeros;
```

```
figure; zplane(zeros.', poles.);
```

```
b = poly( zeros ); % mueve el promedio de los coeficientes del filtro
```

```
a = poly( poles ); % auto-regresión de los coeficientes del filtro
```

```
figure; freqz(b,a,32000,fs)
```

```
y = filter(b,a,ap1); % filtra la señal deseada
```

```

% Contador de espigas
contador = 0; q=ap1; %Inicializando
for n = 1:length(q)
    if q(n) >= 0.2 % umbral seleccionado
        q(n) = 1;
    else q(n) = 0;
    end
end
% Comienza a contar
for n = 1:1950 % escanear al vector
    if q(n) == q(n+1) % compara
    else contador = contador +1;
        % cuando dos números no son iguales, la transición marca un 1 en el contador
    end
end
numero_de_espigas1 =contador/2 % se divide entre dos porque hace dos
transiciones en cada franja, cuando entra y cuando sale

%Empieza otro contador
for n = 2051:4000 % escanear al vector
    if q(n) == q(n+1) % compara
    else contador = contador +1;
    end
end
numero_de_espigas2 =contador/2

```



Patrones de Sueño y Organización Jerárquica en *Procambarus Clarkii*

Salazar Vásquez Julio César (Estudiante de licenciatura)¹, Mendoza-Ángeles Karina¹, Roldán Roldán Gabriel² y Hernández-Falcón Jesús².

¹División de Ingeniería Eléctrica, Facultad de Ingeniería, UNAM

²Departamento de Fisiología, Facultad de Medicina, UNAM

El resultado de un encuentro agonista es el establecimiento de una relación jerárquica de dominancia-sumisión que determina el acceso a recursos. Después de algunas interacciones, una triada de acociles, establece una jerarquía social con un animal dominante y dos sumisos (Sumiso 1 y Sumiso 2). Si los encuentros se efectúan diariamente, la intensidad de los contactos positivos (amenazas, ataques y luchas) disminuye mientras que los contactos negativos (huidas y evitaciones) incrementan. En el acocil, la información olfatoria es fundamental para el establecimiento de la jerarquía social.

El objetivo de este trabajo fue analizar el efecto de la privación de sueño en el establecimiento de la organización jerárquica en triadas de acociles y su efecto en el umbral a estímulos olfatorios.

Usando machos *Procambarus clarkii* en intermuda estudiamos: a) El patrón de sueño de los individuos aislados y después de colocarlos en interacción social. b) Interacciones agonistas en animales control y privados de sueño y c) La respuesta conductual a estímulos olfatorios en condiciones control y de privación de sueño.

Nuestros resultados indican que:

a) El patrón de sueño de los animales aislados es altamente variable y depende del individuo estudiado. Cuando son colocados en interacción social, el patrón de sueño de todos los individuos sufre una fragmentación y se reduce el tiempo total de sueño.

b) Los contactos positivos incrementan en intensidad, cantidad y duración en las triadas privadas de sueño. Sin embargo, los contactos negativos también incrementan por lo cual no es claro el efecto de la privación de sueño en la consolidación de la memoria de reconocimiento jerárquico.

c) La estimulación olfatoria de los acociles sumisos usando la orina del animal dominante produce un reflejo de escape. La latencia de esta respuesta es mayor en acociles privados de sueño, con valores más grandes para el acocil sumiso 2.



México, D.F., a 18 de julio de 2015.

DRA. MARCIA HIRIART URDANIVIA
PRESIDENTE

DR. MIGUEL ÁNGEL MORALES
MENDOZA
VICEPRESIDENTE

DR. DANIEL ORTUÑO SAHAGÚN
SECRETARIO

DR. BENJAMÍN FLORÁN GARDUÑO
TESORERO

Julio Cesar Salazar Vásquez
Facultad de Ingeniería, UNAM

Estimado (a) Congresista:

Le informamos que el trabajo titulado:
“*Efecto de la Privación de Sueño en la Respuesta a Estímulos Olfatorios en Acociles*”, cuyos co-autores son:
Julio César Salazar-Vásquez, Karina Mendoza-Angeles, Gabriel Roldán y Jesús Hernández-Falcón

Ha sido ACEPTADO para ser presentado durante el LVIII Congreso Nacional de Ciencias Fisiológicas, que se celebrará del 6 al 9 de septiembre próximo en la ciudad de San Miguel de Allende, Guanajuato, en la modalidad de Cartel. El programa final podrán consultarlo próximamente en: <http://www.smcf.org.mx/>

Reciba de antemano nuestro reconocimiento por su valiosa participación, además de un cordial saludo.

Atentamente,
Por el Comité Organizador

Marcia Hiriart U.

Dra. Marcia Hiriart Urdanivia
Presidente



Neuroscience
2015

[Print this Page for Your Records](#)

[Close Window](#)

Control/Tracking Number: 2015-S-13666-SfN

Activity: Scientific Abstract

Current Date/Time: 5/7/2015 11:22:19 AM

Effect of sleep deprivation on crayfish olfactory thresholds

AUTHOR BLOCK: J. SALAZAR-VÁSQUEZ¹, K. MENDOZA-ANGELES¹, G. ROLDAN¹, *J. HERNANDEZ-FALCON²;

¹Univ. Nacional Autónoma de México, México, Mexico; ²Univ. Natl. Autónoma Mexico, Mexico, Mexico

Abstract:

Under laboratory conditions, agonistic interactions in crayfish triads result in the formation of a hierarchy with a dominant animal, a submissive 1, and a submissive 2 animals. When agonistic interactions are carried out on a daily basis, the number and the intensity of these interactions are modified in such a way that positive contacts (threats, attacks and fights) diminish, while negative contacts (retreat and escape) increase. Previous results indicate that sleep deprivation induces an increase in the number of positive contacts.

Olfactory information is the main sensory input in the establishment and maintenance of the dominance order. It has been proposed that during agonistic interactions a putative substance is released in the urine stream that animals discharge from the nephropores to the antennular area of its opponent, thus identifying them as a dominant or a submissive animal. Hence, the changes found in positive contacts of interacting sleep deprived animals, could be explained by modifications in its olfactory sensitivity. Therefore, the first objective of this study was to analyze the electrophysiological olfactory response of submissive animals to urine from the dominant one.

Because sleep deprivation induces an increase in the intensity of agonistic encounters, a second objective of this work was to analyze the effects of sleep deprivation in the establishment and maintenance of the hierarchical organization of crayfish triads and its effects on the electrophysiological olfactory response.

We used male crayfish, *Procambarus clarkii*, in intermolt, and performed two types of experiments:

A) Agonistic interactions in control and sleep deprived triads, and

B) Analysis of the olfactory response to dominant and submissive urine, in control and sleep deprived crayfish.

Our results indicate:

(a) In sleep deprived triads positive contacts increase in intensity, amount, and duration. Negative contacts also increase, which seems to indicate a decrease in the sensitivity of animals to some kind of olfactory stimulus.

(b) Olfactory stimulation of submissive crayfish using the dominant animal urine produced an escape reflex, whose latency was higher in sleep deprived crayfish. The larger latencies were found in the submissive crayfish 2.

(c) Sleep deprivation reduced the brain and antennular electrical response to olfactory stimuli in dominant and submissive animals.

These findings implicate that crayfish seem to detect each other through the olfactory input and that sleep deprivation increases the threshold for sensory stimuli.

:

Presentation Preference (Complete): Poster Only

Linking Group (Complete): None selected

Nanosymposium Information (Complete):

Theme and Topic (Complete): F.02.r. Learning and memory; Invertebrates ; D.01.d. Olfaction: Behavior, perception, and its relation to neurophysiology

Keyword (Complete): AGGRESSION ; SIGNALING ; RECOGNITION

Support (Complete):

Support: Yes

Grant/Other Support: : UNAM-DGAPA-PAPIIT-IN204014

Special Requests (Complete):

Would you be interested in being considered for a dynamic poster?: No, I am not interested in presenting a Dynamic Poster

Is the submitting author of this abstract also a senior author?: No

Is the first (presenting) author of this abstract a high school or undergraduate student?: Undergrad

Religious Conflict?: Saturday PM

Additional Conflict?: No

Status: Finalized

[Oasis Helpdesk](#)

[Leave OASIS Feedback](#)

Powered by [OASIS](#), The Online Abstract Submission and Invitation System SM

© 1996 - 2015 [Coe-Truman Technologies, Inc.](#) All rights reserved.