



---

---

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**“RELACIÓN DEL CONSUMO DE PROTEÍNA ANIMAL CON LA  
POTENCIA ABSOLUTA EN LA ACTIVIDAD DE BASE EN NIÑOS Y  
NIÑAS DE 6 A 10 AÑOS DE COMUNIDADES ME’PHAA”**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**LICENCIADA EN PSICOLOGÍA**

**P R E S E N T A:**

**ROSA MARÍA DE LA FUENTE RODRÍGUEZ**

**DIRECTORA: DRA. OLGA ARACELI ROJAS RAMOS**

**REVISOR: DR. ISAAC GONZÁLEZ SANTOYO**

  
VoBo para solicitar sínodo



**FACULTAD DE PSICOLOGÍA**



CD. MX., 2022



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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



## AGRADECIMIENTOS

Por los niños y niñas que necesitan ver nuevas posibilidades, por los grupos vulnerados y las causas justas, porque cualquier espacio y momento que me ocupe dedicaré mi voluntad y servicio.

A mi mamá, Gaby, por darme TODO. La palabra “gracias” se me queda cortita. A pesar de que soy ligeramente odiosa, me impulsas, aceptas y amas, porque jamás me has etiquetado en absolutamente nada y me has permitido explorar cada error y acierto abrazadas. Gracias por dejarme soñar (aunque me dé miedo) y recordarme siempre que me siento perdida que mi mayor objetivo en la vida debe ser: *“solo ser feliz”*. Lo sigo intentando, mami. Espero que la vida siempre me permita regresarte todo el amor que me brindas. Cada cosa que hago siempre tiene destellos de ti. Te amo.

A mi compañera de laboratorio y afortunadamente mejor amiga, Ari, por ser y estar y estar y estar y estar. Mi vida y proyectos son mucho más llevaderos y fáciles por tu compañía. Espero siempre serte recíproca.

A Santiago, porque me enseñaste que el amor generoso no se acaba, se transforma, y hoy, a partir de la amistad más honesta que conozco, nos hemos acompañado a “evolucionar”-jaja-, crecer y admirar el mundo con ojos críticos y criticones. Te admiro y valoro profundamente.

A mi madrina, por recordarme que lo puedo todo siempre, por ser mi segundo gran apoyo y pilar para mostrarme luz cuando las cosas se ponen oscuras.

A mi prima Karla por ser mi inspiración para crear un mundo inclusivo.

A la Dra. Olga por su comprensión y empatía, por todas las charlas enfrentándome a un pizarrón en blanco, por resolver mis dudas y llenarme de muchas más para siempre nutrir mi curiosidad, y

agradecida con la casualidad de encontrarnos un día en el bonito centro de Tlalpan para recordarme mi camino.

Agradezco al Dr. Isaac por su confianza y la oportunidad de subir y bajar de una montaña, porque le aprendí de su habilidad de frenar, derrapar y avanzar en la terracería, en la vida y también en la academia.

A Pablo Edgar, porque sí, porque escribir lo que sea me provoca un impulso de siempre darte un párrafo. Por ser mi compañero, por crear espacios y aventarte a esta experiencia de amarnos.

Agradezco que me inspiras a ser mejor siempre, ser más precavida, no aflojarle y a ver pa' otros lados. Jaja y agradezco las muchas veces que has intentado entender esta tesis.

A la comunidad Me'phaa, por los elotitos, los caldos de gallito, prender fogatas, los petates, los espacios, las puertas abiertas y por resistir...

## ÍNDICE

I. RESUMEN .....	5
II. TABLA DE ABREVIATURAS.....	6
III. INTRODUCCIÓN.....	8
IV. ANTECEDENTES.....	11
V. JUSTIFICACIÓN.....	31
VI. OBJETIVOS .....	33
VII. HIPÓTESIS Y PREDICCIONES .....	33
VIII. PARTICIPANTES.....	34
IX. MÉTODOS.....	35
X. PROCEDIMIENTO:.....	36
XI. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS.....	43
XII. RESULTADOS .....	45
XIII. DISCUSIÓN .....	55
XIV. CONCLUSIONES .....	62
XV. REFERENCIAS.....	65
XVI. ANEXOS.....	75

## I. RESUMEN

El desarrollo saludable del cerebro requiere contar con una fuente de nutrientes constante y suficiente; la baja disponibilidad de este recurso en un periodo sensible del neurodesarrollo puede tener efectos en la organización de la comunicación cerebral, y esto a su vez, eleva el riesgo de alteraciones cognitivas. La proteína es el componente estructural básico de las células y tiene un papel crucial en la regulación del desarrollo neural, siendo su mejor fuente de consumo la de origen animal debido a que se asocia con una mayor síntesis neta de proteínas. En México, problemáticas sociales y económicas imponen condiciones de marginación y desigualdad a diferentes comunidades indígenas generando, entre otras cosas, entornos con restricción al acceso a los alimentos, particularmente aquellos de alto aporte de proteína animal de calidad.

El objetivo de este proyecto de tesis fue analizar la asociación entre el consumo de proteína animal (CPA) y la potencia absoluta (PA) de las cuatro bandas anchas clásicas de oscilación eléctrica cerebral: alfa (8 a 14 Hz), beta (14 a 30 Hz), delta (0.5 a 4 Hz) y theta (4 a 8 Hz) de la actividad de base durante un registro electroencefalográfico con ojos abiertos (OA) y ojos cerrados (OC) de niñas y niños de 6 a 10 años de la comunidad indígena Me'Phaa de la región de "La Montaña Alta" del estado de Guerrero, México. La muestra constó de 31 niños y niñas. Los resultados mostraron asociaciones entre el consumo de proteína animal y la potencia absoluta únicamente para la banda theta: observamos una relación negativa con las diferencias medias de PA de ambos hemisferios cerebrales en OA y una relación positiva con la PA de la región anterior en las dos condiciones evaluadas. Estos resultados confirman una influencia del consumo de proteína animal sobre la comunicación eléctrica basal en niños y niñas.

Palabras clave: EEG cuantitativo, neurodesarrollo, proteína animal, actividad de base.

## II. TABLA DE ABREVIATURAS

Abreviatura	Significado
CPA	Consumo de Proteína Animal
D	Hemisferio Derecho
I	Hemisferio Izquierdo
IC	Intervalo de Confianza
k $\Omega$	Kilo ohms
LI	Límite inferior
LS	Límite superior
Ln	Logaritmo natural
GLMM	Modelo lineal generalizado mixto
OA	Condición de Ojos Abiertos
OC	Condición de Ojos Cerrados
PA	Potencia Absoluta
qEEG	Electroencefalograma Cuantitativo
RDA	Requerimiento Promedio Estimado
ROIs	Regiones de Interés
$\beta$	Valor de la pendiente

## **Tierra.**

La honda tierra es  
La suma de los muertos.  
Carne unánime  
De las generaciones consumidas.

Pisamos huesos,  
Sangre seca, restos,  
Invisibles heridas.

El polvo  
Que nos mancha la cara  
Es el vestigio  
De un incesante crimen.

**José Emilio Pacheco, 1968.**

### III. INTRODUCCIÓN.

En la actualidad sabemos que los nutrientes además de brindar energía cumplen con múltiples funciones estructurales y en la señalización celular en el organismo. Específicamente, la proteína tiene una importante función en la regulación del desarrollo neural ya que promueve un mayor número de neuronas, síntesis de neurotransmisores y se ha relacionado con el aumento en la complejidad de la organización cerebral (Georgieff, 2007). Además, el efecto de la presencia suficiente, excesiva o escasa de los nutrientes dependerá también del periodo de desarrollo en el que se encuentre el organismo (Burggren & Mueller, 2015), por ejemplo, entre los 6 y los 10 años se abre un periodo sensible del neurodesarrollo, en el cual ocurre el momento más crítico de los procesos de refinamiento sináptico y mielinización, acompañados de una fase estacionaria en el número de células derivada de la poda sináptica (Tau & Peterson, 2010).

De esta manera, la escasez o falta de acceso a proteínas en esta etapa del desarrollo cerebral puede ocasionar modificaciones en la organización del sistema dada la vulnerabilidad de la conectividad neural, implicando a su vez un riesgo para el surgimiento de patologías neurológicas en edades posteriores (Prado & Dewey, 2014). Como consecuencia, los efectos de la baja disponibilidad de proteína en este periodo sensible se pueden reflejar en alteraciones en el desempeño cognitivo y los patrones electrofisiológicos anormales para la edad (Engel, 1956; Kuklina et al., 2006; Resnick et al., 1979).

Conocemos dos fuentes de obtención externa de la proteína: la vegetal y la animal; no obstante, se ha demostrado que el consumo de aquellas de origen animal se relaciona con una síntesis neta de proteína significativamente mayor (Pannemans et al., 1998). Asimismo, tienen una mayor absorción y un perfil de aminoácidos esenciales completo, lo cual las vuelve un recurso de suma importancia para el desarrollo (Hoffman & Falvo, 2004).

Si bien la función de la proteína animal en el desarrollo está ampliamente estudiada, se sabe poco acerca de su papel en la organización y actividad cerebral y gran parte de los protocolos de investigación se han diseñado primordialmente en murinos o en poblaciones humanas urbanizadas con presiones ecológicas particulares que pudieran enmascarar el impacto del acceso a la proteína animal en estos procesos cerebrales, tales como la ingesta de medicamentos, suplementos alimenticios, etc. Estudiar la relación entre el consumo de proteína animal y el funcionamiento eléctrico cerebral en poblaciones cuyo ecosistema representa una limitación de acceso a varios recursos y permite homogeneizar la presencia de otras condiciones ecológicas, se vuelve una oportunidad casi única para comprender esta relación.

En nuestro país, la región de la Montaña de Guerrero, es una de las zonas catalogada como de más alta marginación, específicamente la población indígena Me'phaa' ha sido caracterizada como comunidades con una dieta homogénea y poco variada (Barragán, 2007) y hablan idioma Me'phaa (tlapaneco) con muy poco o ningún uso del castellano. El acceso que nos dieron los pobladores para trabajar con las comunidades, nos brindó la oportunidad de analizar el efecto de las variaciones entre individuos del consumo del recurso limitado -la proteína de origen animal-, lo que nos permitió poner en práctica los conocimientos derivados de la Neurociencia y al servicio de la propia comunidad, aportando a la comprensión de la relación entre el acceso a los nutrientes y el funcionamiento cerebral, ya que, la presente investigación analizó la asociación entre el consumo de proteína animal y la actividad eléctrica cerebral de base en poblaciones aisladas no occidentalizadas con restricción de alimentos de origen animal. Para esto, implementamos un análisis cuantitativo de la actividad eléctrica cerebral registrada mediante electroencefalografía de superficie (qEEG).

En particular, se evaluó la Potencia Absoluta (PA), en la actividad eléctrica cerebral en estado de reposo, en función de la frecuencia de los ritmos cerebrales agrupados en bandas anchas tradicionales, ya que este parámetro es uno de los índices con significado funcional, asociado con el procesamiento de la información, la maduración del cerebro y algunas funciones cognitivas (Otero et al., 2003). Por otro lado, la actividad eléctrica en estado de reposo o actividad de base, nos brinda información acerca del ensamblaje fisiológico básico con el que cuenta el individuo para adaptarse a estímulos extrínsecos o intrínsecos (Deco et al., 2013). Además, evita el efecto de factores socioculturales que pudieran confundir los resultados obtenidos si la actividad se hubiera asociado a una tarea o prueba cognitiva, principalmente porque las comunidades registradas no hablan castellano.

#### **IV. ANTECEDENTES**

##### **Neurodesarrollo y adaptación.**

El ambiente en el que viven los organismos genera una serie de problemas o retos a resolver para crecer y reproducirse; su supervivencia requiere contar con estructuras, funciones, mecanismos y herramientas conductuales, esto implica que los individuos estén biológicamente adaptados con sistemas o procesos fisiológicos que protejan de daño, mantengan la homeostasis y generen menores costos energéticos para hacer frente a los retos ambientales con los que interactúan de manera constante (Geist, 2011); aquellas características que permiten al individuo poder predecir dichos retos, y solucionarlos se denominan adaptaciones y a los retos que impone el ambiente a los organismos, presiones ecológicas (Boege et al., 2011). La adaptación resulta de un proceso evolutivo que permite acumular las variaciones genéticas y fenotípicas más favorables en una población a través de largos períodos de tiempo, esas variaciones permiten que el individuo lleve a cabo funciones específicas en un ambiente predecible para maximizar su supervivencia y reproducción, conocido como adecuación (Boege et al., 2011). Así pues, la evolución de una misma especie puede expresarse en una amplia variedad de características fenotípicas y estrategias para afrontar un mismo reto ambiental (Cox, 2008), la conducta y el funcionamiento cerebral que la sustenta pueden interpretarse bajo este marco teórico como estrategias y fenotipos que se explican por estas presiones ecológicas.

Estas funciones y estrategias permiten que los individuos de la especie humana asignemos la energía o recursos del medio ambiente (presupuesto) a tres compromisos adaptativos: mantenimiento somático, crecimiento y reproducción, en este orden. Por supuesto, la asignación del presupuesto variará dependiendo del momento de desarrollo en el que nos encontremos dentro de nuestro ciclo de vida (Kaplan, 2000). De esta forma, el neurodesarrollo en

las primeras etapas de vida es un proceso prioritario que se verá impactado por cualquier evento crítico que afecta la asignación ya que, desde este punto de vista evolutivo, la función adaptativa del cerebro es la de la predicción (Bullmore & Sporns, 2012) . Por ende, un buen funcionamiento de este sistema, promovido por una correcta asignación de recursos a su desarrollo, permitirá al individuo una mejor aproximación a los retos ambientales que este enfrentará a lo largo de su vida.

El proceso de neurodesarrollo es complejo y dinámico, involucra eventos genéticos, ambientales, bioquímicos y físicos cuya coordinación es fundamental para la estructura y funcionalidad del cerebro humano y de otras especies. La evidencia científica indica que en nuestra especie el desarrollo del tejido cerebral es energéticamente más costoso que el de otros tejidos somáticos, pues se ha estimado que el cerebro del recién nacido consume el 87% de los nutrientes y utiliza glucosa en una tasa equivalente al 66% del metabolismo en reposo (Holliday, 1986). Asimismo, se estima que el 60% del consumo de oxígeno corporal total del neonato humano se produce en el cerebro, cifra que se compara con el 20% en el humano adulto, por lo que este tejido en el humano tiene el metabolismo energético más alto que el de cualquier otro mamífero en cualquier momento de la vida (Kuzawa et al., 2014). Este enorme consumo de energía es un indicador de las altas demandas de rápido crecimiento y desarrollo neuronal y glial en nuestra especie en esta etapa de la vida. Además, es importante recalcar que estos altos costos metabólicos cerebrales solamente pueden ser satisfechos de dos maneras: aumentando la ingesta o cambiando las asignaciones de energía consumida y almacenada, con el consecuente costo biológico (Kuzawa et al., 2014). De esta manera, en ausencia de recursos nutricionales, varios procesos fisiológicos se podrían ver afectados, por ejemplo, el crecimiento somático, el tamaño del cerebro y, por supuesto, el neurodesarrollo.

Si bien, ya se ha descrito una caracterización general de las asignaciones de los recursos nutricionales y de la mortalidad en la especie humana, estas pueden variar ampliamente dependiendo del entorno y el momento de desarrollo (Stearns, 1972). De hecho, el periodo de crecimiento extendido y la maduración tardía de la especie humana se han propuesto como factores muy importantes que mantienen a los individuos bajo una amplia diversidad de presiones selectivas, en un ambiente variable y poco predecible impuesto por las condiciones sociales complejas del entorno. En tales contextos, las especializaciones cognitivas y los sistemas cerebrales que las hacen posibles son adaptaciones altamente plásticas, pero también costosas, de la especie. Tales adaptaciones están continuamente a prueba en sus condiciones ecológicas particulares (Kuzawa et al., 2014). Bullmore y Sporns (2012), hipotetizan que la organización del cerebro humano está mediada por compensaciones que minimizan los costos de su mantenimiento al promover patrones adaptativos de conectividad específicos entre múltiples poblaciones neuronales. Dado que este cableado se va modificando a diferente escala de tiempo, larga (década) y corta (milisegundos), los costos también varían a medida que las redes cerebrales se transforman posibilitando responder a las demandas cognitivas y ambientales, pero las adaptaciones cerebrales siempre son altamente costosas en términos de energía (Bullmore & Sporns, 2012; Stearns, 1972).

Así pues, el delicado balance de factores genéticos y ambientales en los periodos prenatal y posnatal es definitorio para que el cerebro responda a la estimulación cerebral positiva o negativa, impactando su estructura y función. Se sabe que existen temporalidades específicas, a las cuales se les conoce como periodos sensibles, en las que el sistema es particularmente vulnerable a los factores internos y externos que definirán las trayectorias para la expresión en el fenotipo de los individuos (Borre et al., 2014). Durante estos periodos sensibles se pone a prueba

la capacidad evolutiva de los organismos para modificar su fenotipo a corto plazo pero permanentemente (Burggren & Mueller, 2015).

Por supuesto que los sistemas neurales tienen distintos períodos sensibles, sin embargo, es posible afirmar que cuando la tasa metabólica es alta en el desarrollo, hay un incremento en la vulnerabilidad del periodo (Burggren & Mueller, 2015). Esto se ha comprobado a través de estudios longitudinales que emplean Tomografía por Emisión de Positrones (PET) durante el desarrollo, los cuales han reportado que en el primer año de vida los niños alcanzan un patrón metabólico de glucosa cerebral similar al de los adultos (Kuzawa et al., 2014), pero este gasto metabólico aumenta el doble entre los 5 y hasta los 10 años, lo cual se explica por el costo que impone la mielinización y el refinamiento sináptico en el cerebro infantil (Gogtay et al., 2004).

Durante la mielinización los axones neuronales se recubren con mielina, aumentando la cantidad de sustancia blanca y, por ende, la velocidad y eficacia de la transmisión de la información por la propagación de los potenciales de acción. Por su parte, el refinamiento sináptico engloba un conjunto de mecanismos que regulan la potenciación o el debilitamiento de la actividad de las conexiones neuronales (Borre et al., 2014). Los dos procesos en conjunto moldean la conectividad tanto de las redes locales como de aquellas de largo alcance, con lo que se mejoran la eficiencia y fidelidad de la transmisión de la señal eléctrica. Ambos procesos comienzan desde la gestación, pero comparten un periodo sensible a partir de los 6 años y alcanzan su punto máximo a los 10, caracterizando a este periodo temporal como una etapa estacionaria en el número y densidad de las sinapsis en consecuencia de la segunda poda neural y antes de la cascada hormonal de la pubertad (Tau & Peterson, 2010).

Como se mencionó con anterioridad, los efectos del refinamiento sináptico y la mielinización se han asociado con un patrón de aumento de la materia blanca y disminución de materia gris que

indica maduración de las trayectorias corticales, la cual ocurre primero en las áreas sensoriomotoras, seguido de áreas de asociación y, por último, en áreas corticales de orden superior, como corteza prefrontal y corteza parietal posterior (Gogtay et al., 2004). Estos cambios se asocian con la maduración de los hitos del desarrollo: como la atención, la memoria de trabajo, el control cognitivo y la inhibición de la respuesta (Tau & Peterson, 2010).

Ahora bien, como la vulnerabilidad de las regiones cerebrales está asociada en gran medida a sus tasas metabólicas relativas, el desarrollo de las mismas requiere de una fuente constante de energía y la disponibilidad de recursos nutricionales de calidad será una de las presiones ecológicas que impacte el fenotipo cerebral de manera importante, puesto que las necesidades energéticas del cerebro no pueden reducirse temporalmente como lo hacen en otros órganos durante el desarrollo (Demas & Nelson, 2012).

### **La importancia de las proteínas durante el neurodesarrollo.**

La fuente de energía de los animales son los macronutrientes -carbohidratos, lípidos y proteínas- pero cada uno de ellos en particular cumple con otras funciones importantes. La baja disponibilidad de cualquiera de estos macronutrientes puede asociarse con alteraciones en el desarrollo del cerebro que varían de profundas a sutiles y de globales a altamente específicas. Durante décadas, la investigación en el campo ha demostrado consistentemente que la falta de proteínas en la alimentación tiene un impacto mayor y que este puede resultar en afectaciones estructurales y funcionales del cerebro (Bourre, 2006; Johnson et al., 2016), lo cual podría explicarse porque las proteínas son el componente básico de la arquitectura neuronal, así como de los neurotransmisores y factores de crecimiento (Georgieff, 2007). Las proteínas son cadenas de aminoácidos unidos por enlaces de nitrógeno, que conforman el mayor componente estructural y funcional durante el desarrollo del cerebro debido a su papel como enzimas,

anticuerpos, citocinas, hormonas, proteínas transportadoras, entre otras (Resnick et al., 1979). Al mismo tiempo, constituyen la segunda fuente y reserva de energía del organismo; cuando los depósitos de glucógeno se han consumido por el ayuno, los aminoácidos pueden convertirse en glucosa y, de esta manera, asegurar la disponibilidad energética. Esto no es lo más recomendable en términos fisiológicos y de salud, puesto que los depósitos de proteínas deben conservarse para otras numerosas funciones vitales; ya que cuando la energía no es suficiente para mantener al organismo, las proteínas sacrifican varias de sus competencias poniendo en riesgo el funcionamiento saludable (Hoffman & Falvo, 2004).

Existen dos fuentes de proteína: animal y vegetal. La proteína animal posee un valor biológico más alto y de mayor calidad que la vegetal, debido a que contiene todos o casi todos los aminoácidos esenciales, lo que facilita su absorción hasta el 98 y 99% (Hoffman & Falvo, 2004). Además, se ha demostrado que las dietas ricas en proteína animales se asocian con una síntesis neta de proteínas mayor que una dieta rica en proteínas vegetales (Pannemans et al., 1998). Esto es de suma relevancia porque la disponibilidad de aminoácidos extra e intracelulares es crítica para la regulación del desarrollo neuronal.

En cuanto al papel de las proteínas en el cerebro, se tiene información de su importancia en la extensión y retracción de neuritas, así como en la polimerización de la actina, contribuyendo con la complejidad estructural de las células gliales y neuronales (Resnick et al., 1979). Además, son importantes para la síntesis de neurotransmisores y sus receptores, pues se ha descrito que el bajo consumo de proteínas afecta la síntesis de glutamato, GABA, acetilcolina y monoaminas. También son el bloque de construcción básico de las células y su disponibilidad impacta directamente en el número de neuronas y complejidad de la organización cerebral, por lo

que la ausencia de proteínas se refleja tanto en el peso como en el volumen total del cerebro (Georgieff, 2007).

Adicionalmente, existe evidencia sobre los efectos negativos del bajo consumo de proteína en el comportamiento, morfología y función del cerebro en modelos murinos y en niños y niñas, que describen alteraciones en el hipocampo y déficits en el aprendizaje y la memoria (Alamy & Bengelloun, 2012; Heys et al., 2010). Conductualmente, el bajo consumo de proteínas se ha asociado con mayor presencia de conductas impulsivas y comportamiento ansioso, cuyos efectos pueden estar mediados por alteraciones en los sistemas GABAérgicos, noradrenérgicos y serotoninérgicos (Alamy & Bengelloun, 2012).

Puesto que el consumo de proteína puede afectar el desarrollo y funciones cerebrales y ya que las necesidades de los organismos difieren dependiendo de los periodos sensibles de desarrollo en los que se encuentren, se han realizado estudios en los diferentes estadios de la historia de vida humana. Entre sus resultados se encontró que si bien los bebés con una mayor ingesta de proteínas animales se benefician en su crecimiento y desarrollo motor, esto no se relacionó con su funcionamiento cognitivo (Kuklina et al., 2006). Sin embargo, otro estudio observó que el efecto del consumo de proteico sobre las funciones cognitivas se expresa en edades posteriores. Este estudio longitudinal con suplementación de proteína en niños y niñas menores de 8 años, mostró que los efectos se presentaron hasta la adolescencia, cuando la muestra con suplementación puntuó mejor en pruebas cognitivas en comparación con un grupo control (Fernández, 2010). Con el objetivo de estudiar los efectos a largo plazo del consumo de proteína durante el periodo sensible de desarrollo de los 6 a los 10 años, Heys y cols. (2010) realizaron un estudio epidemiológico de gran envergadura al registrar la frecuencia de ingesta de proteína animal durante la infancia de 18,436 adultos, mediante un cuestionario de frecuencia de

consumo de alimentos y su relación con la memoria verbal. Se encontró una relación positiva entre el consumo de proteína animal y el desempeño en una prueba de memoria verbal después de ajustar posibles factores de confusión, tales como edad, sexo, educación, nivel socioeconómico en la niñez y en la adultez, nivel educativo y actividad física.

En consecuencia, los estudios reportados permiten sugerir que hay una relación funcional entre el consumo de proteína animal y la cognición, probablemente mediada por su impacto sobre el neurodesarrollo. Sin embargo, se torna importante analizar cómo es que el consumo de este macronutriente se expresa en el funcionamiento cerebral con técnicas sensibles, que además permitan evitar efectos culturales y sociodemográficos confusores.

#### **La actividad eléctrica cerebral en reposo: ventana de la arquitectura cerebral.**

El mecanismo fundamental de la actividad coordinada del cerebro son las oscilaciones neuronales (Buzsáki, 2007), las cuales pueden ser descritas como fluctuaciones rítmicas cuya característica importante es su periodicidad y la organización de sus dinámicas temporales en ciclos (Thut et al., 2012); se han relacionado con el control cíclico de excitabilidad del cerebro, pero su significado para el procesamiento de información va más allá de eso: juegan un papel crucial en la auto-organización de la actividad de las redes neuronales en desarrollo y contribuyen a procesar la comunicación en el cerebro mamífero, creando una estructura flexible en el dominio del tiempo a múltiples escalas y mediante la cual se acoplan temporalmente las fases de alta excitabilidad entre las poblaciones neuronales sobre la que se procesa toda la información del medio (Buzsáki et al., 2012; Uhlhaas et al., 2010).

Las influencias para el acoplamiento temporal de las oscilaciones entre grupos neuronales pueden provenir de estímulos externos o influencias internas de un sistema auto-organizado. Las oscilaciones no sólo responden a eventos sensoriales o conductuales, sino también de forma

variable e impredecible a un *estado de reposo*, esto es, la medición de la actividad eléctrica cerebral sin la necesidad de estimular de alguna manera al individuo (Buzsáki, 2009). Evidencias actuales sugieren que la actividad registrada en estado de reposo se expresa coherentemente en extensas poblaciones neuronales y son funcionalmente significativas desde edades tempranas en el desarrollo (Raichle, 2015).

Hasta la fecha, se ha demostrado que las fluctuaciones espontáneas de la actividad en reposo se correlacionan temporalmente entre regiones cerebrales que están implicadas en redes asociadas a funciones específicas. A partir de esta evidencia, se han descrito alrededor de 15 redes cuya actividad es altamente coherente durante el reposo y al momento de ejecutar tareas específicas relacionadas a funciones particulares. Se ha estimado que en el humano adulto el 20% de la energía total consumida por todo el cuerpo se designa al mantenimiento de la actividad cerebral de base y que solamente hay un incremento del 1 al 5% cuando la actividad eléctrica está relacionada con el desempeño de una función, tarea o por estimulación externa específica (Fair et al., 2008). Estos datos relacionados a los costos metabólicos del cerebro y la presencia de redes de reposo pusieron el foco de atención en la importancia de analizar la actividad de base, su función y su desarrollo (Raichle, 2015). La evidencia de los estudios sobre la actividad de las redes en estado de reposo ha resultado en diversas explicaciones sobre la importancia funcional de la actividad de base, misma que:

- Permite mantener activas aquellas regiones que trabajan conjuntamente para lograr una determinada función cerebral; por lo tanto, la coincidencia o coherencia de patrones de activación en reposo entre diferentes regiones estaría asociada a una mejor comunicación entre ellas, facilitando así el procesamiento de la información y el desempeño (Herrmann et al., 2016).

- Está organizada a modo de sistema predictivo dinámico, es decir, las redes neuronales permanecen en constante comunicación en estado de reposo puesto que las regiones implicadas han sido activadas frecuentemente de manera conjunta para solucionar una determinada tarea, entonces, estas coactivaciones permanecen activas y preparadas para posibles demandas ambientales (Fries, 2015).

Bajo estos supuestos, el estudio de la actividad cerebral en reposo se vuelve fundamental, ya que representa la posibilidad de comprender cómo es que el sistema se prepara para responder a las influencias tanto externas como internas al organismo de una forma flexible, siendo esta actividad la puerta de entrada a la variedad de arquitecturas cognitivas de las que dispone el cerebro para responder al mundo externo de una manera dinámica (Deco et al., 2013).

La actividad eléctrica de base puede ser estudiada en dos condiciones de reposo las cuales se han asociado con estados diferentes de actividad cerebral: la condición de ojos cerrados, que se caracteriza por ser un estado interoceptivo del cerebro en el cual se activan áreas asociadas a la imaginación, monitoreo intrínseco del estado fisiológico y la actividad multisensorial; y en la condición de ojos abiertos, en la que se presenta el estado exteroceptivo asociado con procesos de atención, interpretación semántica perceptiva y actividad motora ocular (Marx et al., 2004). Se ha demostrado que estas dos condiciones son estados fisiológicos con distintas actividades cerebrales, principalmente en la corteza visual, motora, auditiva y en la red por defecto (*default network*) (Soroko et al., 2014).

## **Electroencefalograma en el estudio del funcionamiento cerebral.**

La electroencefalografía (EEG) es una técnica con muchas ventajas para estudiar la actividad de base en niños y niñas, y en general de cualquier cerebro humano. El EEG permite registrar la señal eléctrica sincronizada de un gran número de neuronas a través del cráneo y el cuero cabelludo y brinda una representación de cambios de voltaje (principalmente cortical) en el tiempo de la comunicación cerebral. Esta actividad es un biorritmo que refleja las corrientes iónicas producidas por los potenciales postsinápticos neuronales y es influenciada por la edad, el ambiente en que se registre y desarrollo del individuo (Constant & Sabourdin, 2012). Clásicamente, el EEG se utilizaba únicamente con fines clínicos, realizando rastreos descriptivos visuales para encontrar patrones morfológicos atípicos en las oscilaciones registradas, comúnmente buscados en epilepsia y sueño.

Los avances metodológicos y el desarrollo de nuevas herramientas matemáticas permitieron ampliar el panorama y usos de esta técnica. La aplicación de esas herramientas matemáticas aplicadas al análisis de la señal eléctrica cerebral se denomina EEG cuantitativo y permite la medición de las propiedades específicas del registro EEG al realizar una transformación de la señal eléctrica visual en parámetros numéricos de los cuales se pueden evaluar diferentes propiedades, entre ellas la potencia de la señal (Ricardo-Garcell, 2004).

Abordándolo desde la perspectiva de la actividad eléctrica y en particular aquella que proviene del cerebro, el cálculo de la potencia de la señal ofrece la posibilidad de medir la amplitud y frecuencia de las oscilaciones de un conjunto neuronal como dimensiones físicas, un indicador de la cantidad aproximada de neuronas que descargan sincrónicamente y que ha sido asociado con el desempeño del procesamiento de información cortical (Klimesch, 1999). El

análisis de potencia, como se le denomina, descompone la señal compleja y calcula la cantidad de voltaje de cada frecuencia o banda de frecuencia que compone al EEG. A partir de esto, se puede realizar el espectro de potencia, que es la representación gráfica de la potencia en función de la frecuencia. La Potencia Absoluta (PA) se obtiene del área debajo de la curva del espectro de potencia y hace referencia a la integral de todos los valores de potencia obtenidos en total, o en determinadas frecuencias medidas en Hertz (Hz). El análisis de estos resultados se puede realizar mediante la evaluación de las amplitudes en cada frecuencia o de frecuencias agrupadas en bandas (análisis de banda ancha). Las bandas clásicas se clasifican como alfa (8 a 14 Hz), beta (14 a 30 Hz), delta (0.5 a 4 Hz) y theta (4 a 8 Hz) y las mismas han sido correlacionadas con la edad y con el proceso de maduración del cerebro (Otero et al., 2003).

Mediante el análisis de PA de las bandas clásicas se han descrito cambios en la actividad de base asociados al desarrollo. Ha sido ampliamente descrito que una banda lenta siempre es reemplazada por una banda rápida como resultado del neurodesarrollo, en particular esto se ha observado mediante la sustitución progresiva de actividad theta por alfa rápida durante el desarrollo en niños y adolescentes sanos entre 6 y 17 años (Gasser et al., 1988). La banda alfa parece ser un indicador de desarrollo altamente sensible, prueba de esto son los cambios en un pico del espectro de potencia: la mayor potencia de la banda alfa dentro del registro varía dependiendo de la edad; a los 12 años se registra un pico de alfa de 10 Hz, en comparación con la edad de 7 años, cuyo pico se presenta en las frecuencias 8 y 9 Hz para alfa acompañado de pico de theta en 4.5 Hz (Harmony et al., 1988; Harmony et al., 1990). A los 10 años, se establecen ciertos patrones similares al del cerebro adulto, la actividad alfa se vuelve más rápida y los patrones lentos de la actividad delta y theta son menos evidentes o son más organizados hacia áreas posteriores (Constant & Sabourdin, 2012).

Otro indicador de maduración cerebral es la distribución topográfica de las bandas de frecuencia en dirección lateral y anteroposterior. Así, entre los 4 y los 11 años no se encuentran diferencias en la PA entre áreas homólogas, pero si el análisis se hace de manera intrahemisférica se detecta que la mayor presencia de alfa, relacionada con la maduración de las regiones cerebrales, aparece en regiones posteriores de manera previa que en regiones anteriores (Gasser et al., 1988).

El cerebro maduro se caracteriza por estar estructural y funcionalmente especializado, de modo que determinadas áreas cerebrales se encargan de procesar un tipo específico de información (Uddin et al., 2009). Las interacciones regionales cambian de un patrón predominantemente regional a uno local (anatómicamente cercano en el espacio), en niños pequeños se observa alta segregación funcional y por el proceso de maduración, se modifican a interacciones predominantes a larga distancia en niños mayores (Gogtay et al., 2004). Además, se observa primero una interacción bilateral entre hemisferios, indicando que se desarrollan de manera paralela y por último una comunicación anteroposterior que madurará hasta la edad adulta (Damoiseaux et al., 2006). También, se han documentado cambios notables entre los 6 y 17 años en la potencia total del EEG y en la PA de cada una de las bandas de frecuencia, que no sigue un patrón lineal porque varía topográficamente. En 1981, Katada et al. estudiaron los cambios de actividad en bandas de frecuencia como indicador de la maduración entre áreas cerebrales, encontrando un incremento de alfa y un decremento de theta en zonas posteriores, así como un aumento de actividad en frecuencia beta en áreas centrales (electrodos Cz y Pz) (Katada et al., 1981).

La simetría de la distribución topográfica de la potencia de las bandas de frecuencia entre ambos hemisferios cerebrales, así como la presencia anteroposterior de estas mismas bandas, son otros indicadores que se emplean para estudiar la maduración cerebral. La evidencia indica que entre los cuatro y los once años de edad, la simetría interhemisférica se mantiene, pero intrahemisféricamente se observa una distribución de los ritmos cerebrales comenzando en las regiones posteriores hacia anteriores (Gasser et al., 1988). La banda alfa es la más variable entre los hemisferios, pero también incrementa su presencia en áreas occipitales y parietales (Pz), antes que en centrales (Cz) y frontales. La banda delta sigue el mismo patrón de maduración que alfa, pero beta inicia su maduración en parietales (Pz) y continúa hacia derivaciones centrales (Cz), para finalizar en occipitales y frontales. La sincronía de estas bandas, medida por la coherencia, indica que puede haber una diferencia intrahemisférica anteroposterior, pero no entre áreas homólogas de ambos hemisferios (Harmony et al., 1988).

A los diez años ya se han establecido patrones de potencia absoluta muy semejantes a los del cerebro adulto: la banda alfa se vuelve más rápida y las frecuencias lentas son menos evidentes o se organizan en áreas posteriores (Constant & Sabourdin, 2012). También se han descrito diferencias en la conectividad funcional dependientes del sexo. Las niñas muestran mayor coherencia intrahemisférica entre zonas temporales y frontales, en comparación con los niños en quienes se observa más coherencia parieto-occipital (Harmony et al., 1990).

Resumiendo, estos hallazgos muestran que los cambios asociados al neurodesarrollo en la niñez implican el aumento en la potencia absoluta de alfa con reemplazo de la actividad theta, acompañadas de una disminución de la PA de ondas lentas (theta y delta) en regiones parieto-occipitales, mientras que la banda beta aumenta hacia la línea media (Pz y Cz).

## **La relación consumo de nutrientes y la actividad eléctrica cerebral**

Estos mismos indicadores de patrones de desarrollo de la PA y se han empleado escasamente para analizar la relación del estado de nutrición, específicamente del consumo de proteína, con la actividad eléctrica cerebral en relación con la edad durante la niñez. Por ejemplo, en una muestra de niños con el grado más alto de desnutrición por bajo consumo de proteínas, se encontró mayor potencia de frecuencias lentas (delta y theta) en comparación con lo esperado para su edad, de manera correspondiente el patrón eléctrico normal para la edad se alcanzaba cuando se recuperaban nutricionalmente (Engel, 1956). Desde los años cincuenta del siglo XX se había estudiado ya el efecto del nivel de nutrición sobre la actividad eléctrica, encontrándose evidencia de patrones, considerados “anormales” de EEG en niños con malnutrición en relación con lo esperado para la edad, estos patrones se caracterizaron por una reducción en la amplitud y frecuencia en la señal eléctrica registrada en comparación con el grupo control y, en algunos casos, también se presentaron patrones de disparo tipo epilepsia (Nelson, 1959). En otro estudio realizado varios años después, se encontró mayor presencia de ondas lentas, theta y delta en áreas frontales, parietales y temporales asociadas con un peor desempeño en una prueba de motricidad fina en niños con deficiencias nutricionales en general (Agarwal et al., 1989). Debido a la poca información referente a estas relaciones, los resultados observados entre el consumo de proteína animal y la actividad eléctrica cerebral son muy controvertidos, por ejemplo, un estudio más en niños de 8 a 13 años de poblaciones rurales caracterizadas por tener de malnutrición severa, no se hallaron efectos sobre la actividad eléctrica cerebral (Levav et al., 1995). No obstante, en modelos murinos, diez años antes se identificó que el consumo de proteína animal impactaba la arquitectura del cerebro y su funcionamiento eléctrico, al observar alteraciones en el hipocampo y mayor potencia en la banda theta en los grupos con restricción proteica (Morgane et al., 1985).

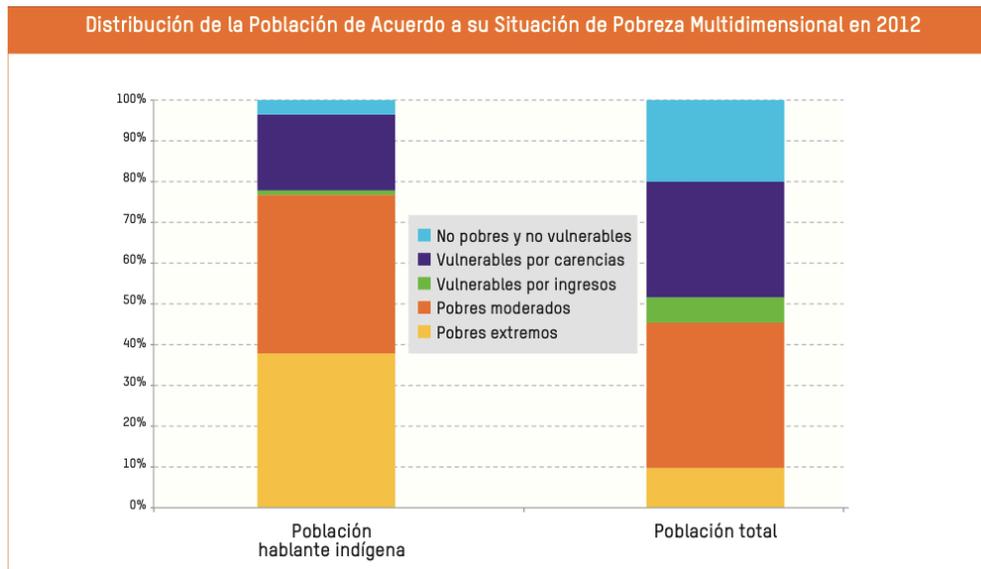
La poca evidencia existente en humanos sobre el efecto del consumo de proteínas en la actividad eléctrica cerebral en la niñez, hace necesario realizar estudios complementarios que implementen además modelos estadísticos que permitan calcular la contribución de otras variables individuales a la resultante, en su caso, potencia absoluta de las bandas anchas, así como en su distribución y sincronía, en poblaciones ecológicamente válidas, y cuyas condiciones sociodemográficas permitan asegurar que la variable nutricional, como es el acceso a proteína animal, sea la principal diferencia en la muestra.

### **Características sociodemográficas y de nutrición de la Población Me’Phaa de “la Montaña Alta” de Guerrero.**

México se caracteriza por ser un país megadiverso en diferentes ámbitos, que abarcan desde la flora y la fauna hasta cultura. Esta diversidad determina las condiciones ecológicas y los retos impuestos a las especies, incluyéndonos a los seres humanos. Un reflejo de esto a nivel poblacional es la cantidad de pueblos indígenas que habitan en nuestro territorio. De acuerdo con datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), en el país habitan 68 pueblos indígenas, cada uno hablante de una lengua originaria propia, lo que equivale a 25.7 millones de personas, es decir el 21.5% de la población se autodefine como indígena (Esquivel Hernández, 2015). Sin embargo, vergonzosamente, la riqueza cultural ha sido opacada por la desigualdad social extrema a la que la población indígena ha sido impuesta: indicadores estiman que su tasa de pobreza es cuatro veces mayor a la general y, de acuerdo con el Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL, 2018), el 69.5% de la población indígena experimenta una situación de pobreza y el 27.9% una pobreza extrema, condiciones de vulnerabilidad que se agudizan más porque el 43% de los hablantes de alguna lengua indígena no concluyeron la educación primaria (ver figura 1).

**Figura 1.**

*Distribución de la Población de acuerdo a su situación de pobreza multidimensional en 2012.*



Nota. Modificada de Esquivel Hernández, 2015.

La pobreza arrastra consigo consecuencias en distintos ámbitos vitales del desarrollo integral de la población humana, entre estos, se destaca la inseguridad alimentaria, la cual se refiere a la dificultad para adquirir alimentos debido a la insuficiencia de recursos económicos, también se puede definir como la probabilidad de una disminución drástica del acceso a los alimentos o de los niveles de consumo debido a riesgos ambientales o sociales de acceso seguro a una cantidad suficiente de alimentos inocuos y nutritivos para el desarrollo sano.

En la actualidad, el indicador de seguridad alimentaria se utiliza como el principal eje de análisis de la problemática nutricional en México. Cifras del CONEVAL estiman que, en el año 2018 el 20.1% de la población en México padecía inseguridad alimentaria. Los estados que presentaron la mayor prevalencia fueron: Tabasco (45.3%), Oaxaca (31.4%), Guerrero (27.8%), Michoacán (25.9%) y Campeche (25.6%) con una afectación mayor para la población indígena pues, en 2012 una de cada tres personas indígenas padecía inseguridad alimentaria y para el año 2016 se colocó como el grupo con el mayor nivel de inseguridad de este tipo (CONEVAL, 2018). De

manera geográfica, la población indígena ha sido desplazada en comunidades aisladas localizadas en la periferia y alejadas de los centros de población y de vías de comunicación transitables durante el año, así como de las fuentes de ingreso, lo que implica graves problemas de abasto y, por consecuencia, dificultades severas de acceso a alimentos.

Los datos mencionados nos permiten dimensionar la situación de exclusión y desigualdad en el que se encuentra el sector indígena en las poblaciones aisladas en México con respecto a su derecho a disfrutar de una alimentación nutritiva y de calidad. Además de la problemática alimentaria, existe una restricción severa en el acceso a atención médica, servicios sanitarios de calidad, lo que se puede interpretar como una vulneración al derecho a tener un nivel de vida que le asegure, así como a su familia, la salud y el bienestar, y en especial la alimentación, el vestido, la vivienda, la asistencia médica y los servicios sociales necesarios, como se dispone en el artículo 25 de los Derechos humanos de la ONU (ONU, 1948).

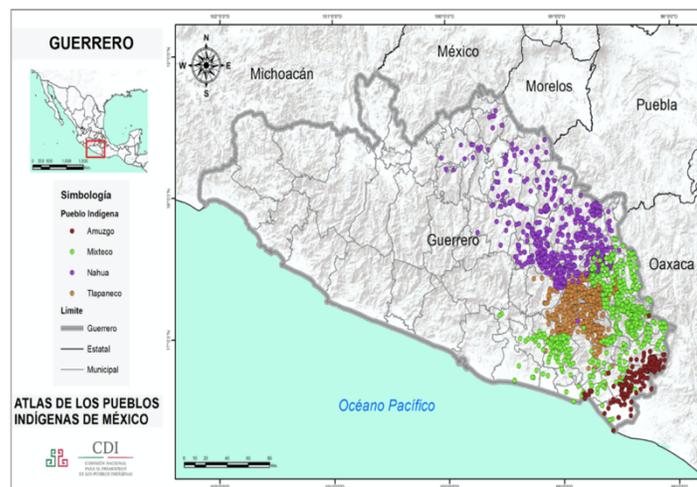
Este proyecto de tesis solo fue posible gracias a la participación de familias pertenecientes a las comunidades Plan de Gatica y El Naranjo, localidades indígenas ubicadas en el municipio de Ayutla de los libres y Acatepec (respectivamente) en la región de la Montaña Alta del estado de Guerrero (ver figura 2 y 3), quienes tienen acceso restringido a atención médica, servicios sanitarios y baja disponibilidad de variedad de alimentos por el difícil acceso carretero y los niveles de pobreza que enfrentan, lo que las vuelve dependientes de la época de cosecha de alimentos y, como consecuencia, con altos niveles de malnutrición entre sus habitantes. Como resultado de estas restricciones, el patrón de dieta de este grupo es monótono y homogéneo, a base de maíz, frijol, arroz, verduras y frutas locales. La principal fuente de proteínas es el frijol y el huevo, pero su dieta tiene deficiencias en proteína animal, hierro y vitaminas A y B2 (Barragán, 2007).

**Figura 2.**  
*Municipio de Acatepec, Guerrero.*



Nota. La figura muestra en color amarillo la localización del municipio Acatepec en donde se encuentra la comunidad Me' Phaa en el Estado de Guerrero.

**Figura 3.**  
Distribución de comunidades indígenas en el estado de Guerrero. Atlas de los pueblos indígenas de México



Para evaluar los posibles efectos de la nutrición limitada en este tipo de poblaciones, sería necesario contar con herramientas que posibiliten el acercamiento a los mismos, no obstante, nos hemos encontrado con una dificultad prioritaria para la inclusión de la población indígena en los protocolos de investigación, debido a que las pruebas neuropsicológicas y psicométricas se han validado únicamente en población urbanizada o rural y de habla en castellano, lo cual ha excluido a aquellas personas de habla indígena, por lo tanto, no sería posible realizar acercamientos en este nivel de análisis, además, los estudios comparativos de los posibles efectos de la malnutrición en el desarrollo se han realizado en poblaciones urbanizadas.

De manera general, analizar el efecto de un recurso nutricional necesario para el desarrollo saludable del cerebro en poblaciones en donde existe una restricción palpable del recurso, generado por la desigualdad social y económica, nos permite identificar con una mayor validez ecológica el posible efecto sobre la actividad eléctrica cerebral, pero, debemos ocupar una herramienta que nos permita reconocer esta posible relación sin el efecto de las variables culturales que ya se han mencionado.

## V. JUSTIFICACIÓN

Es bien sabido que el desarrollo cerebral es dirigido por la interacción entre factores genéticos y ambientales. Sin embargo, el grado en que el desarrollo cognitivo depende de genética o presiones ambientales en los periodos sensibles varía dependiendo de factores sociales y económicos, en donde el entorno en el que se desarrollan los niños y niñas muestra mayor efecto cuando existen mayores restricciones (Turkheimer et al., 2003). Por esto, es importante comenzar a enfocar la investigación en aquellas poblaciones cuyos recursos son limitados, que permiten conocer el efecto de las diferentes presiones ambientales en el desarrollo cerebral.

La inseguridad nutricional ocasionada por factores sociales y económicos predispone a los individuos a una disminución drástica de los recursos necesarios para el desarrollo y mantenimiento del sistema nervioso central, los efectos ocasionados de la baja disponibilidad de recursos durante el neurodesarrollo, específicamente en la infancia, pueden provocar diferentes alteraciones en la arquitectura y comunicación cerebral y, por consiguiente, generar alteraciones cognitivas y conductuales.

Con relación a esto, las condiciones a las que los individuos se desarrollan están altamente determinadas por la ubicación geográfica y social a las que se ven impuestos. Teniendo esto en mente, se planteó la problemática constante de la investigación básica: ¿Qué tan válido es un resultado afuera de un laboratorio? A partir de esto, el enfoque prioritario con el que se abordó este proyecto fue la de procurar generar una tesis con validez ecológica. Validez ecológica, que, aunque no existe un consenso al respecto, se describe mayoritariamente como la relación entre los fenómenos del mundo real y la investigación de estos fenómenos en contextos experimentales; con base en esto se debe considerar la naturaleza de los estímulos que se utilicen, las respuestas y el contexto en el que se desenvuelven estas respuestas (Schmuckler, 2001).

Con relación a lo mencionado, en este proyecto de investigación se realizó con la participación de las comunidades Mephaa' de la Montaña Alta de Guerrero, mediante la cual pudimos obtener una muestra de participantes que han sido expuestos a las mismas condiciones ecológicas: nacimiento por vía vaginal, un periodo de lactancia mayor a los dos años de edad, restricción médica y de uso de fármacos alopáticos, limitación en las condiciones de salubridad y, no menos importante, mismo ambiente sociocultural y educativo. Desde este punto de vista, realizar este proyecto de tesis en comunidades indígenas aisladas nos brindó la ventaja de estudiar el posible impacto de la restricción del recurso -proteína animal- en la organización cerebral durante el periodo sensible que se presenta durante los 6 a 10 años en individuos cuya dieta y condiciones son homogéneas, y las ligeras o grandes varianzas en el consumo pueden reflejar relaciones más directas con la madurez cerebral, en particular, con la potencia absoluta de la actividad eléctrica cerebral. Como aproximación de la comunicación cortical en este periodo sensible, se estudió la actividad eléctrica en estado basal mediante el EEG cuantitativo; dicho método de análisis nos brinda ventajas de transporte, no es invasivo y elimina las barreras culturales en el proceso de adquisición y el registro en reposo. Además, nos permite tener un acercamiento de cómo es que el sistema se prepara para responder a las influencias tanto externas como internas al organismo.

Tomado en conjunto, el presente proyecto de tesis amplía horizontes respecto a los posibles efectos de la proteína animal en poblaciones con estilos de vida no occidentalizados, mismas que han sido poco exploradas pero que podrían brindar datos contrastantes respecto a las comunidades urbanizadas que ya han sido ampliamente estudiadas. Además de utilizar una herramienta de estudio que respeta las condiciones socioeducativas en las que se desarrollan los niños y niñas y que brinda información precisa de la señal eléctrica cerebral en tiempo real.

## **VI. OBJETIVOS**

### **Objetivo general:**

Conocer la relación entre el consumo de proteína animal y la actividad de base de niños y niñas de 6 a 10 años de comunidades indígenas Me'phaa, mediante el análisis de potencia absoluta en las condiciones ojos abiertos y cerrados.

### **Objetivos particulares:**

1. Comparar el consumo de proteína animal y las características antropométricas de peso y estatura de los participantes con el estándar internacional para niños de las mismas edades.
2. Describir la potencia absoluta de las bandas anchas tradicionales de la actividad eléctrica cerebral de base de los y las participantes en 19 derivaciones de la corteza cerebral, agrupadas en las regiones de interés anterior izquierda, anterior derecha, posterior izquierdo y posterior derecho.
3. Evaluar la asociación entre el consumo de proteína animal y la potencia absoluta de la actividad eléctrica cerebral de base en cada banda tradicional en las regiones de interés anterior y posterior, para cada condición de reposo.
4. Evaluar la asociación entre el consumo de proteína animal y las diferencias intrahemisféricas e interhemisféricas de potencia absoluta de cada banda tradicional, alfa, beta, delta y theta en cada condición de reposo.

## **VII. HIPÓTESIS Y PREDICCIONES**

**Hipótesis:** La potencia absoluta de la actividad de base será predicha por el consumo de proteína animal.

### **Predicciones:**

Se encontrará una asociación positiva entre el consumo de proteína animal y la potencia absoluta de la banda alfa y beta en la condición de ojos abiertos en la región anterior.

Las diferencias intrahemisféricas de la potencia absoluta tendrán una asociación negativa con el consumo de proteína animal en la condición de ojos abiertos en las bandas alfa y beta.

## **VIII. PARTICIPANTES**

La muestra se conformó por 37 niños y niñas entre las edades de 6 y 11 años, de los cuales se consideraron 31 para el análisis final (12 niños y 19 niñas) ( $x = 8.09$   $\pm$   $1.67$ ). Se excluyeron 6 participantes para el análisis de datos porque no se contaba con el cuestionario de consumo de alimentos o no completaron el tiempo mínimo de registro EEG de cada condición. Todos los integrantes de la muestra fueron habitantes de las comunidades indígenas Plan de Gatica y El Naranjo de la zona Montaña Alta del Estado de Guerrero (ver figura 4).

Los criterios de exclusión fueron: Referencia por parte de la madre de alteraciones neurológicas o de haber padecido algún traumatismo craneoencefálico y actual consumo de medicamentos.

Para realizar el presente proyecto se contó con la aprobación y participación de los miembros de las comunidades a través de asambleas comunitarias y gracias a la mediación de la ONG, Xuajin Me'phaa, después de haber presentado los objetivos y procedimientos que se llevarían a cabo con los niños y niñas.

Después de explicar todo lo que se abordaría en las asambleas, se entregó a cada madre de familia un formato de consentimiento informado mismo que fue traducido por un intérprete, mismo que apoyaría en la comunicación durante todo el procedimiento.

Este proyecto fue aprobado por el comité de ética de la Facultad de Psicología de la UNAM (FPSI/CE/01/2016).

**Figura 4.**

*Punto de encuentro Naranjo, Acatepec. (Laboratorio de Neuroecología, 2017).*



## **IX. MÉTODOS.**

### **Materiales para el registro de consumo de proteína animal y toma de datos antropométricos:**

Con la finalidad de conocer la frecuencia y tipo de alimentos que consumen los niños y niñas de las comunidades, se construyó un cuestionario breve de Frecuencias de Consumo Nutricional basado en la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición del 2012, el cual fue adaptado a la disponibilidad de alimentos de la región de la Montaña Alta de Guerrero. La adaptación del cuestionario se realizó con base en entrevistas semiestructuradas a los pobladores con ayuda de intérpretes del idioma Mé'phaa. El cuestionario contó con una lista de 38 alimentos con porciones específicas de cada uno; así como frecuencia de consumo por semana y por día (Anexo 1).

Las medidas antropométricas consideradas para este estudio fueron peso y estatura, y se realizaron por triplicado mediante una balanza marca OMRON modelo hbf-514c y un estadímetro de pared marca ADE modelo MZ10017, colocado a dos metros del suelo. Las medidas se anotaban por cada niño en una tabla de registro. (Anexo 2).

### **Materiales para adquisición de la señal:**

Para la adquisición de la señal eléctrica cerebral (EEG) se utilizó un Amplificador portátil GRAEL 4K EEG de 45 canales y el software de adquisición para Microsoft Profusion EEG5 de Compumedics mediante una computadora Laptop Lenovo Ideapad S340 Intel Core I5 8va Generación. Tres gorras universales marca Electrocap: chicas (50-54 cm) y mediana (54-58 cm) con 19 electrodos con las derivaciones clásicas del Sistema Internacional 10-20, electrodos de disco de cloruro de plata Electrocap (SKU: 02-E21-9S) para el registro de electrooculograma y tierra, y dos electrodos de arete tamaño pediátrico marca Electrocap para la referencia. Para los electrodos de gorra se empeló gel conductivo marca ECI (SKU: 02-E10) y a los electrodos de referencia, tierra y oculares se les aplicó pasta conductora marca Ten20 (SKU: 03-10-20-08). La limpieza del cuero cabelludo de los participantes se realizó con gel dermo-abrasivo Nuprep (SKU: 03-10-19-30) y alcohol al 70%.

## **X. PROCEDIMIENTO:**

### **Aplicación de cuestionario de consumo de alimentos y toma de medidas antropométricas:**

La aplicación del Cuestionario de alimentos en la región Montaña se realizó con ayuda de un intérprete del idioma Me' Phaa previamente capacitado. El cuestionario estaba diseñado para preguntar a la madre de cada niño cuántas veces al día y cuántas veces a la semana el niño consumía cada alimento, sin embargo, el consumo semanal era tan bajo que las personas de cada

comunidad únicamente podían determinar las cantidades que se consumían al mes, por lo que fue necesario registrar el consumo mensual.

También se obtuvo el peso en kilogramos y talla en metros de cada niño realizado por triplicado y promediado para obtener un valor único, para evitar sesgos de medición.

### **Evaluación del consumo de proteína animal**

Se evaluó el consumo mensual de 7 alimentos de origen animal: huevo, leche, yogurt, carne de cerdo, carne de res, pollo y pescado (Anexo 1). Para obtener un aproximado de consumo diario se dividió la porción mensual entre 30, referente a los días promedio en un mes.

Para convertir las porciones al día en gramos de proteína animal, se utilizó el Sistema Mexicano de Alimentos Equivalentes (Perez-Lizaur et al., 2014). Este es un listado de alimentos clasificados en grupos definidos por un componente nutricional clave, cuenta con una descripción del aporte calórico (kcal), macronutrientes (gr) y micronutrientes (mg) de cada alimento a partir de raciones comúnmente utilizadas en la cocina mexicana en medidas estandarizadas (Tabla 1).

**Tabla 1.**  
**Alimentos y porciones evaluadas en gramos de proteína**

<b>Alimento</b>	<b>Porción</b>	<b>Gr. Proteína</b>
<b>Leche</b>	1 vaso (240ml)	11.2
<b>Yogur</b>	1 envase (150g)	10.6
<b>Carne de puerco</b>	1 bistec chico (55g)	14.3
<b>Carne de res</b>	1 bistec chico (55g)	11.55

<b>Pollo</b>	1 pieza (90g)	17.66
<b>Huevo</b>	1 pieza entera (62g)	5.5
<b>Pescado</b>	½ filete mediano (45g)	7.5

Nota. Las porciones de los alimentos fueron obtenidas a partir del cuestionario de ENSANUT 2016 y los gramos de proteína fueron derivados de la equivalencia de porciones del SMAE (Perez-Lizaur et al., 2014).

### **Comparación de consumo de proteínas al día con el estándar internacional**

Para hacer el análisis comparativo, se calculó el Requerimiento Promedio Estimado (RDA) de cada niño dependiendo de su edad. Se multiplicó el factor .92 para niños de 6 a 8 años y .90 de 7 a 11 años por el peso en kilogramos (Institute of Medicine IOM, 2000). Dicho factor se refiere a la cantidad estándar recomendada de un nutriente en particular para cubrir las necesidades del 98% de la población mundial sana en estos periodos de edad (Centre for Genomic Pathogen Surveillance, 2020).

Se obtuvieron valores estandarizados o Z de los gramos de consumo de proteína animal respecto al RDA para la edad, y también se obtuvieron estos valores respecto al consumo promedio de la muestra. Estos dos valores se obtuvieron con el objetivo de tener una estimación de las desviaciones estándar en el consumo de proteína animal con respecto a la población mundial, y con respecto a las variaciones entre la misma población.

### **Evaluación del estado nutricional de los niños.**

Por otro lado, también se evaluó el grado de desnutrición de cada participante utilizando la talla para la edad de acuerdo con la clasificación de Waterlow (Waterlow, 1973; Waterlow & Schrimshaw, 1957), para determinar el número de participantes que podrían estar en este estado nutricional.

$$\% \text{ talla/edad} = \left( \frac{\text{talla real}}{\text{talla esperada}} \right) * 100$$

La talla esperada fue el percentil 50 para la edad de la tabla de valores de la CDC (Kuczmarski et al., 2000).

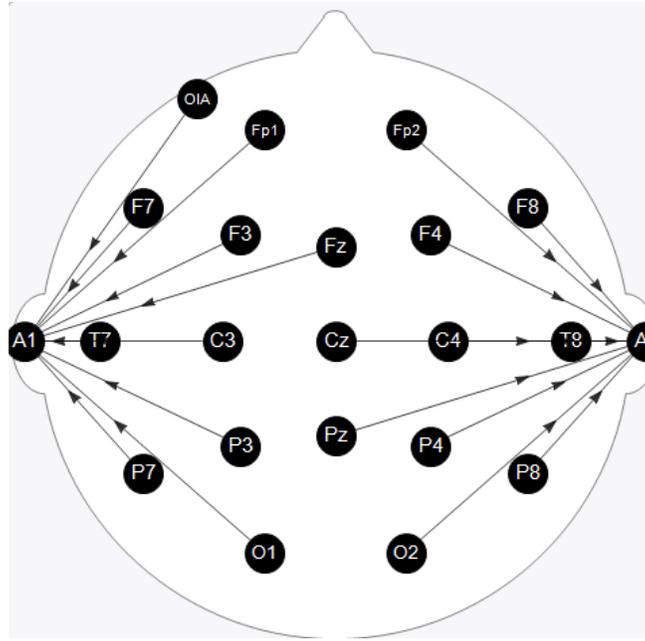
### **Adquisición de señal de EEG:**

Se realizó un registro EEG de base en milivolts al cuadrado para las 19 derivaciones del Sistema 10-20 tradicional, con derivación monopolar con referencia a cada lóbulo de la oreja ipsilateral y registro simultáneo de movimiento ocular con un electrodo colocado en el canto inferior del ojo izquierdo (ver figura 5), a una frecuencia de muestreo a 512 Hz y filtros entre 0.5 y 70 Hz, con impedancias menores a 10 k $\Omega$ , mediante el programa de adquisición Profusion EEG5. Para la visualización de la señal en pantalla se utilizó un filtro Notch on line. El registro se llevó a cabo en un sitio alejado apartado y de manera individual. Toda la información del procedimiento se le dio al niño y a su madre y padre en idioma Me' Phaa, con apoyo de un intérprete de la propia comunidad, quien estuvo presente durante todo el registro para garantizar el puente de comunicación con los participantes, a fin de que permanecieran relajados y con el menor movimiento posible. Después de la calibración, se les dio la instrucción de abrir o cerrar los ojos, según fuera el caso. La duración total del registro fue de entre 13 y 15 minutos, incluyendo el tiempo de calibración. Cada registro se dividió en periodos de dos minutos, para contabilizar un total de 6 minutos por condición (ojos abiertos y ojos cerrados), alternando una y otra para evitar la fatiga y el sueño.

El registro fue llevado a cabo en un cuarto aislado el cual fue designado por los miembros de la asamblea en cada comunidad; contaban con ventilación acorde a las altas temperaturas y se cubrieron ventanas a fin de evitar la entrada directa del sol.

**Figura 5.**

Montaje monopolar de registro.



*Nota.* La figura muestra el montaje de registro empleado. Las siglas de cada derivación corresponden al sistema clásico 10-20 (Jasper, 1958), los electrodos auriculares izquierdo (A1), auricular derecho (A2) y el electrodo de registro ocular, ojo izquierdo (OIA). Las flechas negras indican hacia cual electrodo hizo referencia cada derivación. El electrodo A1 se utilizó de referencia para los electrodos activos del hemisferio izquierdo (OIA, Fp1, F3, F7, Fz, T7, C3, P3, P7 y O1) y A2 fue el electrodo de referencia de los electrodos activos del hemisferio derecho (Fp2, F4, F8, Cz, C4, T8, Pz, P4, P8, O2).

**Preparación de la señal para el análisis fuera de línea.**

La señal adquirida se inspeccionó visualmente fuera de línea y se eligieron segmentos de un segundo no continuos sin ruido por movimiento ocular o contracción muscular por cada condición y para cada participante. A los segmentos seleccionados se les aplicó un filtro de 1 a 40 Hz, mediante el programa MATLAB Version 9.3 (R2017b).

Aunado a esto, cada segmento de un segundo fue sometido a un filtrado mediante la toolbox Fieldtrip de MATLAB (Oostenveld et al., 2011; Solís-Vivanco et al., 2018), con la finalidad de rechazar los artefactos por el método de distribución entre ensayos basado en varianza, después y con la finalidad de cerciorarnos de que la señal para análisis estuviera libre de ruido, se realizó una segunda inspección visual, quedando finalmente un total de 39 y 42 segmentos de un segundo.

### **Análisis de la señal eléctrica cerebral.**

Se realizó análisis de Fourier mediante el software de programación MATLAB para obtener la potencia absoluta de las bandas de frecuencia clásicas: delta: 1-3 Hz, theta: 4-7 Hz, alfa: 8-14 Hz y beta: 15-30 Hz en cada derivación y en cada condición. La potencia registrada en milivolts se transformó a logaritmo natural para realizar el análisis comparativo. Con el propósito de analizar a partir de regiones de interés (ROIs), se obtuvo el promedio de grupos de derivaciones y se conformaron en cuatro regiones (Tabla 2).

#### ***Tabla 2.***

*Regiones de interés analizadas.*

<b>Regiones de interés</b>	<b>Electrodos</b>
Anterior Izquierdo	Fp1, F3, F7
Anterior Derecho	Fp2, F4, F8
Posterior Izquierdo	P3, T7, O1
Posterior Derecho	P4, T8, O2

Nota: La tabla presenta los electrodos seleccionados para conformar cada región de interés analizada. La potencia promedio de los electrodos se agruparon en cuatro regiones de interés: anterior derecha, anterior izquierda, posterior derecha y posterior izquierdo. La nomenclatura utilizada para los electrodos es la definida por el sistema clásico 10-20 (Jasper, 1958).

### **Cálculo de diferencias medias entre regiones de interés**



## **XI. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS.**

Con la finalidad de describir la distribución y diferencias de las bandas de frecuencia de la actividad de base en las condiciones de ojos abiertos (OA) y ojos cerrados (OC), se realizó un análisis paramétrico de comparación de medias T de student, de la potencia absoluta entre las regiones anteriores y posteriores de cada hemisferio, y entre regiones homólogas de ambos hemisferios.

Con el objetivo de analizar la asociación entre las diferencias interhemisféricas e intrahemisféricas con el consumo de proteína animal, se realizaron inferencias de modelos multivariados, construyendo modelos lineales generalizados mixtos (Burnham & Anderson, 2004). Estos modelos se construyeron para cada diferencia en PA de las bandas anchas clásicas, tanto en regiones intrahemisféricas (ROIs anterior izquierda vs posterior izquierda, anterior derecha vs posterior derecha), como interhemisféricas (ROIs anterior derecha vs anterior izquierda, posterior derecha vs posterior izquierda). Como resultado, se elaboraron 8 modelos; uno para cada diferencia (2 intrahemisféricas, 2 interhemisféricas) y para cada condición (1 para ojos abiertos y 1 para ojos cerrados). Los predictores en cada uno de los 8 modelos fueron la banda de frecuencia, gramos de consumo de proteína animal (CPA), edad, sexo, y la interacción entre banda de frecuencia y CPA; Como variable aleatoria se incluyó a cada individuo. De los estimados obtenidos para cada predictor en el modelo se calcularon los valores de significancia e intervalos de confianza.

Finalmente, además de evaluar si las diferencias inter o intra hemisféricas se asocian a la proteína animal consumida, se realizó un segundo set de modelos para evaluar si la potencia por regiones anteriores o posteriores agrupadas, podrían ser afectadas por el consumo de proteína.

Para esto, se evaluó en una primera instancia si las PA interhemisféricas fueron diferentes mediante un análisis paramétrico de medias T-student entre las regiones anteriores (i.e. AD vs AI) y las regiones posteriores (i.e. PD vs PI). En caso de no ser diferentes, se promediaron las regiones anteriores y las posteriores para generar dos variables nuevas; RA (región anterior) y RP (Región posterior). Cuando se encontraron diferencias se generó un modelo para cada región (AD, AI, PD y PI). A partir de estos valores se generaron modelos independientes para cada variable RA y RP (dependientes), incluyendo las mismas variables predictoras del primer grupo de modelos construidos. De igual forma, de los estimados obtenidos para cada predictor en el modelo se calcularon los valores de significancia e intervalos de confianza. Todos los análisis fueron realizados en el lenguaje de programación R (R Core Team, 2020),

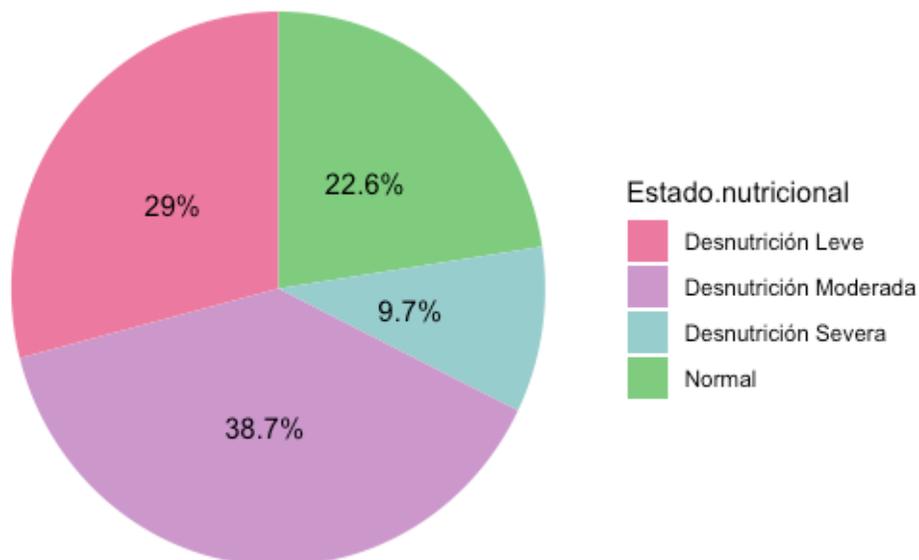
## XII. RESULTADOS

### Estado nutricional y caracterización de la actividad eléctrica de base.

El estado nutricional de los miembros de la muestra fue evaluado por el indicador de talla para la edad. De 31 participantes evaluados, 9 tuvieron un estado nutricional normal, el resto de la muestra fue clasificado en algún grado de desnutrición: 12 con desnutrición leve, 6 desnutrición moderada, y 3 con desnutrición severa (Gráfica 1). El puntaje Z del CPA fue comparado en relación con el RDA para la edad y se encontró que todos los participantes se hallaron por debajo del mismo (Gráfica 2). Respecto al puntaje Z del CPA en relación con el consumo promedio de la muestra, el 64.5 % del consumo de los participantes se encontraban por debajo de este indicador (Gráfica 3).

#### Gráfica 1.

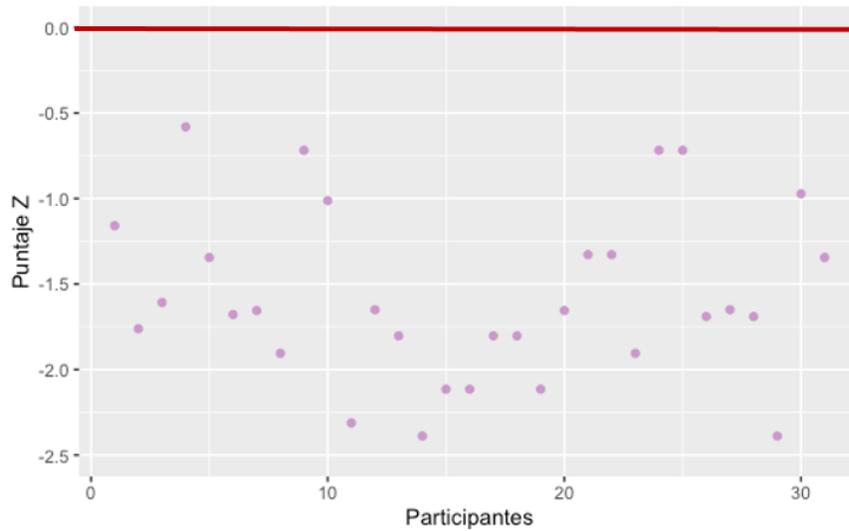
*Estado nutricional de la muestra.*



Nota. Grado de nutrición de los niños que conformaron la muestra, en relación con lo esperado para la talla y la edad (Kuczmarski et al., 2000).

**Gráfica 2.**

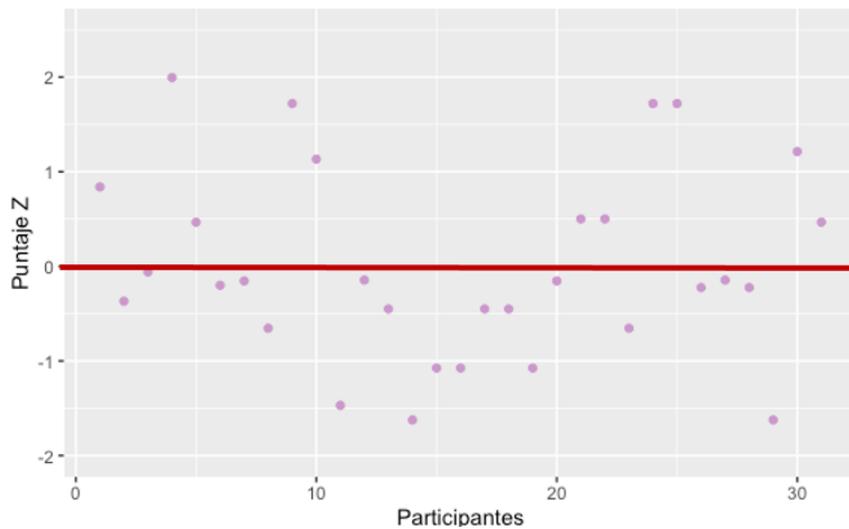
**Puntaje Z de consumo diario de proteína animal respecto al RDA**



Nota. Puntaje z del consumo de proteína animal respecto al RDA (OMS, s.f). La línea roja representa el Requerimiento Diario Esperado de Consumo de proteína (RDA).

**Gráfica 3.**

**Puntaje Z de consumo de proteína respecto a la muestra.**



Nota. Puntaje Z del consumo de proteína animal respecto al consumo promedio de la muestra. La línea roja representa el Puntaje Z a partir de la media de consumo de la muestra.

Para la descripción de la PA de las cuatro bandas entre las regiones de interés se encontró que en la condición de ojos abiertos hubo diferencias significativas en la PA de la región anterior y posterior del hemisferio derecho en las cuatro bandas: alfa ( $t=-12.146$ ,  $p < 0.01$ ), beta ( $t=-3.92$ ,  $p < 0.01$ ), delta ( $t=-5.671$ ,  $p < 0.01$ ), theta ( $t= -9.437$ ,  $p < 0.01$ ). Esto mismo se observó para las regiones anterior y posterior del hemisferio izquierdo: alfa ( $t= 13.797$ ), beta ( $t= -4.61$ ,  $p < 0.01$ ), delta ( $t= -5.78$ ,  $p < 0.01$ ) y theta ( $t= -937$ ,  $p < 0.01$ ) (Tabla 3 y gráfica 4).

En la condición de ojos cerrados, las diferencias fueron significativas entre las regiones anterior y posterior del hemisferio izquierdo en las cuatro bandas de frecuencia: alfa ( $t= -16.98$ ,  $p < 0.01$ ), beta ( $t= -7.30$ ,  $p < 0.01$ ), delta ( $t= -5.90$ ,  $p < 0.01$ ), theta ( $t= -10.80$ ,  $p < 0.01$ ) (Tabla 3 y gráfica 5). De igual forma, en las diferencias entre las regiones anterior y posterior del hemisferio derecho: alfa ( $t= -13.59$ ,  $p < 0.01$ ), beta ( $t= -6.848$ ,  $p < 0.01$ ), delta ( $t= -5.80$ ,  $p < 0.01$ ) y theta ( $t= -10.95$ ,  $p < 0.01$ ) (Tabla 3). No hubo diferencias significativas entre la potencia absoluta entre las regiones anterior izquierda y anterior derecha; y tampoco entre las regiones posterior izquierda y posterior derecha en ninguna de las condiciones (Tabla 4 y gráfica 5).

**Tabla 3.**

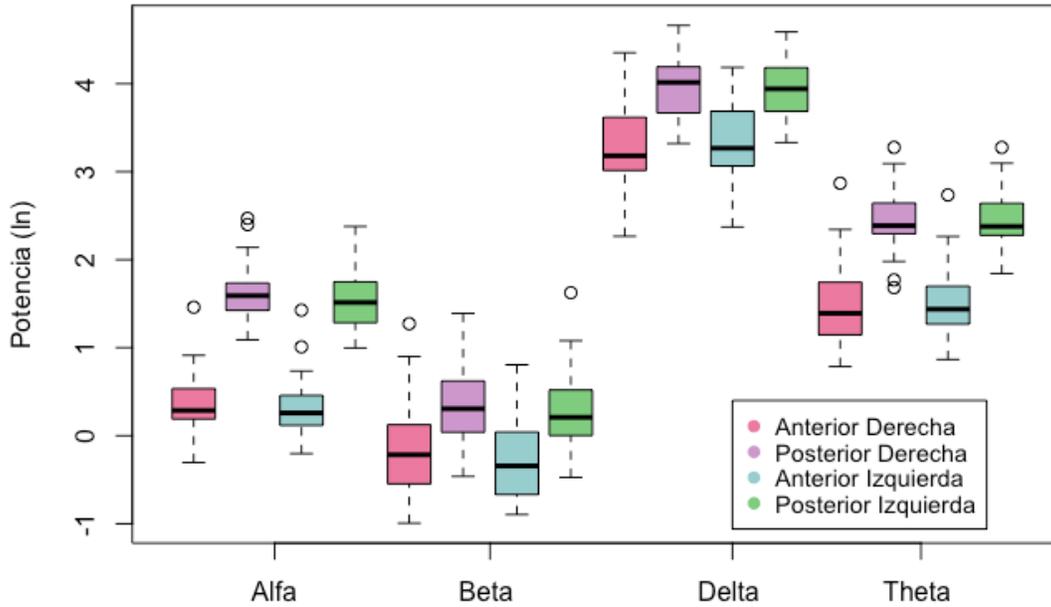
*Comparación de Potencia Absoluta por región en Ojos Abiertos.*

Banda	Anteroposterior Izquierda	Anteroposterior Derecha	Anterior HD-HI	Posterior HD-HI
	t	t	t	t
Alfa	<b>-16.988*</b>	<b>-13.596*</b>	-0.129	1.144
Beta	<b>-7.300*</b>	<b>-6.848*</b>	0.168	0.846
Delta	<b>-5.900*</b>	<b>-5.806*</b>	0.001	0.565
Theta	<b>9.35*</b>	<b>9.43*</b>	0.054	0.069

Nota. Resultados obtenidos de las pruebas T-student entre regiones de interés para cada banda ancha de frecuencia en la condición de ojos cerrados de toda la muestra. Potencia absoluta (PA), hemisferio derecho (HD), hemisferio Izquierdo (HI), Valor de prueba T-student (t),  $p < 0.01$  (\*).

**Gráfica 4.**

*Distribución de bandas de frecuencia en condición de ojos abiertos*



Nota. Potencia absoluta en la condición de ojos abiertos de cada banda de frecuencia para las cuatro regiones de interés analizadas. Logaritmo natural de la potencia absoluta para las bandas tradicionales (ln).

**Tabla 4.**

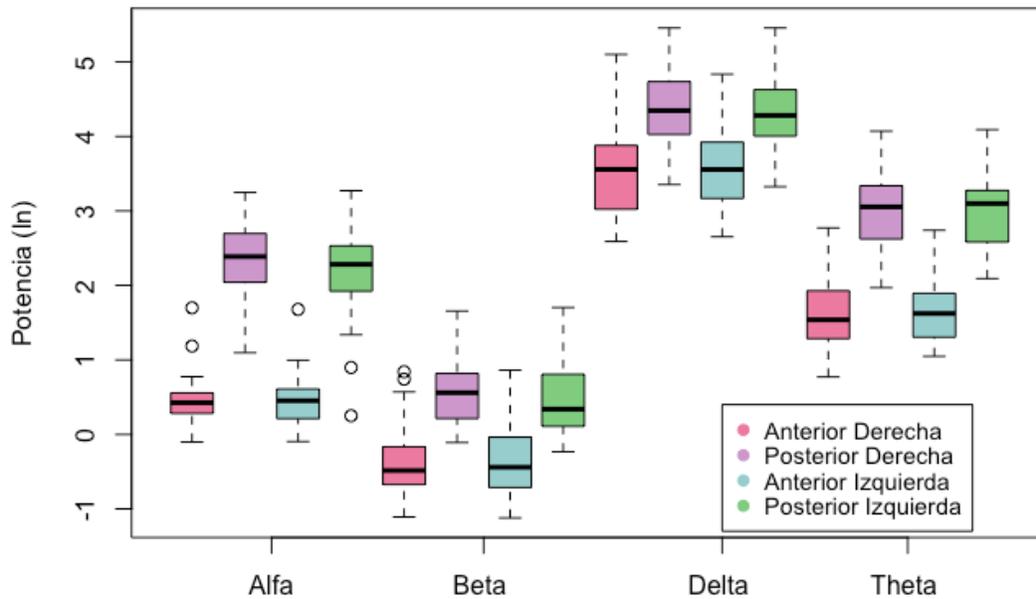
*Comparación de PA por región en ojos cerrados.*

Banda	Anterior vs posterior	Anterior vs posterior	Anterior	Posterior
	HI	HD	HI vs D	HI vs HD
	t	T	t	t
Alfa	<b>12.146*</b>	<b>13.797*</b>	0.123	1.050
Beta	<b>3.920*</b>	<b>-4.610*</b>	1.001	0.805
Delta	<b>5.671*</b>	<b>-5.786*</b>	-0.228	0.257
Theta	<b>-9.437*</b>	<b>-9.376*</b>	-0.514	0.069

Nota. Resultados obtenidos de las pruebas T-student entre regiones de interés en cada banda de frecuencia en la condición de ojos cerrados de toda la muestra. Ojos Cerrados (OC), Potencia absoluta (PA), hemisferio derecho (D), hemisferio Izquierdo (I), Valor de prueba T-student (t),  $p < 0.01$  (\*).

### Gráfica 5.

Distribución de bandas de frecuencia en condición de Ojos Cerrados ( $\ln \mu V^2$ ).



Nota. Potencia absoluta en la condición de ojos cerrados de cada banda de frecuencia para las cuatro regiones de interés analizadas. Logaritmo natural de la potencia absoluta para las bandas tradicionales ( $\ln$ ).

### Efectos de la proteína animal sobre las diferencias en PA Intra e Interhemisférica

De los modelos mixtos construidos para la condición OA el único predictor significativo fue la interacción entre el consumo de proteína animal (CPA) y la banda de frecuencia en la diferencia intrahemisférica derecha ( $f=2.795$ ,  $p=0.045$ ) y también en la diferencia intrahemisférica izquierda ( $f=5.222$ ,  $p=0.002$ ) (Tabla 5). Se observó una relación negativa entre la diferencia intrahemisférica izquierda de la banda theta y el CPA ( $\beta= -0.043$ ) (Tabla 6 y gráfica 7) y una relación negativa entre la diferencia intrahemisférica derecha de la banda theta y CPA ( $\beta= -0.047$ ) (Tabla 5 y gráfica 6). En la condición OC ninguno de los predictores fue significativo en las diferencias intrahemisféricas derecha e izquierda. (Tabla 5).

**Tabla 5.**

Resultados de GLMM de las diferencias intrahemisféricas izquierda y derecha.

	Derecha		Izquierda	
	OA	OC	OA	OC
	F	F	F	F
B	12.724**	8.7457**	20.300**	16.724**
CPA (gr)	3.558	0.001	0.745	0.410
Sexo	0.533	0.725	0.113	0.898
Edad (años)	0.681	0.018	0.786	0.236
B:CPA	<b>2.795 *</b>	0.620	<b>5.222 *</b>	1.093

Nota. Resultados obtenidos de los modelos empleados para las diferencias intrahemisféricas izquierda y derecha. Se implementaron como variables predictoras: banda de frecuencia, CPA, sexo, edad, y B:CPA; la variable aleatoria fue el individuo. Consumo de proteína Animal (CPA), Banda (B), Ojos abiertos (OA), Ojos Cerrados (OC), Interacción banda de frecuencia y consumo de proteína diaria (B:CPA), Modelos lineales generalizados (GLMM) Valor de Anova (F).  $p < 0.05$  (\*),  $p < 0.01$  (\*\*).

**Tabla 6.**

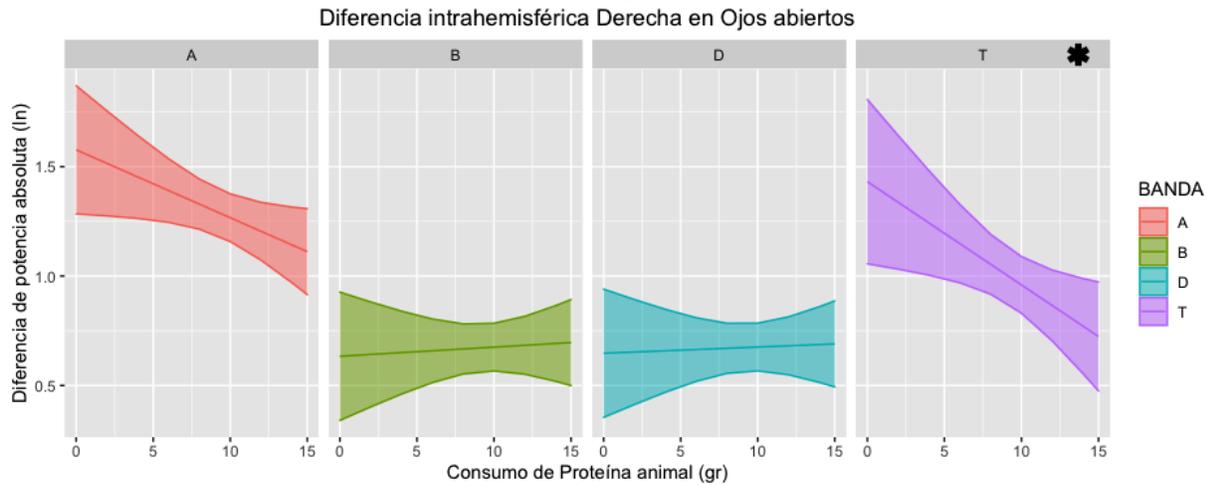
Interacción Banda y CPA de diferencias intrahemisféricas derecha e izquierda en OA.

Banda	Derecha			Izquierda		
	$\beta$	IC		$\beta$	IC	
		LI	LS		LI	LS
Alfa	0.031	-0.060	0.001	-0.022	-0.050	0.004
Beta	0.004	-0.025	0.033	0.020	-0.006	0.048
Delta	0.002	-0.026	0.032	0.009	-0.017	0.037
Theta	<b>-0.047*</b>	<b>-0.085</b>	<b>-0.009</b>	<b>-0.043*</b>	<b>-0.078</b>	<b>-0.008</b>

Nota. Pendientes e intervalos de confianza de la interacción de las bandas de frecuencia y el consumo de proteína animal en las diferencias intrahemisféricas derecha e izquierda. Valor de la pendiente ( $\beta$ ), Intervalos de Confianza (IC), Límite superior (LS), Límite inferior (LI), Ojos abiertos (OA), Consumo de proteína animal (CPA). Intervalo de confianza menor a 0 sin traslape empleando 95% de confianza (\*).

### Gráfica 6.

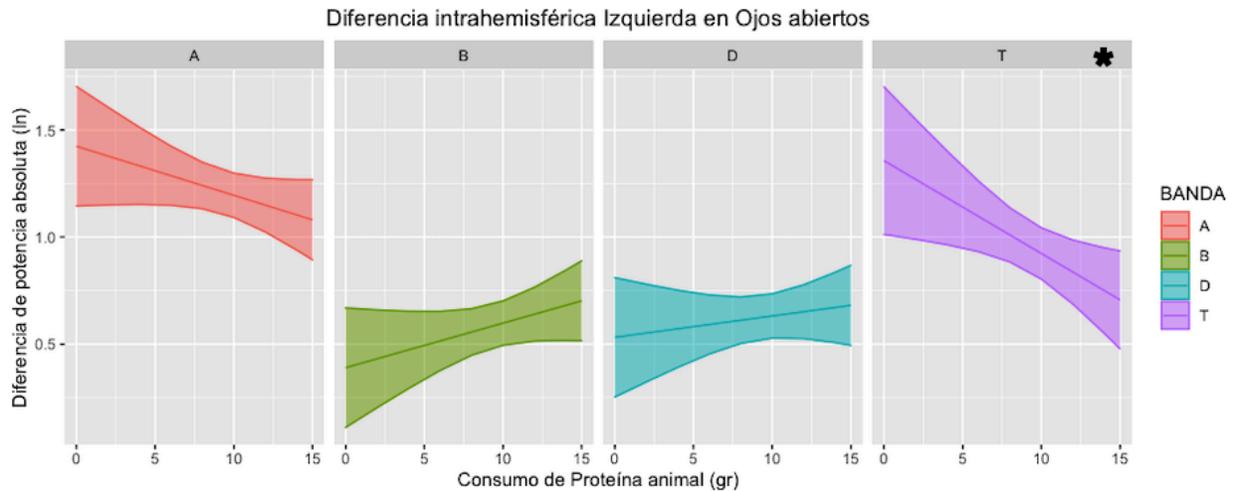
Interacción del CPA y banda de frecuencia en Diferencia intrahemisférica derecha en OA.



Nota. Pendientes e intervalos de confianza (95%) del efecto de la interacción CPA y las bandas de frecuencia. El asterisco representa el intervalo de confianza menor a 0 sin traslape. Logaritmo natural de diferencia de potencia absoluta (ln) y consumo de proteína animal diaria en gramos (gr). Alfa (A); beta (B); delta (D); theta (T), consumo de proteína animal (CPA), ojos abiertos (OA).

### Gráfica 7.

Interacción del CPA y banda de frecuencia en diferencia anteroposterior izquierda en OA.



Pendientes e intervalos de confianza del efecto de la interacción CPA y las bandas de frecuencia. El asterisco representa el intervalo de confianza menor a 0 sin traslape. Logaritmo natural de diferencia de potencia absoluta (ln) y consumo de proteína animal diaria en gramos (gr). Alfa (A); beta (B); delta (D); theta (T), consumo de proteína animal (CPA), ojos abiertos (OA).

El análisis de las regiones anteriores o posteriores en su conjunto encontró un efecto significativo del consumo de proteína en interacción con la interacción banda en la región anterior, tanto en

OA (F=3.397, p=0.021) como en OC (F=2.772, p=0.046) (Tabla 7). Aquí, se observó una asociación positiva entre la PA de la banda theta en OA ( $\beta= 0.115$ ) y de igual forma en OC ( $\beta=0.120$ ) con el CPA (Tabla 8, gráfica 8 y 9). Ninguno de los predictores fue significativo en los modelos de la potencia absoluta en la región posterior en ninguna condición (Tabla 6).

**Tabla 7.**  
*Resultados de GLMM de las regiones anterior y posterior.*

	Anterior		Posterior	
	OA	OC	OA	OC
	F	F	F	F
B	110.340**	115.991**	83.379**	162.042**
CPD (gr)	1.384	2.345	3.556	0.117
Sexo	2.519	0.282	0.013	2.597
Edad (años)	0.001	0.160	0.024	0.113
B:CPD	<b>3.477 *</b>	<b>2.867*</b>	1.797	0.807

Nota. Resultados obtenidos de los modelos lineales generales que se emplearon para las diferencias intrahemisféricas izquierda y derecha. Se implementaron como variables predictoras: banda de frecuencia, CPD, sexo, edad, y la interacción banda y CPD; la variable aleatoria fue el individuo. Consumo de proteína diaria (CPD), Banda (B), Ojos abiertos (OA), Ojos Cerrados (OC), Interacción banda de frecuencia y consumo de proteína diaria (B:CPD), Modelos lineales generalizados (GLMM), Valor de Anova (F).  $p < 0.05$  (\*),  $p < 0.01$  (\*\*).

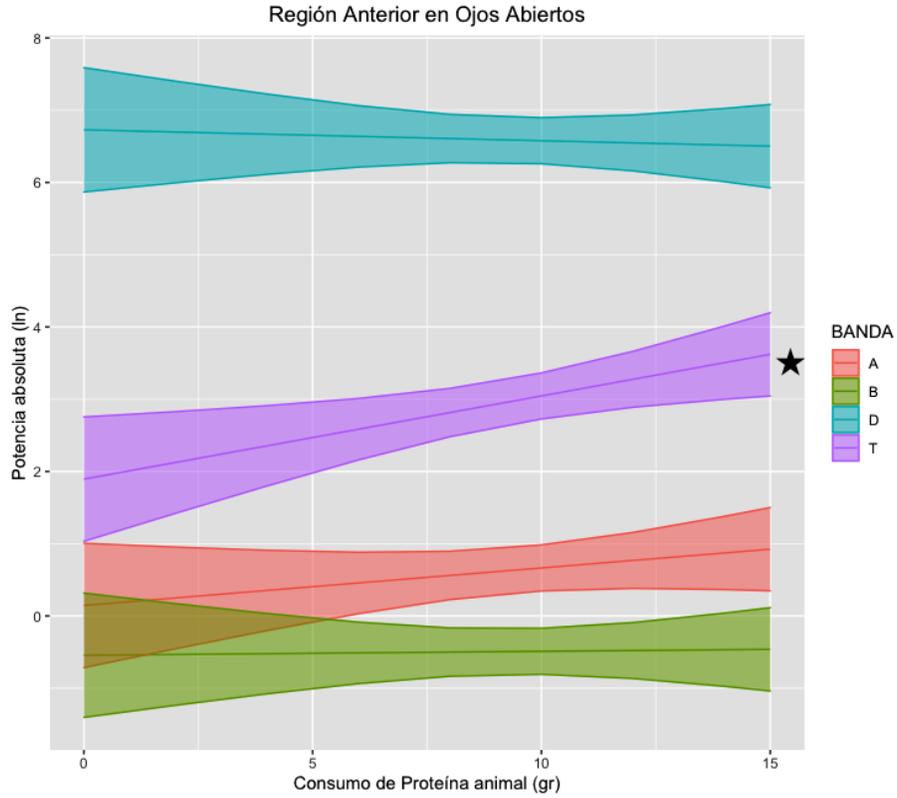
**Tabla 8.**  
*Interacción Banda y CPA en la Región Anterior en OA y OC.*

Banda	OA			OC		
	$\beta$	IC		$\beta$	IC	
		LI	LS		LI	LS
Alfa	0.051	-0.033	0.137	0.068	-0.025	0.162
Beta	0.054	-0.080	0.091	-0.002	-0.096	0.091
Delta	-0.015	-0.100	0.070	0.051	-0.042	0.145
Theta	<b>0.115*</b>	<b>0.029</b>	<b>0.200</b>	<b>0.120*</b>	<b>0.268</b>	<b>0.214</b>

Nota. Pendientes e intervalos de confianza de la interacción de las bandas de frecuencia y el consumo de proteína animal diaria. Valor de la pendiente ( $\beta$ ), Intervalos de Confianza (IC), Límite superior (LS), Límite inferior (LI), Ojos abiertos (OA), Ojos Cerrados (OC), Consumo de proteína animal (CPA). Intervalo de confianza menor a 0 sin traslape empleando 95% de confianza (\*).

**Gráfica 8.**

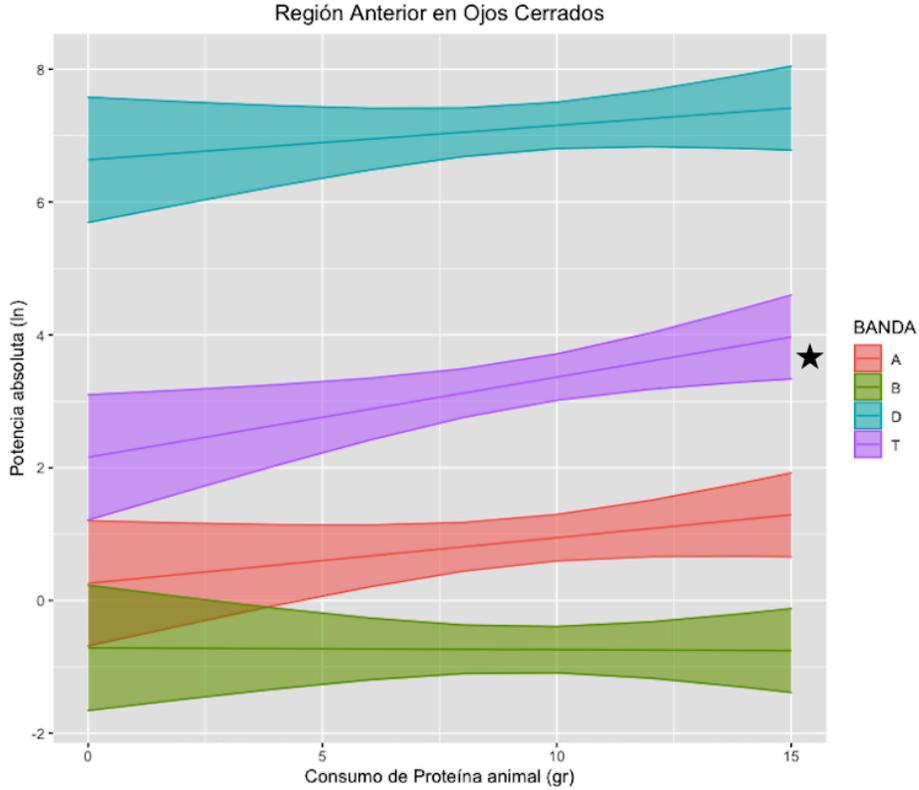
*Interacción del CPA y banda de frecuencia en la Región anterior en OA.*



Nota. Pendientes e intervalos de confianza del efecto de la interacción CPA y las bandas de frecuencia en OA. El asterisco representa el intervalo de confianza menor a 0 sin traslape. Logaritmo natural de diferencia de potencia absoluta (ln) y consumo de proteína animal diaria en gramos (gr). Alfa (A); beta (B); delta (D); theta (T), consumo de proteína animal (CPA), ojos abiertos (OA).

**Gráfica 9.**

*Interacción del CPA y banda de frecuencia en la Región anterior en OC.*



Nota. Pendientes e intervalos de confianza del efecto de la interacción CPA y las bandas de frecuencia en OC. El asterisco representa el intervalo de confianza menor a 0 sin traslape. Logaritmo natural de diferencia de potencia absoluta (ln) y consumo de proteína animal diaria en gramos (gr). Alfa (A); beta (B); delta (D); theta (T), consumo de proteína animal (CPA), ojos cerrados (OC).

### **XIII. DISCUSIÓN**

En los últimos 40 años cuando los problemas de hambruna se reconocieron de forma más evidente y se tornó imposible la invisibilización del problema y sus efectos, se comenzó a reconocer el papel esencial de la nutrición en el desarrollo saludable del individuo, particularmente en lo referente sistema nervioso. Asimismo, también se ha identificado que el proceso de neurodesarrollo puede verse altamente influenciado por diferentes factores intrínsecos y extrínsecos, por ejemplo, el consumo alimenticio (Rice & Barone, 2000).

Derivado de esta premisa, en esta investigación destacamos las condiciones sociales y geográficas que limitan el acceso a recursos alimenticios suficientes y de calidad durante periodos sensibles del desarrollo en niños y niñas de seis a once años. Específicamente, nos interesó estudiar el efecto de la restricción en la disponibilidad de proteína animal en la dieta de estas poblaciones, ya que la proteína tiene funciones que abarcan desde el equilibrio hormonal y de neurotransmisores, hasta la arquitectura cerebral al impactar a las neuronas y células gliales que lo constituyen.

Las condiciones de pobreza y desigualdad que privan en las comunidades indígenas de la Montaña Alta de Guerrero mantienen a sus pobladores en un alto grado de inseguridad alimentaria y de vulnerabilidad al obstaculizar, entre otras cosas, el acceso a la proteína animal, macronutriente que tiene la característica de ser de mayor absorción y calidad a comparación con la versión vegetal.

Como lo esperábamos, de acuerdo con los datos (CONEVAL, 2018) sobre la descripción del estado nutricional de los niños y niñas participantes en el estudio: el 77.4% presentó algún nivel de desnutrición y únicamente el 22.6% se localizó en los rangos esperados para su edad, de acuerdo con los índices de referencia. Específicamente el consumo de proteína animal de toda la

muestra estuvo por debajo de los estándares internacionales del RDA. Puesto que prácticamente el total de la muestra tuvo un consumo de proteína animal debajo de lo descrito por el RDA y con la finalidad de poder tener una medición de los niveles de consumo de este macronutriente calculamos la ingesta entre individuos comparando los gramos de proteína reportados de cada niño y niña contra la media de consumo promedio de la muestra. Los resultados mostraron que el consumo de proteína animal de 20 participantes se encontraba por debajo de la media y 11 se encontraban ligeramente por encima, ante estos resultados nos preguntamos si estas pequeñas variaciones podían impactar de manera distinta en la actividad eléctrica.

La actividad eléctrica cerebral de base o en reposo se ha relacionado con el control cíclico de excitabilidad del cerebro y con la auto-organización de las redes neuronales, que permiten conformar un sistema flexible sobre el cual se acopla la información en ventanas de tiempo para el procesamiento de la misma. Esta actividad oscilatoria cerebral continua genera el costo de mantenimiento más alto en comparación con aquella actividad asociada a funciones específicas, sugiriendo que es altamente importante para la funcionalidad adaptativa del cerebro (Herrmann et al., 2016). El análisis cuantitativo de la actividad eléctrica de base con ojos abiertos y cerrados, es un indicador del andamiaje cerebral de los niños y niñas, sobre la cual se acoplará la actividad en diferentes funciones cognitivas asociadas al procesamiento de los estímulos externos. Los registros de nuestro proyecto se realizaron en la condición de ojos abiertos y ojos cerrados, puesto que se han identificado dos estados diferentes del cerebro: uno asociado al monitoreo intrínseco y otro estado exteroceptivo, que genera un mayor costo energético de mantenimiento (Marx et al., 2004).

Al calcular la potencia absoluta de las bandas anchas de los ritmos cerebrales pretendíamos contar con un indicador de la cantidad de neuronas oscilando a una determinada frecuencia, ya

que entre mayor sea la potencia, mayor es la energía que hay en una oscilación y más células neurales están comprometidas en ese ritmo (Cohen, 2014), lo cual era de nuestro interés pues ofreció una aproximación a los recursos neuronales con los que contaban las niñas y los niños, mismo que se vería impactado por el consumo de proteína animal según nuestra hipótesis.

Al describir la distribución de las bandas de frecuencia entre las regiones anteriores y posteriores en las condiciones de OA y OC, no encontramos diferencias significativas entre las regiones homólogas de ambos hemisferios, pero sí entre regiones anteriores y posteriores intrahemisféricas (Tabla 2 y 3), hecho que pudiera explicarse a partir del compromiso de consumo de proteína animal con el curso temporal del neurodesarrollo en la niñez. Nuestros resultados concuerdan con el patrón de maduración del desarrollo que ya se ha descrito: ocurre paralelamente en regiones homologas entre hemisferios, pero diferencialmente entre áreas regiones postero-antérieures de cada hemisferio. La región posterior, relacionada a funciones primarias sensoriales y motrices, madura primero, después continúa en áreas parietales y temporales de asociación que se han relacionado con habilidades de lenguaje y atención espacial; y por último, la región anterior asociada con funciones de orden superior, como la modulación atencional que tiene su periodo más sensible alrededor de los 10 años (Gogtay et al., 2004). Esto se determina a partir de la necesidad de una fuente de energía suficiente durante este periodo de vulnerabilidad por la demanda alta de la formación de los circuitos cerebrales en los procesos de refinamiento sináptico y mielinización en las edades de 6 a 10 años.

### **Relación entre la actividad eléctrica de base y el consumo de proteína animal en las ROIs**

Después de realizar la descripción general de la distribución de la PA en nuestra muestra y observar que no existían diferencias significativas entre regiones homólogas de ambos hemisferios, decidimos analizar las diferencias entre las regiones anteriores y posteriores de cada

hemisferio, como un indicador de la segregación funcional de la actividad eléctrica cortical. De acuerdo con las evidencias de investigaciones previas del neurodesarrollo, las áreas cerebrales comienzan a especializarse y, consecuentemente, la actividad cerebral de ciertas bandas incrementará su intensidad en determinadas regiones, con lo cual disminuye la dispersión global de las oscilaciones (Damoiseaux et al., 2006).

Empleamos un conjunto de los Modelos Lineales Generalizados Mixtos (GLMM) para identificar el efecto de las pequeñas variaciones en el consumo de proteína animal (CPA) y a su vez esto permitió calcular la contribución de otras variables independientes fijas a la Potencia Absoluta de las diferentes ROIs, tales como la edad y el sexo. Además, nos permitió controlar y medir la actividad eléctrica intrínseca de cada individuo que podría depender de efectos aleatorios para cada niño (i.e. factor aleatorio). Los resultados arrojados por los GLMM mostraron una relación negativa entre el CPA y las diferencias medias anteroposteriores de la PA de la banda theta en ambos hemisferios únicamente en ojos abiertos. Adicionalmente, analizamos la potencia de las bandas de frecuencia en las regiones anterior y posterior con relación al CPA, y obtuvimos una relación positiva de la PA de la región anterior con el consumo de proteína animal únicamente en la banda theta en ambas condiciones de registro.

Los resultados confirman la hipótesis de investigación de este proyecto, ya que encontramos un efecto del CPA sobre la actividad eléctrica basal, pero en una dirección diferente a lo propuesto en nuestras predicciones. La interpretación de estos datos resulta controvertida, porque en contraste a lo que hallamos, otros estudios han encontrado asociaciones negativas entre el consumo de proteína y la potencia absoluta de la banda theta en modelos murinos, o en niños con diferentes niveles de desnutrición (Agarwal et al., 1989; Gramsbergen, 1976). También existen estudios en los que no se ha encontrado relación alguna (Levav et al., 1995). Por otro

lado, se ha reportado que hay un aumento de la banda theta en regiones anteriores en la actividad basal en condiciones como dislexia, Trastorno por Déficit de Atención con Hiperactividad (TDAH) y retraso del desarrollo (Hermens et al., 2005; Otero et al., 2003). Los cambios en las frecuencias theta también han sido asociados a la maduración cortical, por el reemplazo progresivo de la potencia de la banda theta por alfa a partir de los 4 años y las áreas frontales y prefrontales son particularmente sensibles a estos cambios (Gogtay et al., 2004; Klimesch, 1999) Por último, por la hipótesis de que existe segregación funcional por la especialización de las áreas conforme a la maduración cortical, se esperarían menores diferencias al aumentar el consumo, y encontramos una relación opuesta.

Retomando los resultados: encontramos una relación negativa entre el CPA y la PA de la banda theta en las diferencias intrahemisféricas únicamente en ojos abiertos y, una relación positiva entre el CPA y la PA de la región anterior en esta misma banda en ambas condiciones (OA y OC). Esto es, a mayor consumo de proteínas menor diferencia de PA de theta entre áreas anteriores y posteriores; y mayor PA de esta misma banda en la región anterior.

La primer relación hallada únicamente en ojos abiertos puede entenderse a partir de las diferencias fisiológicas asociadas los estados de OA y OC, pues se ha descrito una disminución de la actividad de la banda theta en la región anterior en el cambio de condición de OC a OA (Tan et al., 2013). Nuestro resultado puede deberse a que en el estado OA la distribución de las cuatro bandas es más global a lo largo de la corteza; además, hablando en términos de consumo energético, la condición de ojos abiertos genera un mayor gasto en comparación de la condición de ojos cerrados (Marx et al., 2004), por lo que se requieren mayores recursos para el mantenimiento funcional de esas regiones para cambiar del estado eléctrico de base interoceptivo al de interpretación.

Para comprender el porqué de los efectos sobre la actividad theta, hay que recordar que en los primates este tipo de oscilación se distribuye ampliamente por todo el cerebro y parece tener un papel en las funciones de orden superior como procesos de codificación, retención y recuperación de la memoria, detección de novedades y procesos *top-down*, cuyas redes funcionales han sido encontradas en regiones frontales. También existe evidencia de que la actividad theta se genera en la corteza del cíngulo media y áreas premotoras (Cavanagh et al., 2012), regiones que se abarcan en las derivaciones que incluimos como Región Anterior en nuestras ROIs.

Nuestro segundo resultado de los GLMM respecto al aumento de theta en ambas condiciones en la región frontal pueden interpretarse según la propuesta de que la actividad de la banda theta en la región frontal funciona también como un mecanismo de organización local y distal (Cavanagh & Frank, 2014). Lo cual se plantea a partir de la hipótesis de la existencia de un sistema predictivo de comunicación del cerebro mediante patrones de coactivación preparados para posibles demandas ambientales, fundamentado en el hecho de que la comunicación entre oscilaciones depende de ventanas temporales, las cuales se definen como el momento con mayor sensibilidad de entrada y de salida de un mensaje en un grupo neuronal. (Fries, 2015). Las ondas de frecuencias bajas, como theta, permiten que la comunicación sea más sencilla al tener ventanas temporales más amplias (Cavanagh & Frank, 2014).

A pesar de estas interpretaciones, aún no es claro el papel de la banda theta en las funciones de orden superior, puesto que puede servir como una onda genérica que permita la apertura prolongada de ventanas temporales que no requiere información concreta para preparar al organismo o que esta oscilación funciona como una alerta a neuromodulares distales específicos para cada función cognitiva (Cavanagh et al., 2012). De esta forma, y asociada al margen teórico

de este proyecto, cabe la posibilidad de que el consumo de proteína animal implique la ventaja de contar con más recursos de la potencia de theta en la región anterior como un mecanismo que promueve mayores oportunidades de comunicación neuronal a larga distancia en funciones de orden superior. Sin embargo, tampoco queremos dejar de lado la posibilidad de que el aumento de theta encontrado en este trabajo sea en realidad actividad alfa lenta, pues en el caso de la banda theta de 4 a 7.5 Hz esta se podría reflejar actividad alfa lenta (Klimesch, 1999), a lo que se sugiere utilizar otro tipo de análisis de potencia y/o de frecuencia media en futuros estudios.

Asimismo, pudimos observar que las condiciones ambientales en las que los individuos se desarrollan y las variaciones entre el acceso a recursos nutricionales específicos que se encuentran limitados entre individuos, que en este caso son las proteínas animales, tienen un efecto en la actividad eléctrica cerebral de base en periodos sensibles del neurodesarrollo.

#### **XIV. CONCLUSIONES**

El objetivo principal de este trabajo de tesis fue estudiar la relación entre el consumo de proteína animal y la actividad de base de niños y niñas de comunidades indígenas aisladas, cuyo estilo de vida predispone a los individuos a una menor disponibilidad de recursos, entre los más destacados, los alimentos de origen animal cuyo mayor aporte nutricional son las proteínas. Se implementó el indicador de diferencias medias de la potencia absoluta entre regiones anteriores y posteriores de cada hemisferio y la PA de las regiones anterior y posterior.

En respuesta a la pregunta de investigación, la actividad de base se relaciona con el CPA únicamente en frecuencias de la banda theta: una relación negativa en las diferencias medias de PA de ambos hemisferios en OA y una relación positiva con la PA de la región anterior en las dos condiciones evaluadas. Los datos encontrados fueron diferentes a lo esperado y son opuestos a los hallazgos que reporta la literatura científica en estudios de la relación entre consumo de proteína y neurodesarrollo. No obstante, se plantea la posibilidad de las ventajas que promueve el aumento de theta en regiones anteriores y en estados de reposo. Este estudio llevado a cabo en una comunidad marginada nos permite vislumbrar los efectos de la limitación de recursos durante edades en las cuales el proceso de neurodesarrollo continúa y se encuentra en un periodo de alta vulnerabilidad.

Por otro lado, uno de los mayores aportes que este proyecto pretende generar es la promoción de la investigación con perspectiva ecológica y de inclusión social en el área de psicofisiología -y en general en la investigación básica- con el fin de promover el reconocimiento de las necesidades de diferentes miembros de la sociedad, generar proyectos de investigación que velen por la restitución de los derechos básicos (el derecho a la salud, a la alimentación de calidad y suficiente) y que tomen en consideración todas aquellas variables específicas de la población y de cada

individuo. Finalmente, formar nuevos cuestionamientos sobre los diferentes efectos dependientes de las condiciones y desafíos a los que se enfrenten las personas dependiendo de su ambiente y las adaptaciones o conductas que se verán reflejadas.

### **Perspectivas**

Es importante resaltar que encontramos diferentes áreas de oportunidad a tener presentes en próximos estudios, entre estas que el indicador de consumo de proteína animal fue de carácter cualitativo no experimental, por lo que se sugiere emplear alguno de corte cuantitativo y/o bioquímico, así como estudiar el efecto de otros nutrientes. Además, sería enriquecedor generar estudios en los que se ponga en práctica la funcionalidad de la actividad eléctrica mediante paradigmas acorde a la edad. Respecto al análisis cuantitativo de la señal, en este trabajo de tesis se analizó la actividad mediante el uso de bandas anchas, sin embargo, se recomienda realizar análisis de banda estrecha, debido a que en estos periodos del neurodesarrollo existen marcadores específicos en forma de picos en el espectro de potencia relacionados a Hz particulares y no a bandas anchas (Klimesch, 1999). A partir de esto, se invita a realizar los próximos estudios empleando otros tipos de medidas del EEG, entre estas: sincronía, potencia relativa, análisis de componentes principales, entre otros.

Nuestros resultados destacan una relación entre el consumo dietético de un recurso limitado, cuya función estructural es de suma relevancia para el desarrollo y la actividad eléctrica de base, además de generar una aportación a la investigación en comunidades con diferentes estilos de vida para conocer los efectos de las diferentes presiones ecológicas sobre el neurodesarrollo de los individuos. Para continuar esta línea de investigación, también sugerimos realizar estudios comparativos entre diferentes comunidades, por ejemplo, contrastar la actividad eléctrica cerebral de niñas y niños de regiones urbanizadas con poblaciones indígenas y reconocer si las

diferentes presiones ecológicas a las que se someten los individuos impactan en la actividad eléctrica.

## XV. REFERENCIAS

- Agarwal, K. N., Das, D., Agarwal, D. K., Upadhyay, S. K., & Mishra, S. (1989). Soft neurological signs and EEG pattern in rural malnourished children. *Acta Paediatrica Scandinavica*, 78(6), 873–878. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/2603713>
- Alamy, M., & Bengelloun, W. A. (2012). Neuroscience and Biobehavioral Reviews Malnutrition and brain development : An analysis of the effects of inadequate diet during different stages of life in rat. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 36(6), 1463–1480. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2012.03.009>
- Barragán, M. D. R. R. (2007). La educación en nutrición, hacia una perspectiva social en México. In *Revista Cubana de Salud Publica*. <https://doi.org/10.1590/s0864-34662007000100015>
- Boege, K., Cordero, C., Drummond, H., Eguiarte, L. E., Córdoba, A., Cordero, C., Domínguez, C. A., Drummond, H., & Eguiarte, L. E. (2011). *La ecología evolutiva interfase de la ecología y la evolución*.
- Borre, Y. E., O’Keeffe, G. W., Clarke, G., Stanton, C., Dinan, T. G., & Cryan, J. F. (2014). Microbiota and neurodevelopmental windows: implications for brain disorders. In *Trends in molecular medicine* (Vol. 20, Issue 9, pp. 509–518). <https://doi.org/10.1016/j.molmed.2014.05.002>
- Bourre, J. M. (2006). Effects of nutrients (in food) on the structure and function of the nervous system: update on dietary requirements for brain. Part 2 : macronutrients. *The Journal of Nutrition, Health & Aging*, 10(5), 386–399. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2006.09.019>
- Bullmore, E., & Sporns, O. (2012). The economy of brain network organization. *Nature Reviews Neuroscience*, 13(5), 336–349. <https://doi.org/10.1038/nrn3214>

- Burggren, W. W., & Mueller, C. A. (2015). Developmental Critical Windows and Sensitive Periods as Three-Dimensional Constructs in Time and Space. *Physiological and Biochemical Zoology*, 88(2), 91–102. <https://doi.org/10.1086/679906>
- Burnham, K. P., & Anderson, D. R. (2004). Multimodel inference: Understanding AIC and BIC in model selection. *Sociological Methods and Research*, 33(2), 261–304. <https://doi.org/10.1177/0049124104268644>
- Buzsáki, G. (2007). The structure of consciousness. *Nature*, 446(7133), 267. <https://doi.org/10.1038/446267a>
- Buzsáki, G. (2009). Rhythms of the Brain. In *Rhythms of the Brain*. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780195301069.001.0001>
- Buzsáki, G., Anastassiou, C. A., & Koch, C. (2012). The origin of extracellular fields and currents-EEG, ECoG, LFP and spikes. *Nature Reviews Neuroscience*, 13(6), 407–420. <https://doi.org/10.1038/nrn3241>
- Cavanagh, J. F., & Frank, M. J. (2014). Frontal theta as a mechanism for cognitive control. In *Trends in Cognitive Sciences* (Vol. 18, Issue 8, pp. 414–421). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2014.04.012>
- Cavanagh, J. F., Zambrano-Vazquez, L., & Allen, J. J. B. (2012). Theta lingua franca: A common mid-frontal substrate for action monitoring processes. *Psychophysiology*, 49(2), 220–238. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2011.01293.x>
- Centre for Genomic Pathogen Surveillance. (2020). Dietary protein quality evaluation in human nutrition: report of an FAO expert consultation, 31 March-2 April, 2011, Auckland, New Zealand. In *FAO food and nutrition paper* (Issue 92). <https://five.epicollect.net/>
- CONEVAL. (2018). *Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social*.

*Estudio Diagnóstico del Derecho a la Alimentación Nutritiva y de Calidad.* 72.

[https://www.coneval.org.mx/Evaluacion/IEPSM/Documents/Derechos\\_Sociales/Estudio\\_Diag\\_Alum\\_2018.pdf](https://www.coneval.org.mx/Evaluacion/IEPSM/Documents/Derechos_Sociales/Estudio_Diag_Alum_2018.pdf)

Constant, I., & Sabourdin, N. (2012). The EEG signal: A window on the cortical brain activity.

*Paediatric Anaesthesia*, 22(6), 539–552. <https://doi.org/10.1111/j.1460-9592.2012.03883.x>

Damoiseaux, J. S., Rombouts, S. A. R. B., Barkhof, F., Scheltens, P., Stam, C. J., Smith, S. M.,

& Beckmann, C. F. (2006). Consistent resting-state networks across healthy subjects.

*Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103(37), 13848–13853.

<https://doi.org/10.1073/pnas.0601417103>

Deco, G., Jirsa, V. K., & McIntosh, A. R. (2013). Resting brains never rest: Computational

insights into potential cognitive architectures. *Trends in Neurosciences*, 36(5), 268–274.

<https://doi.org/10.1016/j.tins.2013.03.001>

Demas, G. E., & Nelson, R. J. (2012). Ecoimmunology. In *Fish vaccination* (Vol. 28, Issue 2).

<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Engel, R. (1956). Abnormal brain wave patterns in Kwashiorkor. *Electroencephalography and*

*Clinical Neurophysiology*, 8(3), 489–500. [https://doi.org/10.1016/0013-4694\(56\)90015-3](https://doi.org/10.1016/0013-4694(56)90015-3)

Esquivel Hernández, G. (2015). *Desigualdad Extrema en México. Concentración del Poder*

*Económico y Político por Gerardo Esquivel Hernández Desigualdad Extrema en México Concentración del Poder Económico y Político.* 41.

Fair, D. A., Cohen, A. L., Dosenbach, N. U. F., Church, J. A., Miezin, F. M., Barch, D. M.,

Raichle, M. E., Petersen, S. E., & Schlaggar, B. L. (2008). *The maturing architecture of the brain 's default network.* 1–5.

Fernández, P. L. E. and P. D. (2010). INCAP studies of malnutrition and cognitive behavior.

*Food and Nutrition Bulletin*, 31(1), 83–94.

<http://www.embase.com/search/results?subaction=viewrecord&from=export&id=L3589329>

81

- Fox, K. C. R., Foster, B. L., Kucyi, A., Daitch, A. L., & Parvizi, J. (2018). Intracranial Electrophysiology of the Human Default Network. *Trends in Cognitive Sciences*, 22(4), 307–324. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2018.02.002>
- Fries, P. (2015). Rhythms For Cognition: Communication Through Coherence. *Neuron*, 88(1), 220–235. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2015.09.034>
- Gasser, T., Jennen-Steinmetz, C., Sroka, L., Verleger, R., & Möcks, J. (1988). Development of the EEG of school-age children and adolescents II. Topography. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 69(2), 100–109. [https://doi.org/10.1016/0013-4694\(88\)90205-2](https://doi.org/10.1016/0013-4694(88)90205-2)
- Gasser, T., Verleger, R., B~, P., & Sroka, L. (1988). *Development of the EEG of school-age children and adolescents. I. Analysis of band power* (Vol. 69).
- Geist, V. (2011). Life Strategies, Human Evolution, Environmental Design. In *Life Strategies, Human Evolution, Environmental Design*. Springer New York. <https://doi.org/10.1007/978-1-4612-6325-8>
- Georgieff, M. K. (2007). Nutrition and the developing brain: nutrient priorities and measurement 1-3 Michael K Georgieff. In *The American Journal of Clinical Nutrition* (Vol. 85). <https://academic.oup.com/ajcn/article-abstract/85/2/614S/4649636>
- Gogtay, N., Giedd, J. N., Lusk, L., Hayashi, K. M., Greenstein, D., Vaituzis, A. C., Nugent, T. F., Herman, D. H., Clasen, L. S., Toga, A. W., Rapoport, J. L., & Thompson, P. M. (2004). Dynamic mapping of human cortical development during childhood through early

- adulthood. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *101*(21), 8174–8179.  
<https://doi.org/10.1073/pnas.0402680101>
- Gramsbergen, A. (1976). EEG development in normal and undernourished rats. *Brain Research*, *105*(2), 287–308. [https://doi.org/10.1016/0006-8993\(76\)90426-1](https://doi.org/10.1016/0006-8993(76)90426-1)
- Harmony, Thalía, Alvarez, A., Pascual, R., Ramos, A., Marosi, E., Díaz De León, A. E., Valdés, P., & Becker, J. (1988). EEG maturation on children with different economic and psychosocial characteristics. *International Journal of Neuroscience*, *41*(1–2), 103–113.  
<https://doi.org/10.3109/00207458808985747>
- Harmony, Thalia, Marosi, bet, Diaz de Le, A. E., Becker, J., & Fern, T. (1990). *Effect of sex, psychosocial disadvantages and biological risk factors on EEG maturation* (Vol. 75).
- Hermens, D. F., Soei, E. X. C., Clarke, S. D., Kohn, M. R., Gordon, E., & Williams, L. M. (2005). Resting EEG theta activity predicts cognitive performance in attention-deficit hyperactivity disorder. *Pediatric Neurology*, *32*(4), 248–256.  
<https://doi.org/10.1016/j.pediatrneurol.2004.11.009>
- Herrmann, C. S., Strüber, D., Helfrich, R. F., & Engel, A. K. (2016). EEG oscillations: From correlation to causality. In *International Journal of Psychophysiology*.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2015.02.003>
- Heys, M., Jiang, C., Schooling, C. M., Zhang, W., Cheng, K. K., Lam, T. H., & Leung, G. M. (2010). Is childhood meat eating associated with better later adulthood cognition in a developing population? *European Journal of Epidemiology*, *25*(7), 507–516.  
<https://doi.org/10.1007/s10654-010-9466-0>
- Hoffman, J. R., & Falvo, M. J. (2004). Protein - Which is best? *Journal of Sports Science and Medicine*, *3*(3), 118–130.

- Holliday, M. A. (1986). Body Composition and Energy Needs during Growth. In *Postnatal Growth Neurobiology*. [https://doi.org/10.1007/978-1-4899-0522-2\\_5](https://doi.org/10.1007/978-1-4899-0522-2_5)
- Institute of Medicine (IOM). (2000). DRI Dietary Reference Intakes: Applications in dietary assessment. In *National Academy Press (US)*.
- Jasper, H. (1958). The ten twenty electrode system of the international federation. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*.
- Johnson, S. B., Riis, J. L., & Noble, K. G. (2016). State of the Art Review: Poverty and the Developing Brain. *Pediatrics*, *137*(4), e20153075–e20153075. <https://doi.org/10.1542/peds.2015-3075>
- Kaplan, H. (2000). A Theory of Human Life History Evolution; Diet, Intelligence, and Longevity. Part 1. *Evolutionary Anthropology*, *9*, 173–185.
- Klimesch, W. (1999a). EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: a review and analysis. *Brain Research Reviews*, *29*(2-3), 169–195. doi:10.1016/S0165-0173(98)00056-3 [https://doi.org/10.1016/S0165-0173\(98\)00056-3](https://doi.org/10.1016/S0165-0173(98)00056-3)
- Klimesch, W. (1999b). EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: a review and analysis. *Brain Research Reviews*, *29*(2-3), 169–195. doi:10.1016/S0165-0173(98)00056-3 [https://doi.org/10.1016/S0165-0173\(98\)00056-3](https://doi.org/10.1016/S0165-0173(98)00056-3)
- Kuczumski, R. J., Ogden, C. L., Grummer-Strawn, L. M., Flegal, K. M., Guo, S. S., Wei, R., Mei, Z., Curtin, L. R., Roche, A. F., & Johnson, C. L. (2000). CDC growth charts: United

States. *Advance Data*.

- Kuklina, E. V., Ramakrishnan, U., Stein, A. D., Barnhart, H. H., & Martorell, R. (2006). Early childhood growth and development in rural Guatemala. *Early Human Development, 82*(7), 425–433. <https://doi.org/10.1016/j.earlhumdev.2005.10.018>
- Kuzawa, C. W., Chugani, H. T., Grossman, L. I., Lipovich, L., Muzik, O., Hof, P. R., Wildman, D. E., Sherwood, C. C., Leonard, W. R., & Lange, N. (2014). Metabolic costs and evolutionary implications of human brain development. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 111*(36), 13010–13015. <https://doi.org/10.1073/pnas.1323099111>
- Levav, M., Cruz, M., & Mirsky, A. (1995). EEG abnormalities, malnutrition, parasitism and goitre: a study of schoolchildren in Ecuador. *Acta Paediatrica, 84*(2), 197–202. <https://doi.org/10.1111/j.1651-2227.1995.tb13609.x>
- Marx, E., Deutschländer, A., Stephan, T., Dieterich, M., Wiesmann, M., & Brandt, T. (2004). Eyes open and eyes closed as rest conditions: Impact on brain activation patterns. *NeuroImage, 21*(4), 1818–1824. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2003.12.026>
- Morgane, P. J., Austin, K., Siok, C., LaFrance, R., & Bronzino, J. D. (1985). Power spectral analysis of hippocampal and cortical EEG activity following severe prenatal protein malnutrition in the rat. *Developmental Brain Research, 22*(2), 211–218. [https://doi.org/10.1016/0165-3806\(85\)90172-5](https://doi.org/10.1016/0165-3806(85)90172-5)
- Nelson, G. K. (1959). The electroencephalogram in kwashiorkor. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, 11*(1). [https://doi.org/10.1016/0013-4694\(59\)90009-4](https://doi.org/10.1016/0013-4694(59)90009-4)
- ONU, A. G. de la. (1948). DECLARACIÓN UNIVERSAL DE LOS DERECHOS HUMANOS Preámbulo,. *Onu, Iii*, 14–15.
- Oostenveld, R., Fries, P., Maris, E., & Schoffelen, J. M. (2011). FieldTrip: Open source software

- for advanced analysis of MEG, EEG, and invasive electrophysiological data. *Computational Intelligence and Neuroscience*. <https://doi.org/10.1155/2011/156869>
- Otero, G. A., Pliego-Rivero, F. B., Fernández, T., & Ricardo, J. (2003). EEG development in children with sociocultural disadvantages: A follow-up study. *Clinical Neurophysiology*, *114*(10), 1918–1925. [https://doi.org/10.1016/S1388-2457\(03\)00173-1](https://doi.org/10.1016/S1388-2457(03)00173-1)
- Pannemans, D. L. E., Wagenmakers, A. J. M., Westerterp, K. R., Schaafsma, G., & Halliday, D. (1998). Effect of protein source and quantity on protein metabolism in elderly women. *American Journal of Clinical Nutrition*, *68*(6), 1228–1235. <https://doi.org/10.1093/ajcn/68.6.1228>
- Perez-Lizaur, A. B., Palacios-González, B., & Castro Becerra, A. L. (2014). Sistema Mexicano de Alimentos Equivalentes. In *Cuadernos De Nutricion (Fomento De Nutricion Y Salud)* (Vol. 4ta).
- Prado, E. L., & Dewey, K. G. (2014). Nutrition and brain development in early life. *Nutrition Reviews*, *72*(4), 267–284. <https://doi.org/10.1111/nure.12102>
- R Core Team. (2020). *R: A language and environment for statistical computing*. <https://www.r-project.org/>
- Raichle, M. E. (2015). The Brain's Default Mode Network. *Annual Review of Neuroscience*, *38*(1), 433–447. <https://doi.org/10.1146/annurev-neuro-071013-014030>
- Resnick, O., Miller, M., Forbes, W., Hall, R., Kemper, T., Bronzino, J., & Morgane, P. J. (1979). Developmental protein malnutrition: Influences on the central nervous system of the rat. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, *3*(4), 233–246. [https://doi.org/10.1016/0149-7634\(79\)90011-3](https://doi.org/10.1016/0149-7634(79)90011-3)
- Ricardo-Garcell, J. (2004). Aportes del electroencefalograma convencional y el análisis de

- frecuencias para el estudio del Trastorno por Déficit de Atención. Primera parte. *Salud Mental*, 27(1), 22–27.
- Rice, D., & Barone, S. (2000). Critical Periods of Vulnerability for the Developing Nervous System : Evidence from Humans and Animal Models. *Environmental Health Perspectives Supplements*, 108(June), 511–533.
- Schmuckler, M. (2001). What is Ecological Validity? *Infancy*, 2(4), 419–436.
- Solís-Vivanco, R., Jensen, O., & Bonnefond, M. (2018). Top–down control of alpha phase adjustment in anticipation of temporally predictable visual stimuli. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 30(8). [https://doi.org/10.1162/jocn\\_a\\_01280](https://doi.org/10.1162/jocn_a_01280)
- Soroko, S. I., Shemyakina, N. V., Nagornova, Z. V., & Bekshaev, S. S. (2014). Longitudinal study of EEG frequency maturation and power changes in children on the Russian North. *International Journal of Developmental Neuroscience*, 38, 127–137.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijdevneu.2014.08.012>
- Stearns, S. C. (1972). *The Evolution of Life History Traits : A Critique of the Theory and a Review of the Data* Author ( s ): Stephen C . Stearns Source : *Annual Review of Ecology and Systematics* , Vol . 8 ( 1977 ) , pp . 145-171 Published by : Annual Reviews Stable URL : [http://.8\(1977\),145–171](http://.8(1977),145-171).
- Tan, B., Kong, X., Yang, P., Jin, Z., & Li, L. (2013). The difference of brain functional connectivity between eyes-closed and eyes-open using graph theoretical analysis. *Computational and Mathematical Methods in Medicine*, 2013.  
<https://doi.org/10.1155/2013/976365>
- Tau, G. Z., & Peterson, B. S. (2010). Normal development of brain circuits. *Neuropsychopharmacology*, 35(1), 147–168. <https://doi.org/10.1038/npp.2009.115>

- Thut, G., Miniussi, C., & Gross, J. (2012). The functional importance of rhythmic activity in the brain. In *Current Biology* (Vol. 22, Issue 16). <https://doi.org/10.1016/j.cub.2012.06.061>
- Turkheimer, E., Haley, A., Waldron, M., D'Onofrio, B., & Gottesman, I. I. (2003). Socioeconomic status modifies heritability of IQ in young children. *Psychological Science*, *14*(6), 623–628. [https://doi.org/10.1046/j.0956-7976.2003.psci\\_1475.x](https://doi.org/10.1046/j.0956-7976.2003.psci_1475.x)
- Uddin, L. Q., Kelly, A. M. C., Biswal, B. B., Castellanos, F. X., & Milham, M. P. (2009). Functional Connectivity of Default Mode Network Components: Correlation, Anticorrelation, and Causality. *Human Brain Mapping*, *30*(2), 625–637. <https://doi.org/10.1002/hbm.20531>
- Uhlhaas, P. J., Roux, F., Rodriguez, E., Rotarska-Jagiela, A., & Singer, W. (2010). Neural synchrony and the development of cortical networks. In *Trends in Cognitive Sciences* (Vol. 14, Issue 2, pp. 72–80). <https://doi.org/10.1016/j.tics.2009.12.002>
- Waterlow, J. C. (1973). Nutrition and the Developing Brain. *The Lancet*, *301*(7800), 425–426. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(73\)90281-X](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(73)90281-X)
- Waterlow, J. C., & Schrimshaw, N. S. (1957). The concept of kwashiorkor from a public health point of view. *Bulletin of the World Health Organization*.

## XVI. ANEXOS

### ANEXO 1. CUESTIONARIO DE FRECUENCIA DE CONSUMO DE ALIMENTOS

NOMBRE \_\_\_\_\_.

NOMBRE DE LA MADRE \_\_\_\_\_.

CÓDIGO \_\_\_\_\_.

FECHA \_\_\_\_\_.

**INSTRUCCIONES:** A continuación, se presenta una lista de alimentos, de las cuales usted deberá colocar en la casilla correspondiente la frecuencia de veces a la semana y veces al día en que consume su hijo consume cada uno de los alimentos, tomando en cuenta la porción que se especifica.

**INSTRUCCIONES PARA EL APLICADOR:** Si usted aplicará el cuestionario a otra persona, debe hacer la pregunta ¿Cuántos días a la semana su hijo come o toma (la porción del alimento especificada)? ¿Cuántas veces al día? Y colocar la respuesta en la casilla correspondiente.

Alimento	Porción	Días de la semana ¿Cuántos días comió o tomó usted?	Veces al día ¿Cuántas veces al día comió o tomó usted?
Leche	1 vaso (240ml)		
Yogur	1 envase (150g)		
Naranja o mandarina	1 pieza mediana		
Plátano	1 pieza mediana		
Manzana o pera	1 pieza mediana		
Melón o sandía	1 pieza mediana		
Guayaba	1 pieza mediana		
Papaya	1 rebanada mediana		
Fresa	1 taza (140g)		
Jitomate	½ pieza chica (30g)		
Hojas verdes (acelgas, espinacas, quelites)	½ plato (85 g) cocidas o 1 plato crudas		
Aguacate	1 rebanada (33g)		
Zanahoria	1 pieza chica (50g)		

Brócoli	¼ taza		
Elote	½ pieza chica (50g)		
Nopales	1 pieza mediana (70g)		
Chile	1 pieza mediana (80g)		
Cebolla	1 cucharada sopera (7g)		
Carne de puerco	1 bistec chico (55g)		
Carne de res	1 bistec chico (55g)		
Pollo	1 pieza (90g)		
Huevo	1 pieza entera (62g)		
Pescado	½ filete mediano (45g)		
Frijoles de la olla	½ plato (50g)		
Lenteja, garbanzo, haba, alubias	½ plato (50g)		
Arroz	1 taza (100g)		
Papa	½ taza mediana cocida (40g)		
Tamal	1 pieza (200g)		
Atole de maíz	1 taza (240ml)		
Refresco	1 vaso (240ml)		
Jugos naturales	1 vaso (240ml)		
Dulces	1 pieza (30g)		
Frituras	1 paquete individual (35g)		
Caldo de pollo	½ taza (120ml)		
Azúcar	1 cucharada sopera (10g)		
Manteca animal	1 cucharada sopera (10g)		
Sal			
Tortilla (gr)			
Tortilla hecha en casa (gr)			

**INSTRUCCIONES:** Responda las siguientes preguntas acerca de su embarazo y primeros años de vida de su hijo o hija.

¿Hay algún alimento que usted consuma con frecuencia y no se encuentre en la lista? Especifique el alimento y la porción que consume. \_\_\_\_\_.

¿Cuántas veces a la semana lo consume? \_\_\_\_\_.

¿Cuántas veces al día? \_\_\_\_\_.

Tiempo de lactancia (especifique meses o años) \_\_\_\_\_.

Tiempo de gestación (meses) \_\_\_\_\_.

Tipo de nacimiento \_\_\_\_\_.

¿Consumió algún suplemento durante el embarazo? \_\_\_\_\_.

Especifique la cantidad y frecuencia \_\_\_\_\_.

¿Su hijo consumió algún suplemento alimenticio durante los primeros años de vida? \_\_\_\_\_.

**ANEXO 2. Tabla de medidas antropométricas.**

**NOMBRE DE LA MADRE**\_\_\_\_\_.

**NOMBRE**\_\_\_\_\_.

**CÓDIGO**\_\_\_\_\_ **FECHA**\_\_\_\_\_.

**INSTRUCCIONES:** Se tomarán las medidas antropométricas y se anotarán en la casilla correspondiente. El perímetro cefálico y perímetro del brazo se tomarán 3 veces y se obtendrá un promedio de estas medidas.

<b>Peso</b>			
<b>Estatura</b>			
	<b>Medida 1</b>	<b>Medida 2</b>	<b>Medida 3</b>
<b>Perímetro Cefálico</b>			
<b>Perímetro del Brazo</b>			

**Carta de Consentimiento informado para participar en la investigación “Efecto de las presiones ecológicas sobre el neurodesarrollo humano: Costos de los patógenos sobre el funcionamiento dinámico cerebral”**

**Investigador principal:** Dr. Isaac González Santoyo

**Sede donde se realizará el estudio:** Región “La Montaña, Ayutla, Guerrero México y CdMx.

**Nombre del participante:**

Estamos invitándole a que permita que su hijo (a) participe en este estudio y antes de que Ud. decida si participa o no es muy importante que conozca el objetivo, los procedimientos, los beneficios y los riesgos del mismo, a esto se le conoce como consentimiento informado. Siéntase con absoluta libertad para preguntar sobre cualquier duda que tenga al respecto. Una vez que haya comprendido en qué consiste el estudio y cuando sus dudas queden aclaradas, se le pedirá que firme este formato de consentimiento. Se le entregará una copia firmada y fechada.

Con el estudio queremos conocer cuál es el efecto que tiene presencia de ciertos parásitos gastrointestinales sobre el desarrollo del cerebro de los niños. Esperamos poder determinar si existen parásitos gastrointestinales en los niños y evaluar si esto afecta el su funcionamiento cerebral.

En caso de aceptar que su niño(a) participe, al finalizar la investigación, Ud. podrá conocer el estado de salud gastrointestinal de su hijo, así como del funcionamiento de su cerebro. Si fuese detectado algún tipo de parásito en su niño (a), el médico le recetará el tipo y dosis del medicamento adecuado para atacar al parásito.

Para poder realizar el estudio, le pediremos nos permita tomar alguna medidas de su hijo(a) (estatura, peso, cabeza, cintura, pierna, brazo y hombros), también limpiaremos con un líquido ciertos sitios en la cabeza del niño(a), le colocaremos una gorra en la cabeza y una crema, con ella podremos medir cómo está funcionando el cerebro y en ningún momento causaremos dolor alguno. Además, se le pedirá tres muestras diferentes de excremento de su hijo(a), para que sean analizadas en el Laboratorio de Neurociencias Compartido, para determinar si hay alguna infección gastrointestinal.

Es importante que Ud. sepa que al limpiar o colocar la crema en el cuero cabelludo pudiera presentarse alguna irritación, pero está no pone en riesgo ni la salud ni la integridad de su hijo.

La decisión de participar en el estudio es completamente voluntaria y en caso de no aceptar la invitación, no habrá consecuencia desfavorable para Ud. o su familia. Aunque no recibirá dinero por su participación, durante el estudio no tendrá que hacer gasto alguno y en el transcurso Ud. podrá solicitar información actualizada sobre el mismo, al investigador responsable.

Debe saber que si decide que su hijo(a) participe, puede retirarlo en el momento que lo desee, aunque el investigador responsable no se lo solicite. Puede comunicar o no las razones de su decisión, en todo momento su integridad y la de su familia será respetada. Además, la información obtenida del estudio será mantenida en estricta confidencialidad por el grupo de investigadores.

Si Ud. no tiene más preguntas y acepta la participación en el estudio, sírvase firmar la siguiente

## CARTA DE CONSENTIMIENTO INFORMADO

A mí, \_\_\_\_\_ me han leído y he comprendido la información anterior. Mis preguntas han sido respondidas de manera satisfactoria. He sido informado y entiendo que los datos obtenidos en el estudio pueden ser publicados o difundidos con fines científicos. Convengo en participar en este estudio de investigación. Recibiré una copia firmada y fechada de esta forma de consentimiento. \_\_\_\_\_

**Firma del participante o del padre o tutor      Fecha**

**Testigo 1      Fecha**

**Testigo 2      Fecha**

***Esta parte deberá ser completada por el Investigador (o su representante):***

He explicado al Sr(a). \_\_\_\_\_ la naturaleza y los propósitos de la investigación; le he explicado acerca de los riesgos y beneficios que implica su participación. He contestado a las preguntas en la medida de lo posible y he preguntado si tiene alguna duda. Acepto que he leído y conozco la normatividad correspondiente para realizar investigación con seres humanos y me apego a ella.

Una vez concluida la sesión de preguntas y respuestas, se procedió a firmar el presente documento.

**Firma del investigador      Fecha**

ccp. El participante

NOTA: Esta forma se deberá elaborar por duplicado, una copia deberá quedar el poder del participante

**Carta de Revocación del Consentimiento informado para participar en la investigación  
“Efecto de las presiones ecológicas sobre el neurodesarrollo humano: Costos de los  
patógenos sobre el funcionamiento dinámico cerebral”**

**Investigador principal:** Dr. Isaac González Santoyo

**Sede donde se realizará el estudio:** Región “La Montaña, Ayutla, Guerrero México y CdMx.

**Nombre del participante:**

Por este conducto deseo informar mi decisión de retirarme de este protocolo de investigación por las siguientes razones (la descripción de las razones es opcional y puede quedarse en blanco si el participante así lo desea):

---

---

---

---

---

NOTA: Si el participante así lo decide, podrá solicitar le sea entregada toda la información que se haya recabado sobre su hijo(a), con motivo de su participación en el presente estudio.

---

**Firma del participante o del padre o tutor**

---

**Fecha**

---

**Testigo**

---

**Fecha**

---

**Testigo**

---

**Fecha**

ccp. El participante

NOTA: Esta forma se deberá elaborar por duplicado, una copia deberá quedar el poder del participante