



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
PROGRAMA DE POSGRADO FACULTAD DE PSICOLOGÍA  
NEUROCIENCIAS DE LA CONDUCTA

DETERMINANTES NUTRICIONALES Y SOCIOECONÓMICOS DEL  
DESARROLLO DE LAS FUNCIONES NEUROPSICOLÓGICAS EN NIÑOS DE 6 A 10  
AÑOS DE EDAD DE LA ZONA MAZAHUA DEL ESTADO DE MÉXICO

**TESIS**  
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:  
DOCTORA EN PSICOLOGÍA

PRESENTA:  
**MARSELA ALEJANDRA ALVAREZ IZAZAGA**

TUTORES PRINCIPALES:  
**DR. JUAN FERNÁNDEZ RUIZ**  
DEPARTAMENTO DE FISIOLOGÍA, FACULTAD DE MEDICINA. UNAM  
**DRA. JUDITH SALVADOR CRUZ**  
DEPARTAMENTO DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES ZARAGOZA. UNAM  
**DR. ADOLFO CHÁVEZ VILLASANA**  
INSTITUTO NACIONAL DE CIENCIAS MÉDICAS Y NUTRICIÓN SALVADOR  
ZUBIRÁN  
**DR. ISRAEL VACA PALOMARES**  
FACULTAD DE PSICOLOGÍA. UNAM  
**DRA. LUCÍA AMELIA LEDESMA TORRES**  
JEFATURA NACIONAL DE SALUD MENTAL, ISSSTE

Ciudad Universitaria, CDMX.  
Agosto, 2024

## Agradecimientos

**A Dios.** Porque gracias a Él soy, porque Es mi motor, mi Fuente de energía, mi Razón de vivir, mi Alegría, mi Todo.

**A mi Padre.** Porque siempre me impulsaste a estudiar, a trabajar, a ser independiente y a ser autosuficiente. ¡¡¡¡Papi, por fin seré la doctora que te prometí!!! jejeje.

**A mi Madre.** Porque siempre estás al pendiente de mí como buena mamá. También te lo debo, porque eres una guerrera que siempre lucha por lo que quiere y lo consigue. Gracias por tu ejemplo de vida.

**A mi Abue Rafa.** Por su cariño, por sus apapachos, por ser el origen de la feminidad en la familia y por su ejemplo de fortaleza.

**A mi Esposo.** Porque siempre me has apoyado para que haga lo que me gusta, lo que me apasiona. Gracias porque siempre cuento con tu apoyo en las buenas y en las malas, en la salud y la enfermedad, en lo próspero y en lo adverso. Gracias por tu amor incondicional.

**A mis Hermanos.** A **Carmen, Manuel, Miguel, Rosario, Paola, Etza, Tina y Marinita** por todo el amor que siempre me han brindado, por todo su apoyo incondicional, porque son quienes me inyectan alegría en todas nuestras reuniones familiares.

**A mi Familia Política.** Mis cuñados y esposas, mis cuñadas y esposos, a mis comadres, los quiero y les agradezco todo su cariño y su aceptación como un miembro más de la familia Roldán.

**A mis Sobrinos y Ahijados.** **José Manuel, Fabiola, Gerardo, Mauricio, Karla, Leo, Josué, Ruth, Ara, Isaac, Rodrigo y Cristian** porque sé que ustedes también siguen el ejemplo de nuestra familia en el apoyo y ayuda solidaria en todo momento y en cualquier circunstancia. **Denissita** mil gracias por tus atinados consejos a lo largo de este proceso y por contagiarme tu alegría.

***A mi Comité Asesor:***

Al **Dr. Juan Fernández Ruiz** porque siempre me apoyó en todo lo que le propuse y siempre fue como un ángel en todo el proceso del doctorado. Gracias por su sencillez y por impulsar a sus alumnos a terminar con lo que han iniciado. Gracias por su infinita paciencia.

Al **Dr. Adolfo Chávez Villasana** porque siempre me brindó los medios necesarios para poder llevar a cabo este proyecto y porque siempre ha enriquecido con sus conocimientos todo mi trabajo antes, durante y después del doctorado. Gracias por siempre compartirnos su sabiduría y su gran experiencia.

A la **Dra. Judith Salvador Cruz** por la constante motivación académica y profesional, por los valiosos conocimientos que siempre me brindó, por apoyarme en el trabajo de campo con sus alumnos. Mil gracias por sus consejos en todo el proceso académico, por su ejemplo de tenacidad y superación constante.

Al **Dr. Israel Vaca Palomares**, por impulsarme a hacer bien las cosas dentro de la disciplina y el orden, por transmitirme sus conocimientos y sobre todo por su enorme paciencia. Un abrazo donde quiera que te encuentres. ¡¡Todos te extrañamos mucho!!

A la **Dra. Lucía Ledesma** porque siempre me ha brindado su apoyo. Gracias por su ejemplo de disciplina, superación profesional y por sus grandes logros.

***A mis Amigos y Compañeros de Trabajo:***

Al **Dr. Abelardo Ávila** por insistir e insistir e insistir en que estudiara el doctorado. Gracias también por su gran paciencia, por su gran apoyo en la idea principal de este trabajo y por otorgar los medios para llevar a cabo el trabajo de campo.

A **Marco Quiroz, Anita Psico, Perlita, Sarita Montoya, Paty, Carlos, Marco Ávila, Blanca**, por haberme apoyado y acompañado en este proyecto.

**A todos los pasantes** que me apoyaron en las evaluaciones de antropometría, en las aplicaciones de los cuestionarios y pruebas de Signos Neurológicos Blandos, los que estudiaban en la FES Zaragoza, en la UAGRO, en la UAEM, en CU, mil gracias por su apoyo y su energía.

***A los Habitantes de Zona Mazahua:***

A la **señora Raquel** y su esposo, el **señor Alberto**, por su gran apoyo para conseguir la cantidad de niños que necesitaba, por acompañarme a las casas de los niños y a los maratones de la Zona Mazahua a Juriquilla y de regreso. Por su hermosa amistad. Gracias por abrirme las puertas de su hogar.

**A todos los padres y madres de los niños de este estudio** por su confianza y su gran apoyo.

**A todos los niños** que participaron en este estudio, por su inocencia, su cariño, su amistad, su confianza en mí, su alegría, por impulsarme para seguir adelante y porque siempre estaban dispuestos a participar. Los llevo en mi corazón.

A los **Directores de las escuelas primarias**, gracias por confiar en mí y en mi trabajo y por permitirme trabajar con los niños en las instalaciones educativas y aún en horarios de clase.

Al **Dr. Erick Humberto Pasaye Alcaraz** por su gran apoyo, profesionalismo y disposición para realizar los estudios de resonancia magnética en el Instituto de Neurobiología, UNAM, Campus Juriquilla.

Al **Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán** por ser una Institución tan noble y con gran capacidad para impulsar a sus trabajadores a desarrollarse y dar lo mejor de sí; y por apoyar con los vehículos para los traslados y con los viáticos posibles.

Al **Centro Comunitario de Apoyo a la Nutrición y el Neurodesarrollo Infantil (CECANNI)**, por haberme permitido usar sus instalaciones.

A los programas **PAPIIT IN214122 y CONAHCYT A1-S-10669** por otorgar el apoyo al Laboratorio de Neuropsicología Básica adscrito al Departamento de Fisiología, Facultad de Medicina, UNAM a cargo del Dr. Juan Fernández Ruiz.

**A todos mis compañeros** del Laboratorio de Neuropsicología por motivarme con sus logros y a seguir adelante y “no tirar la toalla”

## Contenido

Agradecimientos.....	2
Contenido.....	6
Resumen.....	10
Abstract.....	11
Introducción.....	12
Capítulo 1. Contexto de la Desnutrición Infantil .....	14
1.1. Medición del Crecimiento Infantil.....	18
1.2. Consecuencias de la Desnutrición Infantil.....	20
1.2.1. Desnutrición y Cognición .....	21
1.2.2. Desnutrición y Cognición en la Etapa Escolar.....	23
1.2.3. Desnutrición y Signos Neurológicos Blandos (SNB) .....	26
1.2.4. Desnutrición e Integridad Cerebral .....	27
Capítulo 2. Neurodesarrollo Normal .....	31
2.1. Neuropsicología del Desarrollo .....	34
2.1.1. Desarrollo Atencional.....	34
2.1.2. Desarrollo Mnésico .....	35
2.1.3. Desarrollo del Lenguaje.....	36
2.1.4. Desarrollo de las Funciones Ejecutivas .....	36
2.1.5. Desarrollo Visoespacial .....	37
2.1.6. Desarrollo de la Capacidad Motora.....	38
2.2. Neurodesarrollo y Nutrición.....	39

Nutrientes.....	40
Capítulo 3. Evaluación Neuropsicológica Infantil .....	44
3.1. Evaluación Neuropsicológica Infantil (ENI).....	44
3.2. Batería Luria de Diagnóstico Neuropsicológico Infantil, Luria-DNI.....	44
3.3. Cuestionario de Madurez Neuropsicológica Escolar (CUMANES) .....	45
3.4. Neuropsychological Assessment (NEPSY-II) .....	45
3.5. Escala de Inteligencia de Weschsler (WISC-IV).....	45
3.6. Cambridge Neuropsychological Testing Automated Battery (CANTAB) .....	45
3.6.1. Memoria Visual.....	46
3.6.2. Función Ejecutiva, Memoria de Trabajo y Pruebas de Planificación .....	46
3.6.3. Atención .....	47
3.7. Escala para Evaluar Signos Blandos ESNB-MX .....	51
Capítulo 4. Imagenología Cerebral por Resonancia Magnética .....	53
Capítulo 5. Método .....	56
5.1. Justificación .....	56
5.2. Pregunta de Investigación.....	57
5.3. Objetivo General .....	57
5.3.1. Objetivos Específicos .....	57
5.4. Hipótesis General .....	58
5.4.1. Hipótesis Específicas.....	58
5.5. Tipo de Estudio .....	58

5.6. Muestra.....	59
5.7. Variables.....	60
5.7.1. Antecedentes de Desnutrición en los Primeros Años de Vida.....	60
5.7.2. Funciones neuropsicológicas.....	60
5.7.3. Signos Neurológicos Blandos. ....	61
5.7.4. Volumetría de la Materia Blanca Cerebral por Resonancia Magnética. ....	61
5.8. Instrumentos .....	61
5.8.1 Funciones Neuropsicológicas .....	61
5.9. Procedimiento .....	75
5.10. Análisis Estadístico .....	78
Capítulo 6. Resultados .....	80
6.1. Descriptivos .....	80
6.2. Resultados de las Variables Neuropsicológicas .....	81
6.2.1. Memoria .....	81
6.2.2. Funciones Ejecutivas.....	88
6.2.3. Atención .....	100
6.2.4. Signos Neurológicos Blandos .....	103
6.2.5. Imagenología Cerebral y Volumetría por Resonancia Magnética (RMV) ....	113
Capítulo 7. Discusión.....	115
7.1. Desnutrición y Memoria .....	116
7.2. Desnutrición y Funciones Ejecutivas (FE). ....	118

7.3. Desnutrición y Atención .....	121
7.4. Desnutrición y Signos Neurológicos Blandos .....	122
7.5. Desnutrición y Volumen de Materia Blanca .....	125
Capítulo 8. Conclusiones.....	127
Limitaciones y Sugerencias .....	131
Referencias .....	133

## Resumen

Conocer la importancia de la desnutrición en la infancia y cómo ésta repercute en años posteriores fue la justificación y el eje del presente estudio. Existen consecuencias para el resto de la vida, debido al problema de la mala nutrición y sobre todo en el órgano más importante del ser humano, el cerebro. Esta situación nos hace investigar con mucho detalle utilizando pruebas muy específicas en edades escolares, posteriores al episodio de la desnutrición las afecciones al cerebro por ese problema inicial. Existen datos que muestran que el organismo le da mucha preferencia a la protección del cerebro, pero también existen datos en los que sí se ve afectado. La desnutrición infantil, implica la posibilidad de un deficiente desarrollo neurológico, o incluso de un daño estructural permanente y de una deficiencia en las funciones cognitivas, como: atención, lenguaje, memoria, motricidad, que podrían resultar en bajo rendimiento escolar. Objetivo: caracterizar el estado de las funciones neuropsicológicas, la presencia de signos neurológicos blandos (SNB) y el volumen de materia blanca cerebral en niños mazahuas con desnutrición crónica, a través de evaluaciones neuropsicológicas y estudios de resonancia magnética. Estudio: transversal, comparativo, de campo, de casos y controles, observacional. Muestra: 54 niños(as) de 6 a 10 años, habitantes de localidades con alto grado de marginación, en la zona Mazahua del Estado de México: 36 niños con desnutrición de alto riesgo en los primeros 5 años de vida, y 18 niños que siempre tuvieron un estado de nutrición normal como controles. Variables: procesos cognitivos, presencia de signos neurológicos blandos (SNB) y volumen de materia blanca cerebral. Resultados: los niños con desnutrición presentaron SNB, puntajes bajos en varios procesos cognitivos y menor volumen de materia blanca. Sugerencia: dar seguimiento a estos niños para llegar a conclusiones más sólidas.

*Palabras clave:* Funciones neuropsicológicas, desnutrición crónica, niños, mazahuas, materia blanca cerebral.

## **Abstract**

Knowing the importance of malnutrition in childhood and how it affects later years was the justification and focus of this study. There are consequences for the rest of life, due to the problem of poor nutrition and especially in the most important organ of the human being, the brain. This situation makes us investigate in great detail using very specific tests at school ages, after the episode of malnutrition, the brain conditions caused by that initial problem. There is data that shows that the body gives a lot of preference to protecting the brain, but there is also data that it is affected. Child malnutrition implies the possibility of poor neurological development, or even permanent structural damage and a deficiency in cognitive functions, such as: attention, language, memory, motor skills, which could result in poor school performance. Objective: to characterize the state of neuropsychological functions, the presence of soft neurological signs (SNB) and the volume of cerebral white matter in Mazahua children with chronic malnutrition, through neuropsychological evaluations and magnetic resonance studies. Study: cross-sectional, comparative, field, case-control, observational. Sample: 54 children from 6 to 10 years old, inhabitants of localities with a high degree of marginalization, in the Mazahua area of the State of Mexico: 36 children with high-risk malnutrition in the first 5 years of life, and 18 children who always had a normal nutritional status like controls. Variables: cognitive processes, presence of soft neurological signs (SNB) and cerebral white matter volume. Results: malnourished children presented SNB, low scores in several cognitive processes and lower white matter volume. Suggestion: Follow these children to reach more solid conclusions.

Keywords: Neuropsychological functions, chronic malnutrition, children, mazahuas, cerebral white matter.

## Introducción

Los procesos cognitivos en la etapa de la niñez, de acuerdo con Piaget, forman las bases para el desarrollo de las operaciones formales, así como, el pensamiento abstracto que incluye la capacidad de análisis y de síntesis (Feldman, 2007). Inician de manera muy incipiente desde el nacimiento y siguen hasta la etapa adulta. Los influyen múltiples variables que los acompañan a lo largo de la vida. Una de estas variables y que es fundamental, es la nutrición (Chávez Villasana, 2023).

Es abundante la literatura que habla sobre los graves problemas que surgen por la falta de nutrientes en los primeros 1,000 días de vida (Black et al., 2015; Bringas Vega et al., 2019; Galler et al., 1984; Galler & Ramsey, 1989; Waber, Bryce, Fitzmaurice, et al., 2014). Sin embargo, no se ha caracterizado en su totalidad el efecto de la desnutrición sobre las capacidades cognitivas específicas y el desarrollo cerebral en la infancia posterior al episodio de desnutrición grave, sobre todo en niños indígenas. Por tal razón se decidió abordar este tema en una zona indígena del Estado de México que previamente habían sido identificadas como de alta marginación (Consejo Nacional de Población, 2015): la Zona Mazahua.

En primer lugar, se hace una descripción del contexto de la desnutrición infantil, su definición e indicadores, así como, antecedentes de sus efectos en la infancia. Se expondrá el estado del conocimiento acerca de los efectos de la desnutrición en la cognición durante la etapa infantil, de acuerdo a estudios internacionales y nacionales, exponiendo de forma seguida, los efectos a lo largo de los primeros años de la etapa escolar.

En segundo lugar, se describe de manera general el desarrollo normal del cerebro, es decir el neurodesarrollo, y cómo los nutrientes participan en él. Se mencionan los procesos neuropsicológicos del desarrollo normal y cómo la nutrición adecuada determina el desarrollo cerebral.

En tercer lugar, se exponen las características generales de algunas pruebas neuropsicológicas; especialmente de la batería automatizada para evaluar las funciones neuropsicológicas, "Cambridge Neuropsychological Testing Automated Battery" (CANTAB), su definición, su desagregación, las formas de evaluación y los diferentes tipos de estudios en donde se ha empleado. También se hará una descripción de la Escala de Signos Neurológicos Blandos desarrollada en la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM a cargo de la Dra. Judith Salvador Cruz.

En cuarto lugar, se detalla el procedimiento del estudio de Resonancia Magnética empleada para obtener imágenes de volumetría del cerebro de los niños.

En las subsecuentes secciones se plantea la pregunta de investigación, el método, los resultados obtenidos, la discusión, las conclusiones, las limitaciones y las sugerencias.

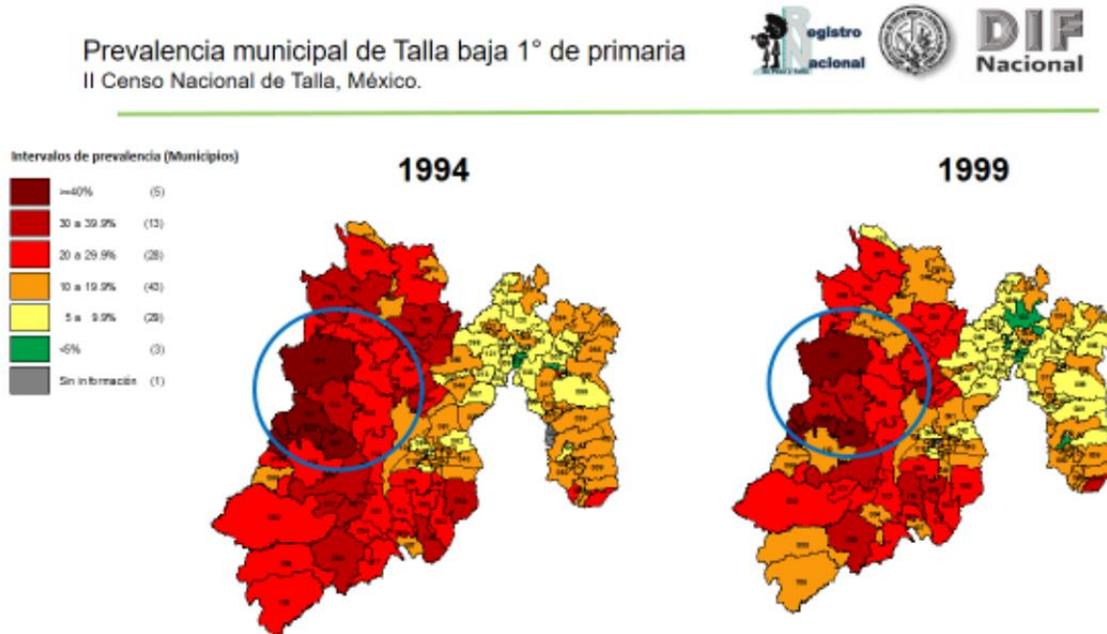
## Capítulo 1. Contexto de la Desnutrición Infantil

La desnutrición infantil en México sigue siendo un problema relevante de salud pública. La prevalencia de talla baja en el país en 2018 fue de 14.2%; la prevalencia más alta se encontró en las zonas rurales (17.5%), 36% más alta que en el medio urbano (12.9%), la mayor prevalencia de talla baja se asoció con las zonas de alta marginación y con la presencia de población indígena (Cuevas-Nasu et al., 2021; Muñoz & Chávez, 2007) . La información más reciente, en 2023, reportó una disminución de la prevalencia nacional de talla baja (12.8%) y la disminución de la brecha urbano-rural (13% vs 12.7%) (Cuevas-Nasu et al., 2023).

Sin embargo, el Estado de México presenta un panorama menos alentador. El Segundo Censo Nacional de Talla en 1994, particularmente en la Zona Indígena Mazahua (Figura 1), reportó en niños de primer grado de primaria la prevalencia más alta del país, 44.1% (Sistema Nacional para el Desarrollo Integral de la Familia, 1994). En 1999, como se muestra en la Figura 2, disminuyó a un 40.2%; para 2004 bajó a 31.3% y para 2016 volvió a subir a 39.9%. Por su parte, como se muestra en la Figura 2, el Registro Nacional de Peso y Talla de 2016 reportó en toda la zona indígena del Estado de México un 17.3% de talla baja (Avila Curiel, Abelardo, 2017).

**Figura 1**

*Prevalencia de talla baja en los municipios del Estado de México 1994 y 1999.*

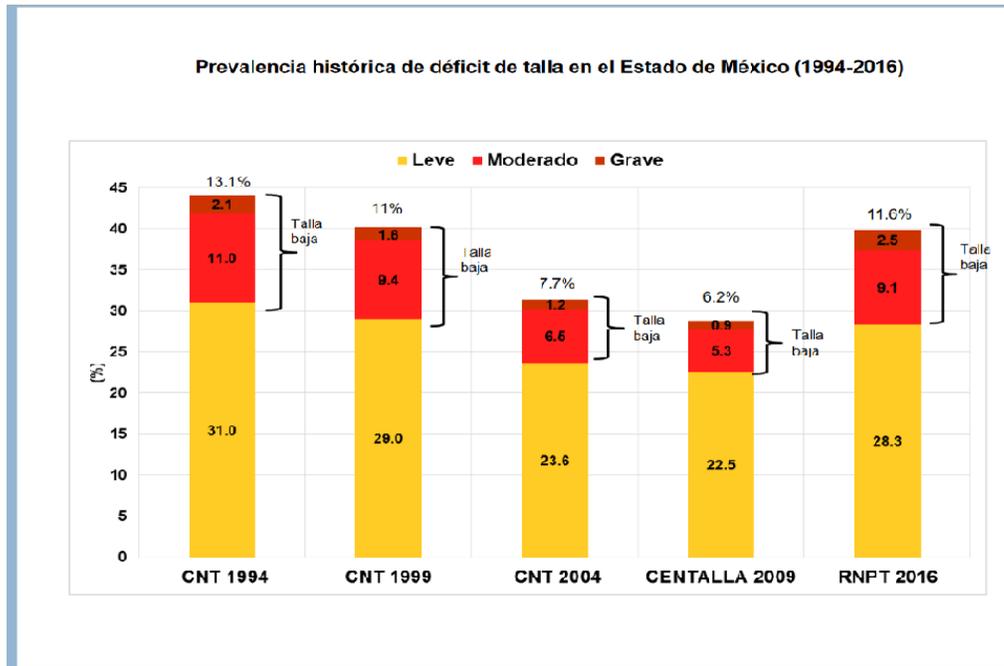


*Nota:* Fuente Registro Nacional de Peso y Talla. Desarrollo Integral de la Familia (DIF) 1994, 1999.

En cuanto al grado de marginación municipal, según datos oficiales en 2015 los municipios de Villa Victoria y San José del Rincón presentaron un índice de marginación Alto (Consejo Nacional de Población, 2015), condición que se mantuvo en 2020 (Consejo Nacional de Población, 2020). Particularmente, a escala de localidad San Joaquín Lamillas en el municipio de San José del Rincón y Sitio Centro en Villa Victoria, donde se llevó a cabo este estudio, también presentaron un índice de Marginación Alto.

**Figura 2**

*Comparación de prevalencias de déficit de talla (desnutrición crónica) en niños de primaria del Estado de México.*



*Nota:* Fuente Avila Curiel, Abelardo (2017).

En este contexto, en los años 90's la Dirección de Nutrición del Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán (INCMNSZ) con un equipo interdisciplinario, del cual formo parte, diseñó el Programa Integral de Apoyo a la Nutrición (PIAN) orientado al mejoramiento de la nutrición materno-infantil y a la evaluación oportuna del estado nutricional de los niños a través de una vigilancia epidemiológica: pesando, midiendo y aplicando pruebas de hemoglobina. Este programa permitió identificar a niños menores de 5 años de edad en condiciones de pobreza, con diferentes grados de desnutrición y anemia, en zonas marginadas del país. Para el procesamiento de los datos se desarrolló un sistema de información computarizado denominado: Sistema de Cómputo del Programa Integral de Apoyo a la Nutrición (SCPIAN) de carácter nominal y georreferenciado y capaz de procesar y analizar

longitudinalmente la evolución del estado de nutrición en tiempo real. En el año 2007 se incorporaron al PIAN los componentes de evaluación del neurodesarrollo y de estimulación oportuna llevando a cabo desde entonces la vigilancia del neurodesarrollo, por medio de las Pruebas de Tamiz de Neurodesarrollo Infantil (PTNI) y de la Escala de Estimulación Oportuna (EEO) (Ávila-Curiel et al., 2013). A partir de entonces, se denominó PIANN agregando la segunda letra “N” que indica el componente de neurodesarrollo. A través del SCPIAN obtuve las bases de datos de los años 2012 al 2015 para conformar la muestra para este estudio.

Las investigaciones respecto a la desnutrición infantil deben seguir adelante para tener un mejor panorama de la situación y proponer políticas públicas encausadas a mejorar las condiciones de salud en la población infantil, rural e indígena. Un avance importante en este sentido lo constituye el decreto de expedición el 12 de abril de 2014 de la Ley General de Prestación de Servicios para la Atención, Cuidado y Desarrollo Integral Infantil, elaborada por el Sistema Nacional de Protección Integral de los Derechos de Niñas, Niños y Adolescentes, a efecto de que el Estado cumpla con su responsabilidad de garantizar la protección, prevención y restitución integrales de los derechos de esta población, misma que contó con la participación y la aportación del PIANN en la definición metodológica de la Ruta de Atenciones y la Caja de Herramientas que todos los niños y niñas del país debería recibir durante la primera infancia, especialmente en el aspecto de neurodesarrollo; decreto por el que se expide la Ley General de los Derechos de Niñas, Niños y Adolescentes, y se reforman diversas disposiciones de la Ley General de Prestación de Servicios para la Atención, Cuidado y Desarrollo Integral Infantil («DOF - Diario Oficial de la Federación», 2014) [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5374143&fecha=04/12/2014](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5374143&fecha=04/12/2014).

### 1.1. Medición del Crecimiento Infantil

Las curvas de crecimiento son una herramienta importante para vigilar y dar seguimiento de manera sistemática al desarrollo físico durante los primeros 5 años de vida. La Organización Mundial de la Salud en 2006 construyó el Patrón de Crecimiento Infantil a partir de un estudio longitudinal multicéntrico adoptado a partir de 2006 como el patrón de referencia oficial de la OMS para la comparación y el seguimiento de la situación nutricional infantil entre países y dentro de cada país (World Health Organization, 2006).

Los indicadores internacionales actuales desarrollados por la Organización Mundial de la Salud (De Onis et al., 2007), para diagnosticar la situación nutricional de un niño son:

- **Talla para la Edad (T/E).** Se refiere a la estatura (en cm) o el crecimiento longitudinal del niño de acuerdo a su edad.
- **Peso para la Edad (P/E).** Es el peso corporal del niño de acuerdo a su edad, medido en kilos (kg) y gramos (g).
- **Peso para la Talla (P/T).** Se refiere a la relación del peso corporal con la talla sin considerar la edad del niño.

A partir de estos indicadores se hace la siguiente clasificación tanto para T/E (TEDNUT) como para P/E (PEDNUT): Nutrición Normal, y Desnutrición Leve, Moderada y Grave. Esta clasificación, a su vez, se basa en intervalos unitarios de puntaje Z, como se muestra en la Figura 3.

**Figura 3**

*Categorización con base en el puntaje Z.*

Nutrición Normal = +1 DE a -1 DE
Desnutrición Leve= -1 DE a -1.99 DE
Desnutrición Moderada = -2 a -2.99 DE
Desnutrición Grave = $\leq$ -3 DE

*Nota:* Los grados de desnutrición moderada o grave son considerados como desnutrición de “alto riesgo”.

El indicador T/E se considera como el más adecuado para evaluar la trayectoria nutricional de los niños. La talla baja indica una desnutrición crónica, es decir que estuvo presente durante un periodo largo y con una falta importante de nutrientes, cuyas consecuencias fueron un deterioro en su estado físico y un desmedro que es muy difícil de recuperar; mientras que el peso se puede recuperar relativamente pronto. En una población sana y sin antecedentes de desnutrición la prevalencia de talla baja se encuentra por debajo del 2.5%, cuando rebasa este porcentaje, lo más probable es que sea debida a una causa asociada con carencias nutricionales (Tobarra et al., 2015).

La calidad en la selección de la población de referencia de la OMS ha permitido estimar el rezago en el crecimiento y desarrollo de la población infantil a escala mundial. Por ejemplo, basado en ella, en 2007 se estimó que más de 200 millones de niños menores de 5 años no desarrollarían todo su potencial cognoscitivo debido a diversos factores, entre ellos, la desnutrición, la pobreza, la marginación y la relación padres-hijo (Grantham-McGregor et al., 2007).

## 1.2. Consecuencias de la Desnutrición Infantil

Las repercusiones de la desnutrición no se conocen aún en su totalidad. Aunque se ha postulado que afecta al crecimiento en general (Chávez & Martínez, 1980) y al neurodesarrollo en particular (Ávila Curiel et al., 2018), todavía hay mucho por investigar.

La desnutrición infantil crónica se manifiesta con una estatura baja en relación a la edad que puede ir desde moderada a grave (según el indicador TEDNUT o TEDZ\_OMS). (World Health Organization, 2006). El organismo prefiere perder talla que perder otras funciones que son vitales para él. Por ejemplo, el cuerpo sacrifica estatura antes que funciones cerebrales.

Los estudios longitudinales con niños desde la primera infancia hasta la edad escolar, de localidades rurales, con pobreza extrema; han demostrado que existe asociación entre desnutrición crónica y actividad física lenta, de baja frecuencia y con poca exploración de su entorno (Chávez et al., 1995). Esto, conlleva a que los padres no jueguen con sus hijos y los estimulen poco; lo que refuerza la inactividad en los niños y conduce a que desarrollen habilidades de manera tardía, con mayor dificultad y menor calidad en la ejecución; lo que a su vez, repercute en la edad escolar para un pleno desarrollo de movimientos más complejos, que exigen mayor calidad de ejecución (Grantham-McGregor et al., 2000; Muñoz & Chávez, 2007).

Otras manifestaciones de la desnutrición son las conductas estereotipadas, los movimientos no coordinados, rezagos en la coordinación visoespacial (Kar et al., 2008; Waber Bryce, Fitzmaurice et al., 2014); también existe déficit en los procesos cognitivos, que implican inmadurez en el lenguaje, problemas de atención (Kar et al., 2008) y de memoria (Paredes & Yenny, 2013).

Por otro lado, se ha encontrado que la desnutrición leve no ocasiona un deterioro franco en el desarrollo neuropsicológico (Portillo-Reyes et al., 2011); por esta razón diversos estudios se han planteado la necesidad de conocer de forma más precisa de qué manera la desnutrición afecta el potencial de los niños y si esto se revierte con el desarrollo natural del individuo, aún con las secuelas físicas como la talla baja. Igualmente, también se ha planteado la necesidad de

conocer si esas repercusiones poco claras y no específicas se manifiestan en los procesos cognitivos y en la presencia de Signos Neurológicos Blandos que también son alteraciones leves y no específicas ni francas del neurodesarrollo, y tampoco son estructurales, pero sí son funcionales (Agarwal et al., 1989; Galler et al., 1984; Upadhyay et al., 1995).

### **1.2.1. Desnutrición y Cognición**

Uno de los estudios que arrojó más información sobre el efecto de la desnutrición infantil en la cognición a la edad adulta, fue el estudio realizado en la Isla de Barbados (Waber, Bryce, Girard, et al., 2014). Este estudio reportó que la desnutrición de alto riesgo, durante el primer año de vida, tiene repercusiones funcionales y en el coeficiente intelectual en la edad adulta. Se estudió a los adultos que padecieron desnutrición severa en el primer año de vida, y que incluso requirieron de hospitalización. El 60% de 77 adultos presentaron problemas de atención, en comparación con el 15% de los controles. Estas repercusiones se observaron incluso en los adultos cuyo crecimiento físico ya estaba completamente rehabilitado. Otros déficits que presentaron fueron un IQ deteriorado en general y particularmente en algunas escalas del WAIS como: vocabulario, matriz de razonamiento y logro académico: lectura, ortografía y cálculo. También en funciones ejecutivas, en pruebas de búsqueda de símbolos y retención de números y letras al ser evaluados con el WAIS, en memoria a corto y largo plazo y en coordinación visoespacial (Waber, Bryce, Girard, et al., 2014). Lo cual refuerza lo que también afirma Beard (2008) que los problemas de aprendizaje, memoria y atención debidos a la desnutrición, pueden necesitar de educación especial de por vida.

En México, los primeros estudios realizados respecto a nutrición, crecimiento y neurodesarrollo en comunidades rurales fueron los dirigidos por el Dr. Adolfo Chávez Villasana en el INCMNSZ, desde finales de los 60's hasta la fecha. El primer estudio se llevó a cabo en la comunidad rural de Tezonteopan, en el municipio de Atlixco, en el Estado de Puebla; caracterizada por su pobreza extrema. Fue un estudio longitudinal (10 años consecutivos 1969-

1979) en el que se controló el estado de nutrición de niños desde el vientre materno hasta la edad escolar. En la primera etapa, se formaron dos grupos de mujeres embarazadas un grupo experimental al que se le alimentó con una dieta correcta, y otro fue el grupo control que consumió la alimentación tradicional. Se llevó a cabo un seguimiento del crecimiento, desarrollo y estado nutricional de los recién nacidos, a través de una vigilancia constante y rigurosa. Los resultados demostraron que los bebés de las madres del grupo experimental que recibieron una alimentación balanceada, variada y suficiente; tuvieron un mayor peso al nacer. Además, satisficieron su demanda alimentaria en los primeros meses de vida -porque sus madres tenían una mayor secreción de leche materna-, tuvieron una mayor talla (estatura), menor frecuencia de enfermedades infecciosas, mayor apetito, mayor actividad física, mejor maduración de reflejos y mejor desempeño en las pruebas de desarrollo psicomotor; que los controles cuyas madres consumieron la alimentación tradicional (Chávez & Martínez, 1980).

De manera similar el Dr. Cravioto llevó a cabo una serie de estudios en los que comparó el grado de neurodesarrollo entre niños que padecían desnutrición severa al grado que tenían que ser hospitalizados, y niños alimentados en forma adecuada. Estos últimos, alcanzaron puntuaciones más altas en todas las habilidades evaluadas: motoras, lenguaje, funcionamiento neuro integrativo y estilo de respuestas en las pruebas cognoscitivas, en comparación con los niños con desnutrición. Se encontró que si la duración del padecimiento era mayor de cuatro meses y además éstos eran los primeros meses de vida, el efecto sobre el desarrollo psicomotor podía ser tan intenso que llegaba a producir subnormalidad no completamente corregida por la rehabilitación nutricional (Cravioto & Arrieta, 1985).

En otra investigación, realizada en tres comunidades rurales del Valle de Solís, en el municipio de Temascalcingo, en el Estado de México, se correlacionó el estado de nutrición de la madre durante el embarazo y el desarrollo psicomotor del recién nacido y hasta los seis meses de vida. Se aplicó la prueba neonatal de Brazelton, la escala de desarrollo infantil de Bayley y un protocolo de Interacción materno-infantil. Los resultados en la correlación de la dieta materna

con la prueba de Brazelton, mostraron que, a mayor consumo de calorías, alimentos de origen animal, micro nutrientes y pulque (por su contenido calórico, de ácido ascórbico y hierro); hubo mejor desempeño de los recién nacidos en la mayoría de las subpruebas sobre todo en la de habituación. La correlación fue negativa entre las subpruebas y la biodisponibilidad de las madres de nutrientes como filatos, fibra y hierro. A menor peso, talla y circunferencia cefálica en el recién nacido, mayor: tono muscular, hiperreactividad, irritabilidad, estrés, tensión, miedo, temblores y cambios en el color de la piel. En la prueba de Bayley, a mayor ganancia de peso de la madre durante el embarazo hubo mejor desempeño de los niños a los tres y seis meses de edad. La correlación entre la Interacción materno-infantil y la alimentación durante el embarazo, fue positiva, a mayor consumo de proteínas, grasas, energía, alimentos de origen animal y frutas; los niños fueron más activos, hubo más contacto visual con la madre y sonrisas mutuas. La alimentación energética complementaria a la leche materna, de los niños a los tres y seis meses de edad, correlacionó positivamente con el desempeño en la prueba de Bayley y en la interacción materno-infantil (Chávez et al., 1998). Cuando hay suplementación alimentaria antes de los 2 años de edad, se obtienen beneficios en el desarrollo locomotor; sin embargo, si la suplementación se da después de esa edad se encuentra poca o nula influencia a largo plazo en las áreas del neurodesarrollo (Grantham-McGregor & Baker-Henningham, 2005).

### ***1.2.2. Desnutrición y Cognición en la Etapa Escolar***

Como ya se expuso anteriormente, las repercusiones de la desnutrición en el primer año de vida pueden observarse a largo plazo sobre el comportamiento y la cognición en la etapa escolar; debido a que provoca un desarrollo insuficiente del control motor, del lenguaje, problemas conductuales en el hogar, con el vínculo con la madre y en la escuela además de un bajo rendimiento escolar (Galler et al., 1985; Georgieff, 2007; Gunston et al., 1992; Odabaş et al., 2005; Volpe, 2008) así mismo bajo coeficiente intelectual (Bringas Vega et al., 2019; Galler et al., 1984; Xie et al., 2019). Vera-Noriega et al. (1990) encontró que el bajo rendimiento escolar en

niños fue explicado por la desnutrición y un microambiente familiar desfavorable (Vera-Noriega et al., 1990).

Sin embargo, en otros estudios, como el de Paredes (2013) en niños de 8 a 10 años con desnutrición crónica quienes obtuvieron puntajes más altos que el grupo control en la prueba de retención de dígitos. O en el estudio de Portillo-Reyes et al. (2011) en el que encontraron que el rendimiento neuropsicológico de niños con desnutrición leve en edades de 8 a 12 años, habitantes de Ciudad Juárez, México fue de entre el 7,5% y el 11,3%, pero no alcanzó para presentar diferencias estadísticamente significativas con respecto al grupo control en: memoria visual y verbal, función ejecutiva, en memoria de trabajo con letras y números, en control inhibitorio, en flexibilidad en el cierre visual de imágenes incompletas y en el seguimiento de instrucciones. Incluso alcanzaron puntajes más altos que el grupo de niños con obesidad en memoria y cierre visual (Portillo-Reyes et al., 2011).

En cuanto a los Signos Neurológicos Blandos (SNB), se han detectado en niños con desnutrición en etapa escolar y se reflejan en déficits en la ejecución de pruebas de atención, memoria de trabajo, aprendizaje y capacidades visoespaciales (Kar et al., 2008); así como en habilidades analíticas y de razonamiento, fluidez verbal, vocabulario y comprensión verbal, memoria de trabajo visoespacial y funciones visoespaciales, atención y aprendizaje (Laus et al., 2011); y en déficits en el funcionamiento motor fino y grueso, en las habilidades de percepción visual y en el procesamiento de la información cognitiva (Pienaar, 2019). Todavía en la adolescencia se pueden observar repercusiones de la desnutrición tales como déficits en: la flexibilidad cognitiva, formación de conceptos, fluidez verbal, memoria de trabajo, velocidad de procesamiento e integración visoespacial (Waber, Bryce, Fitzmaurice, et al., 2014).

Nyaradi, et al. (2013) realizaron una revisión de los estudios sobre nutrición infantil y desarrollo neurocognitivo y encontraron en trabajos con niños de 6 a 18 meses de edad que consumieron una dieta suficiente, variada, balanceada (frutas, verduras, cereales no procesados) y hecha en casa. Fueron evaluados a los 4 y 7 años de edad; obtuvieron puntajes

más altos de IQ, que los niños con bajo peso que consumían poca comida y no variada y que los niños con sobrepeso que consumían comida procesada, no variada y no hecha en casa. En otra revisión de estudios sobre desnutrición infantil y desarrollo cognitivo se concluyó que la gravedad y la duración de la desnutrición es determinante para el desarrollo cognitivo, aun cuando la desnutrición sea leve, pero se mantenga durante periodos prolongados (Laus et al. 2011).

En la segunda etapa del estudio del Dr. Adolfo Chávez y Celia Martínez (1980) llevado a cabo en Tezonteopan y descrito anteriormente, se llevó a cabo el seguimiento de los niños cuando tenían entre 5 y 8 años de edad a los que se les dio suplementos alimenticios, los cuales se compararon con otros niños que no fueron suplementados en los primeros años escolares. Los resultados mostraron que a esta edad el déficit de crecimiento de los niños no suplementados fue en decremento hasta 5 cm con respecto a los menores que tomaron suplementos. En cuanto al IQ, fue significativamente más alto en los niños suplementados que en los no suplementados. Éstos, además eran poco participativos en clase, distraídos, con sueño, lloraban y no se involucraban en disputas con sus compañeros; los niños suplementados eran lo contrario en estas conductas (Chávez et al., 1995).

De acuerdo con todos estos estudios, se observa que la desnutrición puede tener repercusiones físicas en cuanto al peso y la talla, es decir, la estructura corporal de los niños; y también puede repercutir en las funciones cerebrales, aunque no en todas las funciones y no cuando la desnutrición es leve. Estos hallazgos no son definitivos, son contradictorios y demandan realizar más estudios que clarifiquen las repercusiones de la desnutrición, así como establecer políticas públicas que consideren una atención integral para estos niños, que favorezca la recuperación del crecimiento físico (hasta donde más sea posible) y el desarrollo de capacidades y habilidades cognitivas y neuro funcionales necesarias en la etapa escolar para un desarrollo pleno.

### **1.2.3. Desnutrición y Signos Neurológicos Blandos (SNB)**

Los SNB se definen como, alteraciones cerebrales neuro funcionales leves, que representan interrupciones de los circuitos neuronales. No son localizables de manera precisa en la estructura cerebral, pero sí se manifiestan como alteraciones en funciones motoras, sensitivas y de integración perceptivo-sensorial. Por ejemplo, en la distinción de derecha-izquierda, en lateralidad manual, en los movimientos no coordinados y no secuenciados de los dedos de las manos, y la calidad de los mismos, así como la calidad de la marcha, movimientos con los pies; y algunas habilidades cognitivas como memoria, lenguaje y aprendizaje (Portellano & Mateos, 2012; Rosselli et al., 2010; Salvador-Cruz et al., 2019). La inactividad física, la lentitud en los movimientos y la falta de calidad de los mismos, también son indicadores de la presencia de SNB (Ayres, 2007).

Se han llevado a cabo diversos estudios para detectar la presencia de SNB en niños diagnosticados con desnutrición en los primeros años de vida. En una serie de estudios realizados desde 1984 por Galler et al. (1984) hasta 1996 y que son clásicos en el tema de la desnutrición infantil, se incluyó la evaluación de los SNB como una vía para detectar disfunción cerebral en niños escolares que padecieron desnutrición grado II y III -según la clasificación de Gómez et al. (1951)- en el primer año de vida y que fueron hospitalizados por ese motivo. Sus hallazgos demostraron que esos niños tardaron más tiempo en la ejecución de las tareas motoras con las manos y los pies, sobre todo con el lado izquierdo: golpeteo sucesivo del dedo pulgar con los demás dedos de la mano, golpeteo con los dedos del pie, movimientos rítmicos punta-talón con ambos pies. También, encontraron asociaciones entre la presencia de SNB y un bajo IQ en el área verbal y el desempeño en general de la prueba, además de desorden por déficit de atención en clase. En niños con grado II de desnutrición, que no requirieron de hospitalización, se encontró la presencia de SNB en el 87% manifestados como movimientos en espejo con el evaluador, y en el 45.6%, como movimientos coreo atetoides; y tardaron más tiempo en realizar tareas con las manos y los pies. La correlación mostró que, a mayor edad y mejor estado de

nutrición, mejor ejecución en las tareas motoras que evaluaban los SNB. A los niños con SNB se les realizó un estudio de Electroencefalografía (EEG) para ver si presentaban anomalías, encontraron un patrón de ondas lentas y agudas del lóbulo frontal, del lóbulo temporal y del lóbulo parietal que se relacionaron con deficiencias en la ejecución de determinadas tareas motoras con las manos y con los pies. Sólo un niño presentó esas deficiencias sin anomalías en su EEG (Agarwal et al., 1989). En niños con riesgos perinatales también se ha encontrado presencia de SNB manifestados como dificultades en la marcha, problemas para discriminar derecha e izquierda, movimientos coordinados de los dedos (oposición digital) y manos (disdiadococinesis), problemas articulatorios y dificultades del lenguaje (Torres-Morales & Granados-Ramos, 2013). En edades más tardías, como la pubertad y adolescencia, persisten los indicadores de SNB como movimientos involuntarios, movimientos repetitivos que ralentizan la ejecución, errores en la marcha y en el equilibrio al caminar: sobre los talones, sobre las puntas, con un pie delante junto del otro y apoyados en los laterales de los pies (Upadhyay et al., 1995).

#### ***1.2.4. Desnutrición e Integridad Cerebral***

El cerebro, como veremos más adelante, al igual que el resto del cuerpo, se alimenta de proteínas, grasas, carbohidratos, vitaminas y minerales. Su desarrollo es rápido y no acumula energía, por lo que el suministro de glucosa debe ser continuo. Su actividad metabólica requiere en cada minuto un suministro adecuado de micronutrientes que actúan como estructuras enzimáticas para un funcionamiento óptimo (Benton, 2005). Por lo que, una alimentación insuficiente en la etapa pre y posnatal tiene repercusiones que pueden ser irreversibles y que pueden afectar el funcionamiento del cerebro a largo plazo; sin importar que en los casos más extremos, se haya establecido una dieta adecuada posteriormente (Donkelaar, 2008).

Existen muy pocos estudios sobre el efecto de la desnutrición en el desarrollo cerebral infantil. Los más destacados son los realizados en la India con niños desde los 6 meses a los 4 años de edad, que fueron hospitalizados por desnutrición grave, y un grupo control sin

desnutrición. En ellos, se investigó el efecto de la duración de la desnutrición aguda sobre las velocidades de conducción de los nervios ulnar, mediano y peroneo. Se encontraron velocidades de conducción nerviosa más bajas en los niños con desnutrición aguda prolongada en comparación con el grupo control ( $p < 0.001$ ). No se encontraron diferencias significativas entre el grupo control y el grupo con desnutrición aguda, pero de corta duración (Ghosh et al., 1979).

En otro estudio, llevado a cabo en la India, con 12 niños menores de dos años, con problemas de kwashiorkor por desnutrición; se obtuvieron imágenes cerebrales a través de estudios de Resonancia Magnética (MRI). Se encontraron anomalías en las imágenes de todos los niños; estas fueron ensanchamientos y mayor tamaño en las siguientes estructuras: surcos corticales (frontales, parietal alto, fisuras de Silvio), fisura interhemisférica, folia cerebelosa y ventrículos (especialmente en los cuernos frontales de los ventrículos laterales) y cisternas basales. Después de una alimentación suplementada y controlada en un lapso de 90 días, se midieron los cambios en la 'atrofia cerebral' y se clasificaron como: leves, leves a moderados y moderados. En un niño los cambios fueron leves, en seis fueron de leves a moderados, y en cinco fueron moderados. Para el día 30, la mayoría de los niños mostraron una mejora en el grado de atrofia cerebral y para el día 90 los cambios se habían resuelto en la mayoría de los niños. La materia gris y blanca se afectaron igualmente y la mielinización parecía ser apropiada para la edad. No había una relación clara entre la gravedad clínica del kwashiorkor o la concentración de albúmina sérica al ingreso y el grado de contracción cerebral, esto fue una limitación de este estudio (Gunston et al., 1992).

En otra investigación de la India, con niños de 2 a 24 meses de edad y con desnutrición proteico-energética severa con edemas. Se adquirieron imágenes cerebrales por resonancia magnética nuclear de los niños al ingreso al hospital y en el seguimiento a los 90 días. Las RMN al ingreso mostraron atrofia cerebral, mientras que 3 (18%) pacientes tuvieron una RMN normal. Las anomalías encontradas incluyeron todos o algunas de las siguientes estructuras: fisura de Silvio, surcos corticales, fisuras interhemisféricas y folia cerebelosa ensanchada, ventrículos

dilatados y cisternas basales agrandadas. Además, 4 pacientes (28%) tenían cambios en la materia blanca periventricular (PVWM). No hubo diferencias significativas entre los grupos con edemas y sin edemas con respecto a los hallazgos de la RMN. El grado de atrofia cerebral se determinó como leve, leve a moderado y moderado. En dos niños los cambios fueron leves, en siete fueron de leves a moderados y en cinco fueron moderados. La dilatación ventricular, particularmente en los cuernos frontales de los ventrículos laterales se encontró en 10 (71%) de 14 pacientes con atrofia. En las exploraciones de resonancia magnética de seguimiento realizadas 90 días después, el grado de atrofia cerebral había mejorado en 2 pacientes y se resolvió por completo en 12 (86%) pacientes. La materias gris y blanca de los hemisferios cerebrales se vieron igualmente afectadas, mientras que el tronco encefálico y el cerebelo no mostraron ninguna anormalidad en ninguno de los pacientes. Se encontraron atrofias cerebrales, tales como: surcos corticales y cisuras silvianas ensanchadas, fisuras interhemisféricas y folias cerebelosas dilatadas, ventrículos y cisternas basales ampliados, particularmente los cuernos frontales de los ventrículos laterales. La distribución de la mielinización pareció ser apropiada para la edad sin detectar retraso de mielinización en ninguno de los grupos examinados (Ashraf et al., 2012). Los resultados de este estudio fueron similares a los descritos en el anterior de Gunston y colaboradores.

La deficiencia de hierro durante la infancia también está relacionada con desnutrición, sus efectos han sido disminución de la mielinización, cambios en el metabolismo de la dopamina en el cuerpo estriado y alteraciones en el metabolismo de la energía del hipocampo, así como puntajes bajos en el área cognitiva, motora, social-emocional y en el desarrollo neuropsicológico. La suplementación con hierro ha mostrado que los efectos adversos pueden revertirse en etapas tempranas del desarrollo, antes de que la deficiencia se vuelva grave o crónica (Lozoff & Georgieff, 2006).

Los estudios anteriores mostraron la importancia y el impacto de la desnutrición en los primeros años de vida sobre todo en los procesos cognitivos, la presencia de SNB, así como algunas estructuras cerebrales, dependiendo del grado de desnutrición y de la durabilidad de éste. Para esta tesis lo interesante fue conocer cómo era el desempeño cognitivo y el volumen de materia blanca cerebral de los niños indígenas mazahuas del Estado de México que padecieron desnutrición crónica, sin que hayan requerido de hospitalización.

## Capítulo 2. Neurodesarrollo Normal

El desarrollo normal del cerebro humano tiene diferentes etapas críticas en las que se debe poner especial atención para una adecuada vigilancia de su funcionamiento. Desde la segunda y tercera semana de gestación, algunas células del embrión humano se especializan para formar la parte dorsal, y otras para, la parte ventral. Alrededor del día 22 de vida embrionaria tiene lugar una de las etapas críticas más tempranas: el cierre del tubo neural. Durante las siguientes semanas, se da la polarización y segmentación embrionaria. En la semana 16 se completa la neurogénesis y proliferación neuro blástica; más tarde, desde la semana 20 hasta la vida posnatal (VPN) se da la organización celular, se determina el volumen neuronal y la sinaptogénesis. A partir de la semana 24 hasta la VPN se da la selección sináptica, la migración neuronal, la proliferación celular glial, las ramificaciones dendríticas y la muerte celular programada (Gale et al., 2004; Zuluaga-Gómez, 2001).

Cuando las neuronas, según su tipo, ya han logrado ocupar su lugar en la corteza cerebral, entonces se establece el desarrollo de conexiones sinápticas con neuronas similares a ellas, porque para entonces, ya habrán alcanzado tal estadio de diferenciación según su ubicación en la corteza. En este punto, las células neuronales apenas constan de un pericarión con pequeñas prolongaciones, a partir de las cuales se configuran conos de crecimiento, que son sondas especializadas en el reconocimiento de señales moleculares presentes en el microambiente extracelular, a partir de las cuales se desarrolla el axón neuronal. Una vez que el cono de crecimiento ha alcanzado su sitio de destino, se inicia la construcción de contactos sinápticos con la célula blanco o neurona de destino dentro de ciertos parámetros de flexibilidad (Gale et al., 2004).

En las primeras etapas del desarrollo, a partir de la gran cantidad de neuronas derivadas de la proliferación celular, se genera una sobreproducción sináptica como “de prueba”, y se lleva a cabo un proceso de selección dependiendo de la actividad funcional de cada red neuronal. El

flujo de sustancias extracelulares, la propagación de potenciales de acción, las corrientes de energía a lo largo de las membranas, el intercambio de iones y las fluctuaciones del micro ambiente citoplasmático; todo esto contribuirá a la selección sináptica de las redes neuronales del cerebro en desarrollo (Zuluaga-Gómez, 2001).

Progresivamente se dará la eliminación de contactos sinápticos y la muerte de neuronas que no son requeridas en un ambiente particular; esto garantiza el modelamiento de redes neuronales con menos elementos en comunicación, lo cual permite relaciones sinápticas particularmente eficientes para la adaptación e integración al medio ambiente en el que se encuentran (Zuluaga-Gómez, 2001). Se considera que las experiencias en el ambiente intrauterino durante el último trimestre pueden determinar sustancialmente el neurodesarrollo a edad temprana y el desarrollo cerebral a largo plazo (Cusick & Georgieff, 2012; Hadders-Algra, 2011; Tomalski & Johnson, 2010). A todo este periodo que va desde la concepción hasta los dos años de edad se le denomina “los primeros 1,000 días de vida”, y es en el que se da un crecimiento acelerado del cerebro y se generan importantes modificaciones estructurales y funcionales (Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia, 2017). La mielinización de las comisuras cerebrales y de los haces largos continúa en la infancia; y la densidad sináptica en las cortezas cerebral y cerebelar se incrementa hasta el comienzo de la vida adulta (Gale et al., 2004). La Tabla 1 resume el desarrollo cerebral normal por edad, estructura encefálica y la cita correspondiente obtenida con base en Nyaradi (2013).

**Tabla 1***Resumen del neurodesarrollo estructural por edad y tipo de estructura*

Edad	Estructura Encefálica	Referencia
5 semanas de gestación	Ejes posterior y anterior dorsal-ventral del tubo neural.	Levitt, 2003
8 a 16 semanas de gestación	Placa cortical (precursor de la corteza) y conexiones neuronales incipientes.	Kostović et al., 2002, Levitt, 2003
24 semanas de gestación – periodo perinatal	Mueren las neuronas de la placa cortical y surgen neuronas corticales más maduras. Se definen las conexiones neuronales	Levitt, 2003
34 semanas de gestación – 2 años de edad	Desarrollo de sinapsis pico, y crecimiento significativo del cerebro	Huttenlocher y Dabholkar, 1997; Levitt, 2003
Edad preescolar	Densidad sináptica a nivel adulto, mielinización de partes del cerebro que controlan las funciones cognitivas superiores	Toga y col., 2006
7 a 11 años	Alcanza el máximo desarrollo la materia gris	Nagy et al., 2004, Deutsch et al, 2005; Giedd et al, 2010
2 años de vida, después entre 7 y 9 años y después a los 15 años	Desarrollo y maduración de los lóbulos frontales	Thatcher, 1991; Bryan et al, 2004
Continúa hasta la adolescencia tardía	Desarrollo y maduración de las estructuras subcorticales, incluyendo los ganglios basales, la amígdala y el hipocampo	Van Petten, 2004
20 años	Crecimiento de materia blanca	Nagy et al., 2004, Deutsch et al, 2005; Giedd et al, 2010

*Nota.* Elaborada a partir de la fuente externa (Nyaradi et al., 2013).

Como se puede observar, el desarrollo de cada parte del cerebro tiene lugar en un momento específico de la vida y los primeros años son fundamentales en él. Es por eso que el estudio del neurodesarrollo cuando existen factores de riesgo como la desnutrición requiere de

atención y del conocimiento específico de los hitos del desarrollo para llevar a cabo acciones que puedan prevenir posibles daños en un momento decisivo.

## **2.1. Neuropsicología del Desarrollo**

La neuropsicología del desarrollo se enfoca en el estudio de los procesos cognitivos que emergen a partir de los cambios estructurales y funcionales en el desarrollo normal del sistema nervioso central (SNC) (Borst et al., 2015) y, de los factores ambientales presentes en etapas tempranas. Depende de la interacción entre genética, SNC y contexto social.

A continuación, se dará una breve descripción del desarrollo de cada proceso cognitivo.

### **2.1.1. Desarrollo Atencional**

La evolución del proceso atencional en los primeros años de vida se caracteriza principalmente por un incremento paulatino en el lapso en el que se mantienen los recursos atencionales sobre un estímulo, así como el incremento en la cantidad de elementos que pueden ser retenidos en un momento dado. Tiende a mejorar la capacidad de ignorar o inhibir el procesamiento de estímulos irrelevantes a la tarea que en ese momento se realice (Borst et al., 2015).

Los individuos deben ser capaces de seleccionar y mantener su atención en un estímulo en particular y resistir atender a otros; o bien, distribuir su atención entre varios puntos, o también atender a distintos estímulos de manera alternada. Éstas habilidades permiten que otros procesos, como los de memoria y aprendizaje, se lleven a cabo de forma adecuada (Borst et al., 2015).

Una de las estructuras cerebrales más importantes asociadas a la función atencional es la formación reticular que se encuentra en el tallo cerebral mesencefálico, en él se encuentra el paso de la información sensorial que asciende y llega hasta la corteza cerebral. Otra estructura importante para el cambio de atención sobre todo visual, son los colículos superiores, los cuales

permiten dirigir la mirada hacia un punto atencional de forma rápida y precisa, a través de las sácadas; cuando aparece un estímulo novedoso en la periferia se lleva al centro de la mirada. Los ganglios basales, el tálamo, el lóbulo parietal también son importantes para la atención selectiva visual; el lóbulo frontal, para fijar la atención al servicio de un plan o una meta. Los tipos de atención más estudiados son: orientación, atención enfocada, atención sostenida, atención selectiva, atención alternada, atención dividida (Rosselli et al., 2010).

### **2.1.2. Desarrollo Mnésico**

La memoria es un mecanismo mediante el cual se conserva la información recibida a través de una señal, una vez suspendida dicha señal. Es un proceso que permite almacenar experiencias y percepciones, para que posteriormente puedan ser evocadas. Se ha relacionado con el desarrollo y la madurez de algunas estructuras cerebrales como: los lóbulos temporales, en particular sus caras mediales, y el fornix. Existen tres etapas de este proceso: la primera es de *codificación*, que consiste en integrar la información entrante a los códigos preestablecidos durante la adaptación del individuo a su entorno. La segunda etapa es la de *almacenamiento*, que se refiere al orden en el que se guarda toda la información de acuerdo con su naturaleza, es como archivar documentos en cajones donde cada cajón pertenece a un tema. Y la tercera es de *recuperación*, que significa hacer uso de la información almacenada de acuerdo a la situación en la que se requiera dar solución a un problema, o para la adquisición de una habilidad (Borst et al., 2015). Un ejemplo, donde la memoria tiene un papel fundamental, es en la formación del concepto de *permanencia del objeto*, que consiste en saber o tener la certeza de que un objeto sigue existiendo, aunque no se vea o no esté delante del sujeto. Este concepto se da partir de los primeros 9 meses de vida (Rosselli, 2015).

### **2.1.3. Desarrollo del Lenguaje**

El lenguaje como proceso cognitivo complejo, tiene tres subdominios: expresión, comprensión y repetición. Su “anatomía” se basa en las vías auditivas corticales, la región perisilviana del hemisferio izquierdo, incluyendo el área de Broca; y el área de Wernicke (Borst et al., 2015).

Las etapas del desarrollo del lenguaje son:

**Preverbal o Prelingüística.** Incluye gruñidos, llanto, balbuceo, sonidos guturales y algunas sílabas sueltas.

**Holofrástica.** Se refiere a la pronunciación de frases constituidas por una sola palabra.

**Habla Telegráfica.** Se refiere a las primeras combinaciones de palabras, se es capaz de combinar palabras y su significado. Aparecen de forma explícita los elementos de una oración: sujeto y predicado.

**Desarrollo del Lenguaje Avanzado.** Se refiere al lenguaje y vocabulario más parecido al del adulto. La interacción y convivencia ayuda a que cada vez se amplíe más y más (Recuperado de: <https://psicologiymente.com/desarrollo/etapas-desarrollo-lenguaje> el 12/03/2023).

### **2.1.4. Desarrollo de las Funciones Ejecutivas**

Las funciones ejecutivas se refieren a un constructo teórico que abarca ciertas tareas cognitivas, como la capacidad para formular metas, planear, y llevar a cabo esos planes de manera efectiva.

Las estructuras cerebrales involucradas, una vez que alcanzan su madurez, son: la corteza prefrontal y los circuitos cortico-subcorticales, ubicados específicamente en la corteza prefrontal dorso lateral.

Los procesos que caracterizan a las funciones ejecutivas son: abstracción, autorregulación, inhibición, flexibilidad mental, memoria de trabajo, teoría de la mente, establecimiento de metas, planeación y evaluación de riesgo-beneficio (Borst et al., 2015).

El desarrollo de estas funciones se puede observar entre los 4 y 8 años de edad que es el periodo en el que aumenta la capacidad de formar representaciones mentales y la habilidad para manipularlas. En este periodo también se pueden adquirir habilidades más complejas para lograr metas a corto y largo plazo, en las que se involucran: la secuencia y organización de conductas (Atance & Jackson, 2009).

La memoria de trabajo se extiende más allá de los 6 o 7 años, por lo que es más tardío su desarrollo que otros procesos como el control inhibitorio el cual está involucrado en esa capacidad (Liebermann et al., 2007).

#### ***2.1.5. Desarrollo Visoespacial***

Este tipo de proceso cognitivo permite la correcta interpretación de las señales sensoriales y visuales en el espacio. La adquisición de estas habilidades requiere de los sistemas occipito-parietal y occipito-temporal; y de su interacción con el lóbulo frontal y las estructuras temporales mediales con los que se involucran los sistemas visuales dorsales y ventrales, que nos indican dónde están los objetos y qué objetos se perciben visualmente. El desarrollo cognitivo comienza desde la atención y orientación limitada o focalizada a un solo objeto u objetivo como es el rostro de mamá. Posteriormente se da la integración de información para cambios atencionales lo que implica un mayor control de movimientos de cabeza y ojos; más tarde se da la integración de los movimientos manuales con el espacio cercano; existe ahora un control visual para alcanzar y agarrar. Al final de este primer año de vida extrauterina se logrará la coordinación mano-ojo y la maduración del sistema propioceptivo y vestibular (Atkinson & Nardini 2008 en (Reed & Warner-Rogers, 2009)). A medida que crece el niño las habilidades visoespaciales se van haciendo más precisas e independientes de la habilidad motora. Al mismo

tiempo se va perfeccionando la cognición espacial que se traduce en habilidades para aprender rutas y ubicar lugares formando representaciones mentales del espacio que rodea al niño (Rosselli, 2015).

### **2.1.6. Desarrollo de la Capacidad Motora**

El desarrollo motor, no es propiamente un proceso cognitivo, pero si está muy involucrado en las capacidades neuropsicológicas. Es gradual por lo que es posible identificar etapas o estadios de creciente nivel de complejidad y de calidad en los movimientos. Depende de la maduración cerebral, y de la capacidad de interacción de la corteza somatosensorial primaria; por esta razón su adecuado desarrollo es una señal de madurez en la estructura y la función del cerebro y de la capacidad para adquirir y procesar información más compleja a través del movimiento, de ojos, de manos, de pies, de cabeza; y la coordinación entre ellos, por ejemplo, la coordinación mano-ojo que es tan importante para la ejecución de tareas complejas. Pasa por fases como: automatismo, receptividad y experimentación. Se ajusta a dos leyes: la ley *céfalo-caudal* que consiste en la jerarquización del desarrollo donde primero está la parte encefálica y las extremidades superiores como manos y brazos, que son la de mayor movimiento al inicio de la vida y la de mayor crecimiento, desarrollo y madurez. En segundo lugar, está la parte caudal que se refiere a las extremidades inferiores, que son las que van adquiriendo fuerza y habilidad con el paso de los meses hasta lograr el gateo y la bipedestación.

La segunda ley es la *próximo-distal* que consiste en el desarrollo desde el tronco cefálico que forma el sistema nervioso central, hasta llegar al sistema nervioso periférico, y que conlleva el movimiento del tronco a las extremidades superiores e inferiores hasta llegar a movimientos finos de los dedos de las manos y de los pies (Borst et al., 2015).

Con base en todo lo anterior, se puede concluir que, la neuropsicología del desarrollo abarca los procesos cognitivos que tienen lugar a lo largo de la maduración de las estructuras

cerebrales; es la parte funcional que complementa la sinergia entre estructura y función, la cual se va adaptando de acuerdo con la etapa de desarrollo y crecimiento del individuo.

## **2.2. Neurodesarrollo y Nutrición**

En la evolución del ser humano, y en la relación entre una alimentación adecuada y el neurodesarrollo, ha sido fundamental la incorporación de proteínas de alto valor nutritivo y la mayor disponibilidad de alimentos. El desarrollo de la agricultura permitió a las poblaciones humanas pasar de las fases primitivas a las primeras civilizaciones, lo cual se traduce en el desarrollo social.

El organismo requiere de nutrientes que le aportan energía y le permiten mantener sus necesidades basales, las funciones básicas y la relación entre los órganos; permitiendo un óptimo crecimiento corporal al asegurar la síntesis del nuevo tejido. Esos nutrientes también le permiten mantener un estado óptimo de salud previniendo la desnutrición y las enfermedades asociadas a ésta (Cortés-Moreno & Méndez-Lozano, 2012; Ramírez T. G. T. & Zuluaga G. J. A, 2001; Soto de la Rosa & Martínez, 2013).

Durante los dos primeros años de vida una alta proporción de los requerimientos energéticos se utiliza para la síntesis de nueva masa corporal y para el desarrollo de la actividad física. Este periodo se caracteriza por una alta velocidad de crecimiento; la cual sufre, de manera contradictoria, una desaceleración desde el mismo momento del nacimiento. Así como existe una variación normal en el tamaño corporal alcanzado a determinada edad, también se verifica en niños sanos una variación normal en la velocidad de crecimiento y en la edad de la máxima desaceleración del mismo (Abeyá, G.E., 1988). Por lo que, existe una variación en el tamaño corporal de acuerdo con la edad del niño. Cuando éste ha padecido desnutrición, esa variación nos indica si padece desnutrición crónica. Por ese motivo, para los fines de este estudio se tomó el indicador talla para la edad como el más adecuado para evaluar si el niño padeció desnutrición desde los primeros años de vida. Debido a que la desnutrición crónica nos indica que se ha

sacrificado en primera instancia la talla o estatura, para salvaguardar las funciones cerebrales y las funciones vitales del organismo (Chávez et al., 1995).

### ***Nutrientes***

Nutriente es toda sustancia con energía química almacenada. Tiene tres niveles de funcionamiento: 1) fuente energética, 2) cofactor en los procesos metabólicos y 3) elemento base para la construcción y función celular. Son clasificados en Ramírez y Zuluaga (2001) como:

- **Energéticos.** Grasas, proteínas y carbohidratos
- **Estructurales.** Agua, minerales, carbohidratos, grasas y proteínas
- **Reguladores.** Vitaminas, minerales, agua y proteínas

Considero pertinente exponer la descripción que hacen Ramírez y Zuluaga (2001) de cada uno de ellos para comprender mejor su función en el neurodesarrollo (también ver Tabla 2).

- **Proteínas.** Estructuras básicas de enzimas que forman canales iónicos en la membrana celular, bombas, receptores y otras estructuras. No son nutrientes de los llamados esenciales, en sí mismas, esto depende del contenido y tipo de aminoácidos esenciales que las conforman (histidina, leucina, isoleucina, lisina, valina, metionina, triptófano, treonina y fenilalanina) y su capacidad de aporte de nitrógeno.
- **Carbohidratos.** Principal fuente de energía, por su disponibilidad y fácil asimilación para casi todos los tejidos. La glucosa es la moneda energética y estructural que funciona a través de moléculas complejas como los mucopolisacáridos del tejido conjuntivo, vinculados a la matriz extracelular.
- **Grasas.** Forma más concentrada de reserva energética de más lenta disponibilidad en comparación con los carbohidratos. Cumplen funciones estructurales como las lipoproteínas de las membranas celulares y conformadoras de alta proporción de la

mielina; vehículo de vitaminas liposolubles y responsables del aislamiento térmico del organismo. Ácidos grasos esenciales: linoleico y linolénico fundamentales en el crecimiento y desarrollo cerebral y de la retina, y precursores de prostaglandinas.

- **Agua.** Nutriente esencial que casi no se sintetiza.
- **Minerales.** Funciones catalíticas y de regulación metabólica: hierro en la función respiratoria, fósforo en las bombas de sodio y potasio, calcio en concentración muscular. Funciones estructurales: hierro y cobre en la hematopoyesis, yodo en hormonas tiroides, zinc en la insulina y la respuesta inmune; calcio y flúor en la mielinización de huesos y dientes.
- **Iones.** Sodio y potasio en el líquido intracelular; determinan la conducción de impulsos nerviosos. Cloro, anión importante para el equilibrio hidroelectrico. Calcio, función estructural en pequeñas cantidades en tejido blando; activa y regula la transmisión sináptica y componente del mineral óseo. Magnesio: es el principal cofactor de sistemas enzimáticos.
- **Vitaminas.** Componentes esenciales como cofactores de diversas reacciones metabólicas

El aporte de cada uno de los nutrientes en el desarrollo del ser humano es fundamental por eso la frase de Jean Anthelme Brillat-Savarin: “el destino de una nación depende de su nutrición” (Ramírez T. G. T. & Zuluaga G. J. A, 2001). Alimentarse es un proceso generador de sensaciones y descubrimientos. Los colores, olores y sabores interactúan y estimulan algo sustancial que es uno de los instintos básicos de los seres vivos: alimentarse. Es imposible desligar el caudal de eventos sensoriales, motores y cognitivos, vinculados a la alimentación como: buscar el pezón de la madre, sostener el biberón, coordinar ojos con manos y boca, utilizar la cuchara, ser capaz de preparar comida; estos eventos implican todo un trayecto de vida, desde la total dependencia hasta la libertad y la autonomía (Cortés-Moreno & Méndez-

Lozano, 2012; Soto de la Rosa & Martínez, 2013). Lo cual también determina un buen neurodesarrollo y la adquisición de habilidades neurocognitivas (ver Tabla 2).

Con base en lo anterior, es de suma importancia que en los programas de vigilancia nutricional se incluya también la vigilancia del neurodesarrollo como un complemento indispensable que debe estar presente en cualquier programa integral de salud infantil.

## Tabla 2

*Principales nutrientes indispensables en el desarrollo cerebral a nivel de su celularidad, sinaptogénesis y mielo génesis.*

Nutrientes	Efectos en el organismo a nivel molecular, celular y sistémico
Proteínas	DNA, RNA, formación de los precursores de neurotransmisores, síntesis de Factor de crecimiento Número de sinapsis, mielina y peso cerebral Memoria de reconocimiento visual, habilidad verbal, vocabulario, procesamiento de palabras
Carbohidratos	Modulación de niveles de neurotransmisores serotoninérgicos Actividad de receptores postsinápticos glial y neuronal. Modulador de la proliferación celular en el neuroepitelio Crecimiento físico cerebral, especialmente de la sustancia blanca del lóbulo parietooccipital
Hierro	DNA, RNA, actividad ribonucleótido reductasa, tirosina hidroxilasa, citocromo c, oxidasa c, desaturasa delta-9, dopamina Metabolismo oxidativo neuronal, mielinización Desarrollo mental y psicomotor, movimientos espontáneos, potenciales evocados, memoria espacial y aprendizaje.
Ácido Fólico	Mecanismo de teratogenicidad desconocido Mecanismo de teratogenicidad desconocido

Nutrientes	Efectos en el organismo a nivel molecular, celular y sistémico
Vitamina A	Formación del tubo neural, lenguaje Regulan expresión neural, integridad estructural de la membrana bicapa de la retina, nervio óptico, células epiteliales del tracto respiratorio Diferenciación astrocítica Previene enfermedad pulmonar crónica y la ceguera
Ácidos Grasos Poliinsaturados	Síntesis membrana celular cerebral, retina y sustancia gris cerebral, precursor de eicosanoides, desarrollo de conos y bastones Plasticidad sináptica Función sensorial visual, favorece absorción de vitaminas liposolubles
Yodo	DNA, microtúbulos de RNAm, estabilidad de proteínas de membrana, unión a regiones de genes promotores para diferenciación celular, síntesis de ácidos grasos, metabolismo oxidativo neuronal Arborización dendrítica, migración neuronal, mielinización Lenguaje, inteligencia, actividad motora
Zinc	DNA, RNA, replicación celular, actividad factor estimulante de Insulina Liberación sináptica, unión del neurotransmisor al receptor, arborización dendrítica, unión a receptores $\mu$ Movimientos espontáneos, memoria visual a corto plazo, formación de conceptos y razonamiento abstracto
Selenio	Regulación de genes codificadores de mielina en oligodendrocitos Mielinización Termorregulación, actividad motora

*Nota.* Fuente Ramírez y Zuluaga (2001).

### **Capítulo 3. Evaluación Neuropsicológica Infantil**

Existen diferentes formas e instrumentos creados para evaluar los procesos neuropsicológicos, tanto para niños como para adultos. En este apartado se describen algunas de las baterías neuropsicológicas más empleadas actualmente que son apropiadas para la evaluación infantil y se especifican las pruebas que se aplicaron para la realización de este estudio.

#### **3.1. Evaluación Neuropsicológica Infantil (ENI)**

Es una batería que evalúa las características de los niños en edad escolar y de adolescentes. Contiene 13 subpruebas que evalúan: atención, habilidades constructivas, memoria de codificación, habilidades perceptuales, memoria de evocación, lenguaje, habilidades metalingüísticas, lectura, escritura, aritmética y habilidades espaciales. Incluye dos apartados que evalúan lateralidad manual y signos neurológicos blandos (Arbelaez et al., 2004).

#### **3.2. Batería Luria de Diagnóstico Neuropsicológico Infantil, Luria-DNI**

Se compone de 9 escalas con 195 ítems en total y ofrece un perfil neuropsicológico comparando el rendimiento del niño -preescolar o escolar- con el de otros niños de su misma edad que han alcanzado un desarrollo normal en las áreas exploradas. Evalúa funciones cognitivas, como memoria, atención, lenguaje y percepción. Tiene como objetivo identificar posibles dificultades neuropsicológicas, proporcionar información precisa sobre su funcionamiento cognitivo y evaluar trastornos del neurodesarrollo (Manga & Ramos, 1991).

### **3.3. Cuestionario de Madurez Neuropsicológica Escolar (CUMANES)**

Proporciona una evaluación global del desarrollo neuropsicológico en población clínica o en riesgo (Índice de desarrollo neuropsicológico) y un perfil de los puntos fuertes y débiles, en el desarrollo del niño(a) entre 7 y 11 años. Cuenta con 12 subescalas y 6 áreas: lenguaje, visopercepción, funcionamiento ejecutivo, memoria, ritmo y lateralidad (Portellano & Mateos, 2012).

### **3.4. Neuropsychological Assessment (NEPSY-II)**

Esta batería evalúa cuantitativa y cualitativamente los patrones de ejecución neuropsicológica en niños desde los 3 a los 16 años; a partir del análisis de 6 dominios cognitivos: atención y función ejecutiva; lenguaje; memoria y aprendizaje; sensoriomotor; percepción social; y procesamiento visoespacial. Son posibles tres tipos de aplicación: general, diagnóstica y exhaustiva; que dependen del número de subpruebas aplicadas de las 32 posibles (Kemp et al., 2001).

### **3.5. Escala de Inteligencia de Weschsler (WISC-IV)**

El objetivo de esta escala es reflejar el funcionamiento intelectual en cuatro áreas cognitivas: comprensión verbal, razonamiento perceptivo, memoria de trabajo y velocidad de procesamiento. Proporciona un puntaje global de CI y puntajes específicos tanto verbal como motor, además ofrece un índice de cada área cognitiva (Kaufman et al., 2006).

### **3.6. Cambridge Neuropsychological Testing Automated Battery (CANTAB)**

La medición de las funciones neuropsicológicas en niños ha sido con instrumentos muy variados. El Cambridge Neuropsychological Testing Automated Battery (CANTAB) (Downes et al., 2006) que es una prueba automatizada que no implica lenguaje ni cultura específica, se ha utilizado en niños de países de bajos recursos, con desventajas biológicas y originarios de

diferentes partes del mundo como: África, Asia, Etiopía, Alemania, India, Rusia y en niños cuyo idioma es el español (Semrud-Clikeman et al., 2016). Así mismo se ha utilizado con éxito en la evaluación de niños con diversos trastornos del desarrollo como autismo (Hughes et al., 1994), TDAH (Kempton et al., 1999; Luciana et al., 1999), síndrome de Down (Visu-Petra et al., 2007) y en niños prematuros a los 7 y 9 años de edad (Luciana et al., 1999). En este estudio se empleó esta batería justamente porque es neutra en cuanto a idioma y cultura debido a que los reactivos son abstractos y no implican algún sesgo cognitivo que pudiera afectar los resultados de la evaluación.

CANTAB evalúa diferentes funciones neuropsicológicas (Downes et al., 2006) tales como:

### **3.6.1. Memoria Visual**

- Coincidencia perceptiva inmediata y diferida a través de la prueba (Delayed Matching to Sample, DMS).
- Aprendizaje por asociación de parejas, Paired Associates Learning (PAL).
- Memoria de reconocimiento de patrones de memoria visual a corto y largo plazo, Pattern Recognition Memory (PRM).

### **3.6.2. Función Ejecutiva, Memoria de Trabajo y Pruebas de Planificación**

Cambio de juego intra / extradimensional; adquisición de reglas y atención en el cambio de reglas. Intra/ Extradimensional Set Shift, IED)

Planificación y habilidades motoras. Medias de Cambridge, Stockings of Cambridge (SOC).

Función ejecutiva espacial. Capacidad de memoria de trabajo, Spatial Span (SSP).

Memoria de trabajo espacial. Uso de estrategia para resolver un problema. Spatial Working Memory (SWM)

### 3.6.3. Atención

Índice de Tiempo de Reacción. Velocidad de respuesta y movimiento. Reaction Time (RTI).

Procesamiento rápido de información visual. Atención visual selectiva, Rapid Visual Information Processing (RVP).

A continuación, se describe de forma resumida la manera como diferentes investigadores han empleado algunas subpruebas de CANTAB y cómo las han analizado, lo cual da un panorama general y bastante útil para este estudio (Tabla 3).

**Tabla 3**

*Estudios realizados utilizando la batería automatizada CANTAB.*

Autor / año	Subpruebas empleadas	VARIABLES analizadas	Pruebas estadísticas empleadas
1. Syväoja H J (2015)	PMR, SRM, SSP, SOC, IED, RTI, RVP	Número de errores Etapas terminadas Número de aciertos Latencia	T test, Chi cuadrada, corr Pearson, tamaño del efecto con d de Cohen
2. Luciana M y Nelson C. A. (2002)	MOT, SOS, SMS, SOC, IED, DMS, PRM, SRM, SSP, RTI, RVP, SWM	% de respuestas correctas, # de etapas terminadas, # errores, errores ajustados	Prueba F ANOVA, con post hoc Bonferroni
3. Sweeney et al. (1998)	BLC, SRT, SOC, SWM, IED, PRM, DMS, PAL,	% de correctas, # de errores, # de errores ajustado	ANOVA para medidas repetidas, Tukey como post hoc, correlación de Pearson
4. Durlach P. J.(1998)	DMS, PAL, SRT, RVP	% de correctas, tiempo de reacción	Prueba F para medidas repetidas
5. Fowler et al. (2006)	SWM, SOC, IED, SSP, PRM, RVP	Etapas terminadas, # de errores, # de aciertos, % de errores	Prueba F grupos independientes, Newman-Keuls,

Autor / año	Subpruebas empleadas	Variables analizadas	Pruebas estadísticas empleadas
		y de aciertos, puntajes promedio	MANOVA, $X^2$ likelihood ratio, Corr Pearson, Factorial VARIMAX, normalización Kaiser
6. Jazbec, et al. (2007)	IED	Tasa de deserción por etapa, # de ensayos por etapa terminada, total de etapas terminadas, total de errores por tarea	U de Mann-Whitney, Análisis de regresión múltiple, ANOVA, Chi cuadrada
7. Lawrence et al. (2000)	DMS, VWM, VOSP BATTERY, SWM, PAL,	% de respuestas correctas	U de Mann-W, ANOVA, Corr Pearson, t-test
8. Lawrence et al. (2009)	SWM	Errores totales en las búsquedas, la estrategia	t-test, correlación de Pearson
9. Potvin et al. (2005)	MOT, PAL,	Puntaje en el primer ensayo de memoria; etapas completadas (EC), EC en el 1er ensayo, total de errores y total de ensayos	ANOVA para grupos independientes, t-test, $X^2$ , correlación Pearson
10. Scaife y Duka (2009)	PAL, SWM, IED, RTI	# de errores en la etapa de discriminación (1, 3 y 4) con formas superpuestas (etapa 4) y el cambio intradimensional, por estrategia de la 1 a la 9. Errores en las estrategias de reversa (2,5,7 y 9) y en las etapas de cambio (6 y 8). Etapas completadas sin errores en el 1er ensayo, # de ensayos	ANOVA, estadística multivariada

Autor / año	Subpruebas empleadas	Variables analizadas	Pruebas estadísticas empleadas
		para completar la tarea	
11. Owen et al. (1991)	IED	Respuesta de latencia media, comparaciones entre IDs y EDs, proporción de sujetos que alcanzaron el criterio (seis respuestas correctas consecutivas) en cada una de las nueve etapas del paradigma de aprendizaje de discriminación dentro de los 50 ensayos permitidos en cada una de las nueve etapas de la prueba. El promedio de ensayos necesarios para alcanzar el criterio en las etapas de aprendizaje intra-dimensional y extra-dimensional.	Análisis Likelihood ratio en tablas de contingencia de contrastes ortogonales con distribución de $X^2$ , ANOVA
12. Green et al. (2009)	RTI	5 opciones tiempo de reacción (ms), 5 opciones tiempo de movimiento (ms)	Prueba F ANOVA
13. Roque et al. (2011)	PRM, SSP, SOC, DMS, IED, SST	% aciertos con espera, # etapas completadas (1-6 consecutivas) Longitud el tramo hacia delante, Longitud el tramo hacia atrás, # correctas (24 max), # problemas resueltos en mínimo mov. (12 max)	Correlación Pearson

Autor / año	Subpruebas empleadas	Variables analizadas	Pruebas estadísticas empleadas
14. Owen et al. (2013)	IED, RVP, PAL	# etapas completadas (1-6 consecutivas), Errores de EDS, Pre-Errores ED, Total de errores ajustado. A´ detección de secuencia (0.00 a 1.00) 1,2,3, Media de latencia, Total de falsas alarmas, Total de errores. Total de errores ajustado, Primer ensayo puntaje de memoria, Media de ensayos para el éxito, # etapas completadas, Etapas completadas en el primer ensayo	F X2, prueba
15. Hanson et al. (2013)	SOC, IED, SWM, SST	Total de errores ajustado, # problemas resueltos en mínimo mov. (12 max), Total de errores	Prueba F ANOVA
16. Rasmussen et al. (2009)	PRM, SRM, SSP, SOC, IED, RTI, RVP, SWM,	# correctas (20 max), # correctas (24 max), Longitud del tramo, # problemas resueltos en mínimo mov. (12 max), Initial thinking time, Subsequent thinking time, # etapas completadas (1-6 consecutivas), Total de errores, 5 opciones tiempo (ms) de reacción, 5 opciones tiempo (ms) de mov., Entre errores, Estrategia	Prueba F ANOVA y Correlación
17. Lelijveld et al. (2018)	MOT, PAL, PRM, BCL, IED	Etapas completadas,	Regresión logística

Actualmente se pueden encontrar en la base de datos PubMed dos estudios que se han realizado con niños con desnutrición aplicando la Batería CANTAB. Uno de ellos es el estudio de Nkhoma et al. (2013) en el que se trabajó con dos grupos de niños con antecedentes de pobreza y desnutrición, A un grupo se les suministró un suplemento alimentario en forma de papilla en comparación con un grupo de niños en otra escuela con características similares a los que no se les suministró la papilla, Los resultados señalaron que los niños que tomaron la papilla tuvieron menor número de errores en la prueba de aprendizaje extra-dimensional (IED). En otro estudio (Lelijveld et al., 2018) donde también se evaluó a niños sobrevivientes de un episodio de desnutrición de alto riesgo, con la Batería CANTAB, en Malawi, no se encontraron diferencias significativas en los puntajes de las pruebas de la Batería con respecto al grupo control.

### **3.7. Escala para Evaluar Signos Blandos ESNB-MX**

Esta es una batería que mide 6 aspectos del neurodesarrollo de niños entre 6 y 12 años de Salvador-Cruz et al. Desarrollada en 2016 (Crivelli et al., 2016). Esta prueba mide los siguientes aspectos neuropsicológicos:

- Lateralidad: a través de distinción y orientación del lado derecho e izquierdo en sí mismo y en el otro frente a él.
- Atención (auditiva y selectiva): a través de escucha dicótica.
- Organización motora del movimiento: con subpruebas de movimientos de extremidades superiores, inferiores, de las manos y los pies y de integración sensorial.
- Lenguaje: con subpruebas de fonología, morfología, sintaxis, razonamiento y fluidez verbales.
- Funciones ejecutivas: a través de control inhibitorio y memoria de trabajo.
- Visopercepción: copiar figuras, movimientos de los ojos, organización visual.

Hacía falta estudiar con pruebas específicas si un episodio de desnutrición dentro de los primeros 5 años de vida afectaba la estructura cerebral, las funciones neuropsicológicas y si había presencia de signos blandos, en niños escolares que habitaban en la Zona Mazahua del Estado de México, la cual ha tenido historia de la prevalencia más alta de desnutrición en México desde los datos registrados de 1994 hasta 1999, como ya se mencionó anteriormente.

#### Capítulo 4. Imagenología Cerebral por Resonancia Magnética

La resonancia magnética (RM) es la técnica de imagen más utilizada en estudios de neurociencias; y dentro de las aplicaciones desarrolladas la RM funcional (RMf) constituye una revolución en el estudio de la actividad cerebral; no sólo por su resolución espacial, muy superior a la de las técnicas funcionales precedentes, y por la facilidad y exactitud para fusionar las imágenes funcionales con las estructurales; sino porque se trata de una técnica inocua, característica fundamental cuando se considera como método de investigación. Es posible utilizarla sin problemas en personas sanas, y además se puede repetir las veces que sean necesarias, sin más inconveniente que el gasto de tiempo y de recursos (Alvarado-Chávez, et al., 2017).

El fundamento de la Resonancia Magnética (RM) es la física; ciertas partículas como los electrones, protones y los núcleos atómicos con un número impar de protones y/o un número impar de neutrones pueden absorber selectivamente energía de radiofrecuencia al ser colocados bajo un campo magnético potente. El núcleo atómico más utilizado debido a sus características y abundancia en el organismo humano es el de hidrógeno ( $^1\text{H}$ ) aunque otros elementos se encuentran en investigación. La descripción de la mecánica cuántica del núcleo atómico descrita por Dirac en 1930 introduce el término de momento angular de giro, denominado spin, que son los núcleos de Hidrógeno similares a esferas girando sobre su propio eje (Hernandez-Castillo et al., 2013).

Las imágenes observadas en la RM estructural es el contraste en diferentes niveles de gris. Esto permite distinguir tejidos. El contraste es un fenómeno complejo que depende de diversos factores: la densidad de protones de un tejido, los tiempos de relajación T1 y T2 y, por último, el instante en que se tome la imagen. Dependiendo de la posición en el tiempo de ese instante, se tiene, o bien una imagen en densidad protónica, o bien una imagen en T1, o más correctamente una imagen ponderada en T1, o bien, una imagen ponderada en T2. Esto afecta

la intensidad de la señal dependiendo del tipo de tejido. Las imágenes de densidad protónica son las de más escaso contraste, ya que éste depende, únicamente, de la cantidad absoluta de protones del hidrógeno en cada tejido. Como se sabe, el agua abunda en el cuerpo humano, por lo que, la cantidad de hidrógeno es cuantiosa en casi todos los tejidos, salvo en el tejido óseo, por esta razón la intensidad de señal procedente de cada tejido va a ser muy similar. Sin embargo, las imágenes ponderadas, o bien en T1, o bien en T2, van a ser imágenes con un contraste muy alto. Las imágenes ponderadas en T1 están más orientadas a la anatomía, lo que permite detectar patologías que cursen con cambios morfológicos. Las imágenes ponderadas en T2 están más relacionadas con la fisiopatología. Por esto último, la imagen funcional es imagen ponderada en T2.

El contraste de grises depende, intrínsecamente, de la diferente manera en la que se produce la relajación de los protones del átomo de hidrógeno dependiendo del entorno fisicoquímico en que se encuentre. Es decir, va a depender de la molécula y tejido donde se encuentre dicho protón. Este hecho nos permite obtener mucho contraste entre tejidos, aunque su composición sea similar. Basta una leve diferencia en la composición para que se produzca una apreciable diferencia entre niveles de gris. También se pueden apreciar las diferentes maneras de brillar de un tejido en T1 y de otro en T2 (Maestú Unturbe et al., 2010).

La RMN también ha permitido el estudio del desarrollo del cerebro de bebés prematuros con restricción del crecimiento intrauterino (PRCI), en los cuales se han observado volúmenes cerebrales ligeramente más pequeños y un aumento de la difusividad media de la materia blanca en el lóbulo frontal en comparación con los nacidos prematuramente, pero con peso adecuado para la edad gestacional y bebés a término como controles. Los niveles de N-acetilaspártato del lóbulo frontal y compuestos de colina también se han observado más bajos, así como, disminuciones en el límite de los niveles estimados de glutatión y un aumento de las proporciones de mioinositol a colina en el grupo de PRCI que, en los bebés prematuros, pero con peso adecuado, y también en el grupo control. Estos cambios específicos en el metabolito se

correlacionaron localmente con un menor contenido de materia gris, un aumento de la difusividad media y una reducción de la fracción y la anisotropía fraccional de la materia blanca. En los bebés PRCI también se ha observado una tendencia en los prematuros a un retraso del neurodesarrollo a los 2 años, asociado con niveles más bajos de N-acetilaspártato del lóbulo frontal al año de edad (Simões et al., 2017).

Así mismo se ha encontrado que un menor volumen de materia blanca en el cerebro se asocia con una velocidad de procesamiento de información más lenta en pruebas de inteligencia y con déficit de atención (Peterson et al., 2015)

Los estudios con RMN en niños que han sufrido desnutrición en los primeros años de vida son muy pocos, se necesitan más estudios que detecten daño estructural del cerebro por causa de la desnutrición y lo correlacionen con el deterioro cognitivo, en niños en la etapa escolar.

## Capítulo 5. Método

### 5.1. Justificación

En México, la desnutrición infantil sigue siendo un importante problema de salud pública. Los datos más recientes sobre este problema son los de la Encuesta Nacional de Salud donde se reporta que el 13.6%, casi un millón y medio de los menores de cinco años de edad, presentó talla baja (Romero-Martínez et al., 2013). De acuerdo con el Segundo Censo Nacional de Talla en niños de primer grado de primaria, el Estado de México y particularmente la Zona Mazahua, presentó la prevalencia más alta del país, el 40.1% tuvo talla baja debida a la desnutrición (Sistema Nacional para el Desarrollo Integral de la Familia, 1994), en 1999 ese porcentaje se mantuvo en 39.3% (Sistema Nacional para el Desarrollo Integral de la Familia, SS, & Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición SZ, 2000), para 2004 bajó a 27.1% (Sistema Nacional para el Desarrollo Integral de la Familia SNDIF, SEP, SS, INCMNSZ, 2004) y los datos más recientes son los del Registro Nacional de Peso y Talla que reportó un 17.3% en esa Zona (Ávila-Curiel et al., 2016).

Como ya se mencionó anteriormente, aún no se ha explorado cuantitativamente las repercusiones de la desnutrición de niños de zonas indígenas en el volumen de materia blanca de diferentes áreas del cerebro, ni su posible relación con el desempeño cognitivo, específicamente con puntajes en memoria a corto y largo plazo, en atención, en funciones ejecutivas y coordinación visoespacial. Es por esto por lo que en este estudio se propone explorar las repercusiones de la desnutrición crónica tanto en el desempeño cognitivo como en el volumen de materia blanca, en niños escolares indígenas mazahuas que habitan en zonas marginadas del Estado de México, de los cuáles no se tienen referencias al respecto.

## **5.2. Pregunta de Investigación**

¿Cuáles son los efectos de la desnutrición crónica (moderada y grave) a temprana edad sobre las funciones neuropsicológicas y el volumen de materia blanca cerebral en niños de 6 a 10 años de edad, originarios de la Zona Mazahua?

## **5.3. Objetivo General**

Evaluar el estado de las funciones neuropsicológicas y el volumen de materia blanca cerebral en niños originarios de la Zona Mazahua, de 6 a 10 años que sufrieron desnutrición a temprana edad.

### **5.3.1. Objetivos Específicos**

5.3.1.1. Evaluar la capacidad de memoria de niños de 6 a 10 años que presentaron antecedentes de desnutrición de alto riesgo en los primeros años de vida comparándolos con el grupo control.

5.3.1.2. Evaluar las funciones ejecutivas de niños de 6 a 10 años que presentaron antecedentes de desnutrición de alto riesgo en los primeros años de vida comparándolos con el grupo control.

5.3.1.3. Evaluar los procesos atencionales de niños de 6 a 10 años que presentaron antecedentes de desnutrición de alto riesgo en los primeros años de vida comparándolos con el grupo control.

5.3.1.4. Evaluar la presencia de signos neurológicos blandos en niños de 6 a 10 años que presentaron antecedentes de desnutrición de alto riesgo en los primeros años de vida comparándolos con el grupo control.

5.3.1.5. Determinar si los niños de 6 a 10 años con antecedentes de desnutrición presentan diferencias en el volumen cerebral de materia blanca con respecto al grupo control, de acuerdo con el estudio de resonancia magnética y con el análisis VolBrain.

#### **5.4. Hipótesis General**

Los niños de 6 a 10 años de edad que presentaron antecedentes de desnutrición de alto riesgo en los primeros años de vida obtendrán puntajes bajos en las evaluaciones de las funciones neuropsicológicas y su volumen de materia blanca en comparación con niños que nunca tuvieron desnutrición (grupo control).

##### **5.4.1. Hipótesis Específicas**

5.4.1.1. Los niños de 6 a 10 años que presentaron antecedentes de desnutrición de alto riesgo en los primeros años de vida obtendrán puntajes más bajos que el grupo control en las pruebas de memoria.

5.4.1.2. Los niños de 6 a 10 años que presentaron antecedentes de desnutrición de alto riesgo en los primeros años de vida obtendrán puntajes más bajos que el grupo control en las pruebas que evalúan funciones ejecutivas.

5.4.1.3. Los niños de 6 a 10 años que presentaron antecedentes de desnutrición de alto riesgo en los primeros años de vida obtendrán puntajes más bajos que el grupo control en las pruebas de atención.

5.4.1.4. Los niños de 6 a 10 años que presentaron antecedentes de desnutrición de alto riesgo en los primeros años de vida presentarán signos neurológicos blandos con respecto al grupo control.

5.4.1.5. Los niños de 6 a 10 años con antecedentes de desnutrición serán diferentes en el volumen de materia blanca de estructuras encefálicas con respecto al grupo control.

#### **5.5. Tipo de Estudio**

Se llevó a cabo un estudio transversal, de casos y controles, de campo, comparativo, analítico y observacional.

### **5.6. Muestra**

El tipo de muestro utilizado fue: intencional, por conveniencia y por cuota.

Los criterios de inclusión fueron que los niños: estuvieran entre los 6 y los 10 años de edad, que presentaran antecedentes de un episodio de desnutrición grave de acuerdo con el indicador TEDNUT y TEDZ\_OMS y anemia de acuerdo con los valores de hemoglobina en sangre (HB) en los primeros 5 años de vida, o niños de la misma edad que nunca hubieran tenido desnutrición ni anemia en esa misma etapa de vida, que sus padres firmaran en consentimiento informado y que los niños dieran su asentimiento para participar en el estudio, que vivieran en una de las localidades de la Zona Mazahua registradas en el Sistema de Cómputo del Programa Integral de Apoyo a la Nutrición (SCPIAN) del Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán.

La muestra total fue de 54 niños: 36 niños que tenían antecedentes de haber padecido desnutrición grave en los primeros 5 años de vida que conformaron el Grupo de Estudio (GE), y 18 niños que nunca tuvieron desnutrición los cuales conformaron el Grupo Control (GC). Los niños eran habitantes de la localidad Sitio Centro en el municipio Villa Victoria (Figura 4) y de la localidad San Joaquín Lamillas en el municipio de San José del Rincón ambas localidades en el Estado de México, muy similares en la forma de vida y en el ambiente rural, y consideradas de alta marginación (Consejo Nacional de Población, 2015, 2020).

**Figura 4**

*Trabajo de campo en la comunidad Sitio Centro, municipio Villa Victoria, Estado de México.*

**5.7. Variables**

Las variables que se tomaron en cuenta para ser estudiadas y analizadas en este estudio fueron:

**5.7.1. Antecedentes de Desnutrición en los Primeros Años de Vida.**

Esta variable se analizó tomando en cuenta el indicador Talla para la edad, este indicador es el más adecuado para medir desnutrición crónica (DC). Para documentarla se retomaron los datos del SCPIAN (Sistema de Cómputo del Programa Integral de Apoyo a la Nutrición) tanto de la variable TEDNUT como TEDZ\_OMS obtenidos desde el 2014 al 2016 cuando los niños de la muestra eran menores de 5 años.

**5.7.2. Funciones neuropsicológicas.**

Se refiere a los procesos que se dan principalmente en la corteza cerebral. Para este estudio se considerará la memoria, las funciones ejecutivas y la atención medidas con la Batería Neuropsicológica CANTAB que en la siguiente sección de *Instrumentos* se describe.

### **5.7.3. Signos Neurológicos Blandos.**

Se refiere a lesiones leves del cerebro que no son perceptibles en las estructuras del cerebro, más bien se detectan a través de las funciones cerebrales específicas. Para este estudio se medirán con la Prueba Signos Neurológicos Blandos (Salvador-Cruz et al., 2019) que en el siguiente apartado de Instrumentos se describe.

### **5.7.4. Volumetría de la Materia Blanca Cerebral por Resonancia Magnética.**

Se tienen dos tipos de mediciones el volumen crudo en unidades de cm<sup>3</sup> y el volumen normalizado medido en % que es la estructura sobre la cavidad intracraneal, ésta considera el volumen de la estructura "X" y los tejidos que están dentro del cráneo, es decir, el volumen total de materia blanca (VMB), el volumen total de materia gris (VMG) y el volumen total de líquido cefalorraquídeo (VLCR):

$$\frac{X}{CI} = \frac{X}{MB + MG + LCR} \quad (1) \text{ F\u00f3rmula de Normalization}$$

## **5.8. Instrumentos**

A continuación, se describen los instrumentos utilizados para la medición de las variables analizadas.

### **5.8.1 Funciones Neuropsicol\u00f3gicas**

Bater\u00eda Automatizada de Pruebas Neuropsicol\u00f3gicas de Cambridge (CANTAB por sus siglas en ingl\u00e9s). Es una prueba computarizada que eval\u00faa diferentes funciones neuropsicol\u00f3gicas, a trav\u00e9s de una Tablet (Downes et al., 2006), tales como:

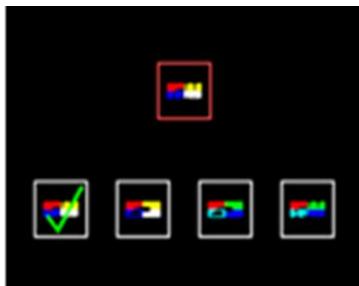
### 5.8.1.1. Memoria

#### *Memoria Visual*

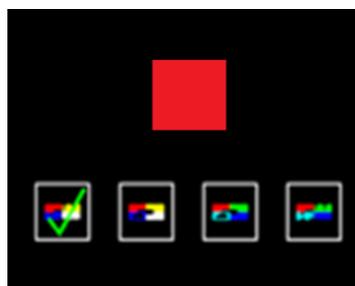
- ***Delayed Matching to Sample (DMS)***. Coincidencia perceptiva simultánea, inmediata y retrasada o diferida, con respecto al modelo de referencia. Es una con ensayos de presentación de una figura de referencia abstracta que es el modelo o estímulo para comparar de manera simultánea, o para recordar de forma inmediata (a los 0 segundos de espera) o cubriéndolo durante 4 o 12 segundos (de espera). Mide la capacidad de los niños para comparar el estímulo (la figura de referencia abstracta) con 3 figuras diferentes y una idéntica a ella; el niño(a) debe percibir cuál de éstas 4 figuras que aparecen debajo del modelo es idéntica a éste. Esta comparación puede ser simultánea (sin espera) o con un retraso de aparición diferido a 0, 4 y 12 segundos, en donde se cubre la figura de referencia o modelo y el niño espera a que aparezcan las 4 figuras (Figura 5). Se evalúa como correcto en todos los ensayos, las veces que el niño toca la figura que es idéntica a la figura de referencia. Esto indica la capacidad del niño para percibir coincidencias visuales.

#### Figura 5

*Imágenes de la prueba DMS en el ensayo simultáneo y con espera.*



Simultáneo



Con espera

- **Pattern Recognition Memory (PRM).** Memoria de reconocimiento de patrones de memoria visual. Mide memoria de reconocimiento visual a corto y a largo plazo. La prueba consiste en que aparece una serie de 12 figuras abstractas que son los estímulos visuales y aparece de una en una. Posterior a esta secuencia, se presentan 12 pares de estímulos donde cada par contiene una de las figuras que vio el niño en la serie de las 12 figuras y la otra figura que compone el par, nunca la vio. Para obtener una respuesta correcta debe señalar en cada par, la figura que vio en la serie anterior (Figura 6). En seguida se presenta otra serie de 12 figuras y se da un intervalo de 20 minutos de espera para que aparezca otra vez 12 pares de figuras una de las que ya vio y otra que nunca vio para que el niño toque la que ya había visto. Debe recordar el mayor número de figuras.

### Figura 6

*Imágenes de la prueba PRM con un estímulo y con un par de estímulos.*

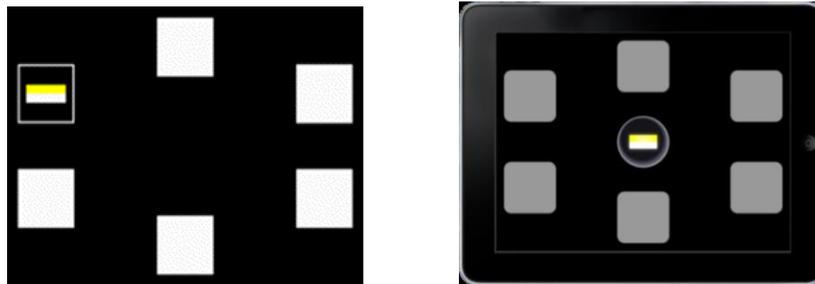


- **Paired Associates Learning (PAL).** Aprendizaje por asociación de parejas. Mide memoria visual episódica y un nuevo aprendizaje. Consiste en que aparece una serie de cuadros de color blanco alrededor de la pantalla de la Tablet. Dentro de cada cuadro hay una figura abstracta que se muestra durante algunos segundos, para volverse a ocultar en el cuadro blanco. Una vez que se mostraron todas las figuras de una en una y de forma aleatoria; aparece una de las figuras en el centro de la pantalla con los cuadros en blanco alrededor de ella como se muestra en la Figura 7. El niño debe recordar y tocar el cuadro

en el que piensa que estaba esa misma figura, debe recordar qué figura estaba en qué cuadro. Las etapas completadas van desde dos figuras reveladas hasta ocho lo que incrementa el grado de dificultad. Si el niño comete un error, en una etapa se vuelven a revelar las figuras de los cuadros de uno en uno para recordar al niño dónde se encuentra cada figura (Máximo 10 ensayos por etapa). En la primera etapa se revelan dos figuras en la segunda cuatro, y así hasta ocho figuras, dependiendo del desempeño del niño.

### Figura 7

*Imágenes de la prueba PAL en la primera y en la segunda etapa.*



#### 5.8.1.2 Funciones Ejecutivas, Memoria de Trabajo y Pruebas de Planificación.

- ***Intra/ Extradimensional, Set Shift (IED)***. Cambio de conjunto intra / extradimensional. Esta prueba mide adquisición de reglas, atención en el cambio de reglas y flexibilidad cognitiva. Su referencia es la prueba de Wisconsin. Contiene dos tipos de estímulos: uno de formas abstractas rosas y otro de líneas blancas. Son 9 etapas y en cada una de ellas el niño debe utilizar la retroalimentación que le da la pantalla automáticamente al emitir una respuesta para que él sepa si su respuesta fue “correcta” o “incorrecta”. Y así determinar qué figura es la correcta. Después de 6 respuestas correctas consecutivas, el estímulo correcto cambia por el que antes era el incorrecto, ahora será el correcto. A este cambio se le llama “reversa”, es decir, la regla aprendida cambia a la inversa; y avanza a una nueva etapa. Las dos primeras etapas contienen estímulos “simples” con formas de

color rosa que son denominadas como de una dimensión, la segunda etapa es en reversa. En las etapas posteriores (de la 3 a la 9) los estímulos son “compuestos” están formados por las figuras rosas agregando líneas blancas; en la tercera etapa aparece la figura y la línea no superpuestas y en las etapas cuatro y quinta aparecen superpuestas (la quinta es en reversa). En la sexta etapa aparecen figuras rosas y líneas blancas diferentes a las anteriores también superpuestas, en la etapa 7 aparecen los mismos estímulos, pero en reversa. Los cambios de regla en las primeras 7 etapas son intradimensionales, es decir que la figura rosada es la dimensión relevante y, en las dos últimas etapas 8 y 9 el estímulo correcto cambia, ahora las líneas blancas superpuestas se convierten en la dimensión relevante y es el llamado “cambio extradimensional” (Figura 8). En total las etapas 2ª, 5ª, 7ª y 9ª son de reversa. La etapa 8 presenta el cambio extradimensional, un nuevo problema de discriminación en la nueva dimensión del estímulo que antes era irrelevante y ahora el niño deberá detectarlo como la dimensión relevante para identificar al estímulo correcto. El número de errores representa la medida del poco rendimiento en esta prueba, así como las etapas completadas con éxito.

### Figura 8

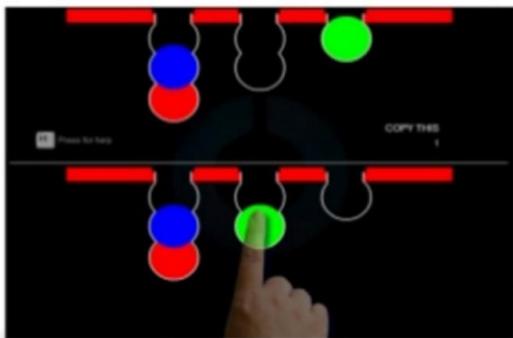
*Imágenes de la prueba IED en la primera y en la segunda etapa.*



- **Stockings of Cambridge (SOC).** Medias de Cambridge. Planificación espacial y habilidades motoras. Esta prueba tiene como referencia la prueba de la Torre de Londres y la Torre de Hanoi. En esta prueba se presenta la pantalla dividida en dos partes en la parte superior se encuentra el modelo objetivo y en la parte inferior se encuentran los elementos (las pelotas) que el niño puede manipular. En cada parte de la pantalla aparecen tres pelotas una roja, una azul y otra amarilla dentro de tres “medias” o “calcetines” transparentes colgados de una barra. La prueba consiste en que el niño mueva las pelotas de la parte inferior de la pantalla para que coincidan con el modelo de la parte superior; deben coincidir tanto en el orden como están acomodadas y en los colores de las pelotas en cada “media” o “calcetín” como se muestra en la Figura 9. Sólo se puede mover una pelota a la vez. El niño debe planificar la secuencia de los movimientos antes de realizarlos para completar la tarea con un mínimo de movimientos de las pelotas. Los aciertos se miden por el número de coincidencias que el niño completó y con una secuencia con un mínimo de movimientos.

### Figura 9

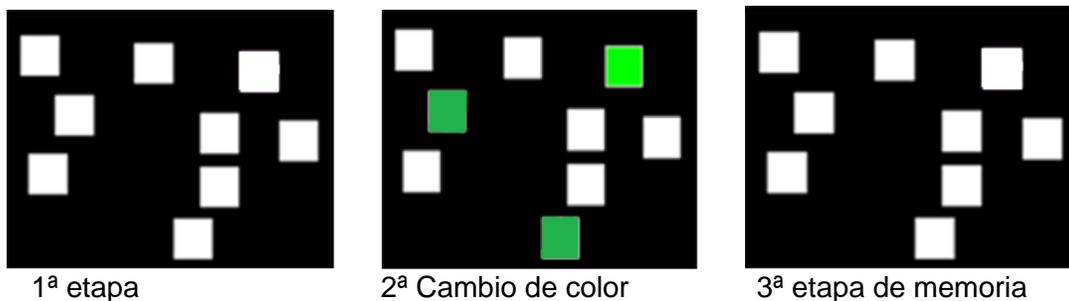
*Imagen de la prueba SOC en la primera y en la segunda etapa.*



- **Spatial Span (SSP).** Función Ejecutiva Espacial. Mide la capacidad de memoria de trabajo visoespacial. La referencia de esta prueba es la prueba de tapping de bloques de Corsi. Consiste en una serie de nueve cuadros blancos que aparecen en la pantalla y que cambian de color por algunos segundos de manera aleatoria, de uno en uno y vuelven a ponerse de color blanco. En la primera etapa de la prueba sólo cambian dos cuadros de color y en las siguientes pruebas va aumentando el número de cuadros que cambian de color. Se debe tocar en la pantalla los cuadros que cambiaron de color, en el mismo orden en que cambiaron para obtener una respuesta correcta (Figura 10). El objetivo es que el niño realice la secuencia con el mayor número de cuadros (secuencia más larga) con éxito.

**Figura 10**

*Imágenes de la prueba SSP en tres etapas de exposición al evaluar.*

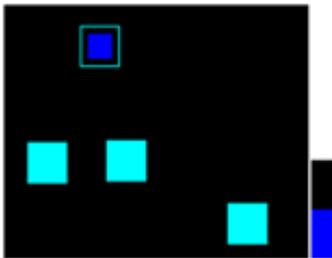


- **Spatial Working Memory (SWM).** Memoria de trabajo espacial y uso de estrategia para una tarea de búsqueda que requiere retención y manipulación de la información. Esta prueba examina la capacidad de retener información visoespacial y manipular elementos en la memoria de trabajo visoespacial. La prueba comienza presentando cuadros (4, 6 u 8) de color azul en la pantalla. El niño debe tocar un cuadro a la vez para buscar una “ficha” azul y al encontrarla debe colocarla en una columna vacía que está al lado derecho

de la pantalla, ahí irá colocando todas las fichas que encuentre hasta llenar la columna (Figura 11). Para esta tarea, los niños deben tocar las cajas por un proceso de eliminación: deben encontrar una “ficha” azul en cada una de las “cajas” o cuadros y cuando la encuentren ya no deberán tocarla de nuevo; porque nunca habrá otra ficha en una caja que antes ya contenía una. La puntuación de la prueba se basa en el total de errores que son: tocar cajas que ya se habían tocado y estaban vacías o cajas de las que ya se había sacado una ficha y ya no debía tocarse. El niño no debe regresar a una caja donde ya apareció una ficha para buscar otra, aquí se evalúa la memoria visoespacial. Esta prueba demanda en el niño capacidades en las funciones ejecutivas para el uso de una estrategia de orden y planeación para buscar las fichas en las cajas adecuadas.

### Figura 11

*Imagen de ejemplo de la prueba SWM*



*Nota.* Los cuadros localizados van en la barra de la derecha

#### 5.8.1.3 Atención

##### ***Atención Selectiva.***

- ***Rapid Visual Information Processing (RVP).*** La prueba de procesamiento rápido de información visual mide atención visual selectiva. El niño debe detectar una secuencia de tres dígitos “3, 5 y 7” en una serie de dígitos que aparecen en diferentes secuencias aleatorias, el niño debe estar atento para identificar específicamente la secuencia “3, 5 y 7” y tocar un círculo en la pantalla inmediatamente después de detectarla (Figura 12). Los

errores se contabilizan con el número de veces que el niño responde ante una secuencia diferente a la indicada o tarda en presionar el círculo.

### Figura 12

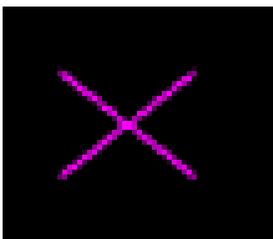
*Imagen con ejemplo de la prueba RVP.*



- **Motor Screening Task (MOT).** Comprensión de instrucciones y, detección y precisión motora y visual. Esta prueba evalúa de forma general dificultades sensoriomotoras y de comprensión de instrucciones. Los niños deben tocar una “X” parpadeante que aparece en la pantalla tomando diferentes posiciones: arriba, abajo, a un lado, al otro o en medio (Figura 13). La ejecución del niño se mide por la velocidad de respuesta y la precisión con la que toca la cruz en la pantalla.

### Figura 13

*Imagen de ejemplo de la prueba MOT.*



#### **5.8.1.4 Signos Neurológicos Blandos**

Escala para Evaluar Signos Blandos ESNB-Mx de Salvador-Cruz et al., en 2016, Vital et al. (Crivelli et al., 2016). Esta prueba mide los siguientes aspectos:

##### **5.8.1.4.1 Lateralidad.**

Dominancia lateral ocular, podálica, auditiva, manual. Distinción derecha-izquierda a través de instrucciones y de figuras y orientación derecha-izquierda con objetos y con dibujos. El niño debe saber dónde está su lado derecho e izquierdo y dónde, el lado derecho o izquierdo de su referencia, ésta puede ser el evaluador, el dibujo de una persona o incluso un objeto sobre la mesa.

##### **5.8.1.4.2 Atención.**

- Escucha dicótica. En esta prueba se usan audífonos y un reproductor que puede ser un celular; en cada bocina de los audífonos el niño escucha una sílaba o una palabra diferente, por ejemplo, en la bocina del lado derecho escucha la sílaba “ca” y al mismo tiempo en la bocina de lado izquierdo escucha “sa”. El niño debe mencionar la sílaba o la palabra que haya escuchado con mayor claridad para tomarla como el lado de predominio auditivo y de mayor atención. El niño debía pronunciar sólo una de las sílabas y no la palabra “casa”, porque esto es un error.
- Secuencia de caminos, en esta prueba, el niño debe unir diferentes tipos de figuras de diferentes colores, primero haciendo coincidir dos figuras y después, el color de la segunda figura debe coincidir con el color de la siguiente figura, aunque sea una figura diferente, y después esta figura debe coincidir con la siguiente figura, y después con el color, y así sucesivamente, primero se debe poner atención en la figura y después en el color, figura-figura, color-color. Esta prueba mide atención selectiva ante una serie de estímulos distractores.

**5.8.1.4.3 Psicomotricidad:**

- Ejecución motora del movimiento,
- Estereognosia: el niño, con los ojos cerrados, debe tratar de identificar algunos objetos (liga, botón, tornillo) con la mano derecha y otros (lentes, moneda y clip) con la mano izquierda, tocándolos únicamente con los dedos.
- Gnosia manual: el niño, con los ojos cerrados, colocará sus manos sobre la mesa con las palmas abajo, los dedos abiertos y bien extendidos. El evaluador tocará con un lápiz a lo largo de un dedo y luego de otro (según la secuencia correspondiente). El niño deberá indicar qué dedos han sido tocados y cuántos dedos hay entre ellos.
- Secuencia rítmica con ojos abiertos y ojos cerrados: el evaluador debe dar una secuencia de golpes en la mesa, de forma suave y de forma fuerte con el puño, el niño debe imitar esos golpes en la misma secuencia y con la misma intensidad. Primero con los ojos abiertos y después con los ojos cerrados. Otra tarea de esta misma prueba es realizar el juego “Marinero” con las palmas de las manos entre el niño y el evaluador.
- Grafestesia: en esta prueba el niño debe permanecer con los ojos cerrados y el evaluador debe trazar con un lápiz números, letras y figuras geométricas, primero en la palma de la mano y después en la espalda del niño, y el niño debe decir cuál número, letra o figura se trazó en su mano y en su espalda, esto es de uno en uno. Si el niño menciona otro número, letra o figura se le puede dar otra oportunidad repitiendo el trazo.
- Extinción de movimientos. En esta prueba el niño debe permanecer sentado y con las manos sobre sus piernas con las palmas hacia abajo y con los ojos cerrados, se tocará la mejilla y las manos de forma simultánea siguiendo un orden

establecido. El niño debe mencionar en qué parte específica de la mejilla y de la mano fue tocado.

#### **5.8.1.4.4 Lenguaje.**

- Fonología, ésta se evalúa mostrando al niño una serie de 58 láminas de una en una y él debe mencionar de qué se trata o cómo se llama lo que está observando. El evaluador debe poner atención en que el niño haga la correcta pronunciación del fonema que se está evaluando.
- Morfología, en esta prueba, se le muestra al niño unas láminas en las que él debe hacer algo y decir correctamente los pronombres personales y adjetivos posesivos, según el caso.
- Absurdos verbales, el evaluador debe leer al niño una oración cuyo contenido es absurdo e irreal y le preguntará si hay algo raro en la oración, si el niño no responde correctamente, entonces se le muestra una lámina que ilustra la oración y se le vuelve a preguntar si hay algo raro en ella.
- Fluidez verbal, con la descripción de una lámina. Se le proporciona al niño una lámina con una ilustración muy colorida y con muchos elementos, que sugiere la acción de algunas personas. El niño deberá crear una narración de lo que está sucediendo en esa ilustración, se anotará lo que diga el niño, el evaluador debe estar muy atento.
- Sintaxis, el niño debe entender los adverbios de tiempo, de causalidad, de relatividad y condicionales.

#### **5.8.1.4.5 Funciones Ejecutivas.**

- Control inhibitorio, se pedirá al niño que realice una serie de instrucciones en las que debe poner mucha atención, para realizar una acción o inhibirla dependiendo de la instrucción; son tres estímulos: en el primero, si el evaluador golpea una vez la mesa, el niño también la golpeará una vez, pero si el evaluador golpea dos veces, entonces el niño no golpeará la mesa. En el segundo, se le mostrará una tarjeta blanca que indicará que el niño debe aplaudir, pero si se le muestra una tarjeta negra, el niño no debe hacer nada. En el tercero, si el evaluador dice “brinca” el niño debe permanecer de pie en su sitio y si dice “detente”, entonces el niño debe brincar. Con esto se evalúa una función ejecutiva de control de los impulsos automáticos permitiendo la autorregulación del comportamiento.
- Memoria de trabajo:
  - Retención de dígitos: en orden directo, en el orden que se le mencionan; y en orden inverso al orden en el que los mencionó el evaluador.
  - Sucesión de números y letras, el evaluador mencionará una combinación de números y letras, en donde el niño deberá decir primero los números en orden ascendente y las letras en orden alfabético, en el caso de niños de 6 y 7 años, si no saben contar del 1 al 10 y tampoco el abecedario completo, entonces a ellos no se les aplica esta prueba.
    - Memoria visoespacial. Con un Xilófono, el niño debe seguir una serie de secuencias desde una muy sencilla hasta unas más largas. La prueba termina cuando el niño no pueda seguir la secuencia completa.

#### **5.8.1.4.6 Visopercepción.**

- Copia de figuras, en esta prueba se presenta una serie de 12 figuras que van aumentando en complejidad de reproducción, las cuales el niño debe copiar lo más cercano posible al modelo.
- Movimientos sacádicos, se coloca un lápiz al extremo derecho de la visión y otro al extremo izquierdo, Se pide al niño que vea un lápiz y que rápidamente cambie la vista al otro lápiz, en repetidas ocasiones lo más rápido que pueda. El evaluador observará si hay parpadeo, si el movimiento es desigual, si el niño mueve la cabeza de un lado al otro junto con los ojos; todo esto se tomará como error.
- Rastreo visual con líneas: se le pide al niño que tache las líneas que se encuentran distribuidas en toda la hoja y que tache cada una, tratando de que sea en el punto medio de la misma formando una "X" o una "+". Se registrará la secuencia de rastreo visual con que se inició la prueba y hacia dónde se dirigió hasta terminar la tarea.
- Síntesis visual. En esta prueba se le muestra al niño una serie de dibujos de objetos segmentados en varias partes y se le pide que reconozca de qué objeto se trata y diga el nombre del objeto.

#### **5.8.1.5. Volumetría Cerebral**

El instrumento que se utilizó para medir el volumen de materia blanca en el cerebro fue un escáner de 3.0 Tesla Achieva MRI (Philips Medical System, Eindhoven, Holanda) con una antena de cráneo de 32 canales. Además, se adquirió una imagen de alta resolución T1 en 3D y dos secuencias idénticas de imagen por Tensor de Difusión (DTI). La adquisición de T1 3D consistió en una secuencia Fast Fiel-Echo con TR/TE=8/3.7ms, FOV 256X256 mm<sup>2</sup> y una matriz de reconstrucción de 256X256, resultando en una resolución isométrica de 1x1x1 mm<sup>3</sup>, con un

tiempo de adquisición de 2.20 min. en promedio. Las secuencias DTI consistieron en secuencias de imagen de disparo únicos Eco Planar, adquiriendo 33 volúmenes de 70 rebanadas axiales (rebanadas con grosor de 2mm sin separación), una para cada una de las 32 direcciones independientes de difusión con  $b=800$  s/mm<sup>2</sup> y una correspondiente a  $b=0$  s/mm<sup>2</sup>, TR/TE=8467/60ms, FOV 256X256 mm<sup>2</sup> y una adquisición y matriz de reconstrucción de 128X128, resultando en una resolución isométrica de 2X2X2 mm<sup>3</sup>, con un tiempo de adquisición de 2.21 min. en promedio. Las imágenes funcionales para el análisis de las redes en estado de reposo consistieron de 150 volúmenes con un TR de 2000 ms, TE de 35 ms, con 34 cortes transversales a una resolución final de 3x3x4 mm<sup>3</sup> sin espacios, con un tiempo de adquisición de 2.19 min. El escáner utilizado se ubicaba en la Unidad de Resonancia Magnética de la UNAM, en Juriquilla, Querétaro (Figura 14).

### Figura 14

*Unidad de Resonancia Magnética de la UNAM en el Campus Juriquilla, Querétaro.*



### 5.9. Procedimiento

Lo primero que realicé fue una búsqueda exhaustiva, en la base de datos del Sistema Computarizado del Programa Integral de Apoyo a la Nutrición y el Neurodesarrollo (SCPIAN) del Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán (INCMNSZ),

de los niños que cumplieran con los criterios de inclusión. Se formaron dos grupos, uno de estudio y otro control; se intentó que cada grupo estuviera conformado por un mínimo de 30 niños(as). Sin embargo, esto no se logró debido a la pandemia por COVID-19:

**Grupo de Estudio (GE):** Niños con antecedentes de desnutrición moderada o grave según indicador Talla para la Edad (TEDNUT), es decir con desnutrición crónica. En puntaje Z, TEDZ\_OMS= -2.0 a -3.0 Desviaciones Estándar (DE) o menos.

**Grupo Control (GC):** Niños sin desnutrición o con nutrición normal, según indicador Talla para la Edad. En puntaje Z, TEDZ\_OMS= +1.0 a -1.0 DE.

Se obtuvo la autorización del Comité de Ética de la Facultad de Medicina, de las autoridades de Salud municipales y de las autoridades escolares de las localidades de Sitio Centro en Villa Victoria y de San José Lamillas en San José del Rincón en el Estado de México.

Se acudió a las localidades mencionadas y se buscó al líder de la comunidad para explicarle el objetivo del estudio y para solicitarle su apoyo y ayuda para acudir al domicilio de cada niño y hablar con los padres y con el niño.

Se obtuvo el consentimiento informado de los padres y es asentimiento de los niños para realizar la medición del estado de nutrición, la evaluación neuropsicológica y el estudio de imagenología a través de Resonancia Magnética.

Se tramitó el permiso por parte de la Jurisdicción Sanitaria de Valle de Bravo en el Estado de México para realizar las pruebas neuropsicológicas con los niños en sus escuelas y para llevarlos de su comunidad en el Estado de México al Instituto de Neurobiología en Juriquilla, Querétaro (Figura 15).

**Figura 15**

*Niño en el resonador en la Unidad de Resonancia Magnética de la UNAM en el Campus Juriquilla, Querétaro.*



Se realizaron las mediciones en la escuela o la casa del niño(a) y se buscó un lugar para que el(a) menor estuviera cómodo(a) durante la evaluación:

- En la primera visita se aplicaron 4 de las subpruebas del CANTAB y las mediciones antropométricas
  - En la segunda visita se aplicaron 4 pruebas del CANTAB
  - En la tercera visita se aplicaron 2 pruebas del CANTAB y la medición de anemia
  - En la cuarta, quinta y sexta visita se aplicó la prueba de Signos Blandos
  - En la séptima visita se aplicó el estudio de Resonancia Magnética en el Instituto de Neurobiología en Juriquilla, Querétaro
  - En la octava visita se dio retroalimentación a los niños y a sus padres o tutores sobre las mediciones realizadas.
- 
- Se capturó la información recabada en una base de datos de Excel.
  - Se analizaron los datos como se describe en el siguiente apartado.

A las visitas que realizaba a la Zona Mazahua lo hacía con un grupo de pasantes de psicología de la UNAM y de la UAEM, y pasantes de nutrición de la Universidad Autónoma de Guerrero (UAGRO), y de la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM); y con mis compañeros nutriólogos del INCMNSZ como se ilustra en la Figura 16.

### Figura 16

*Pasantes de nutrición y psicología en la escuela primaria de la localidad San José del Rincón en el municipio de San José del Rincón*



### 5.10. Análisis Estadístico

Todos los análisis estadísticos se realizaron utilizando el paquete estadístico SPSS v23. Se realizó un análisis descriptivo de las variables de estudio.

Se detectaron las variables que no tenían una distribución normal a través de pruebas de normalidad como la prueba de Kolgomorov Smirnof para el grupo de estudio y Shapiro Wilks para el grupo control porque fueron menos de 30 niños.

Se utilizaron pruebas de estadística inferencial como:

- Prueba U de Mann Whitney (U) para comparar los dos grupos de estudio (GE y GC) y las pruebas neuropsicológicas de CANTAB y la prueba de Signos Neurológicos Blandos, empleando las variables que no tuvieron una distribución normal.
- Análisis de Varianza (ANOVA) de medidas repetidas para las variables que representaban las diferentes etapas o ensayos dentro de la misma prueba.
- Análisis de correlación Pearson entre las variables cuantitativas de los indicadores del estado de nutrición y las puntuaciones de las pruebas neuropsicológicas.
- Análisis de regresión lineal para determinar la asociación de todas las variables cuantitativas que se refería a los indicadores del estado de nutrición y las puntuaciones de las pruebas neuropsicológicas.
- Para el análisis de la imagenología cerebral se empleó el software VolBrain para determinar el volumen de la materia blanca en el cerebro, el cerebelo y la total.

## Capítulo 6. Resultados

### 6.1. Descriptivos

Las características de la muestra se presentan en la Tabla 4, los datos correspondientes a la distribución porcentual de la variable sexo fue la misma en cada grupo. La distribución por edad fue variada en cada grupo y el estado de nutrición tuvo dos categorías a partir de las cuales se formaron los dos grupos de comparación:

- 1) Grupo de Estudio (GE): Niños con antecedentes de desnutrición moderada o grave, o con desnutrición crónica según indicador Talla para la Edad (TEDNUT). En puntaje Z,  $TEDZ\_OMS = -2.0$  a  $-3.0$  Desviaciones Estándar (DE) o menos
- 2) Grupo Control (GC): Niños sin desnutrición o con nutrición normal, según indicador Talla para la Edad. En puntaje Z,  $TEDZ\_OMS = +1.0$  a  $-1.0$  DE.

Como se observa en la Tabla 4 el grupo control sólo se formó con 18 niños debido a que la pandemia por COVID-19 impidió que se pudiera completar la muestra. Cuando hubo vacunas para los niños las condiciones de trabajo y los niños seleccionados, ya habían cambiado y no fue posible recuperarlos. Además, los padres de familia mencionaron estar temerosos de salir de su comunidad por el riesgo a un contagio con el virus del COVID-19.

**Tabla 4**

*Distribución porcentual por grupo de las características de los participantes por grupo de la Zona Mazahua del Estado de México, marzo, 2020.*

Características	Grupo Control (GC)		Grupo Estudio (GE)	
	n	%	n	%
Sexo				
Masculino	10	55.6	20	55.6
Femenino	8	44.4	16	44.4
Edad				
6	4	22.2	4	11.1
7	2	11.1	14	38.9
8	5	27.8	10	27.8
9	4	22.2	4	11.1
10	3	16.7	4	11.1
Media	8.0		7.7	
D.E.	1.4		1.2	
<sup>a</sup> Estado de nutrición (T/E)				
Normal	18	100.0	0	0
Desnutrición moderada/grave	0	0	36	100%
Total	18		36	

<sup>a</sup> El estado de nutrición se calculó con base en el indicador Talla/Edad

## 6.2. Resultados de las Variables Neuropsicológicas

A continuación, se presentan los resultados de las pruebas de la Batería CANTAB y de la Escala de Signos Neurológicos Blandos (SNB-MX) que se aplicó para cada proceso cognitivo.

### 6.2.1. Memoria

#### 6.2.1.1. Memoria de Coincidencia Perceptiva Simultánea, Inmediata y Diferida.

Para medir este tipo de memoria visual se utilizó la prueba Delayed Matching Sample (DMS), para el análisis estadístico se utilizó el análisis de varianza (ANOVA) de medidas repetidas de 2 (GE y GC) x 4 (cuatro condiciones de exposición de los estímulos: simultáneo, 0,

4 y 12 segundos) para comparar el número total de respuestas correctas en cada condición. La prueba de esfericidad de Mauchly indicó que el supuesto de esfericidad no se cumplió por lo que los grados de libertad se corrigieron con la estimación de Huynh-Feldt ( $\epsilon=.910$ ).

No se encontró una interacción estadísticamente significativa entre el estado de nutrición y la memoria visual a corto plazo, en ninguna de las cuatro condiciones de exposición de los estímulos, con esta prueba. Se encontró que en ambos grupos las puntuaciones estuvieron por arriba de la media esperada (3 puntos).

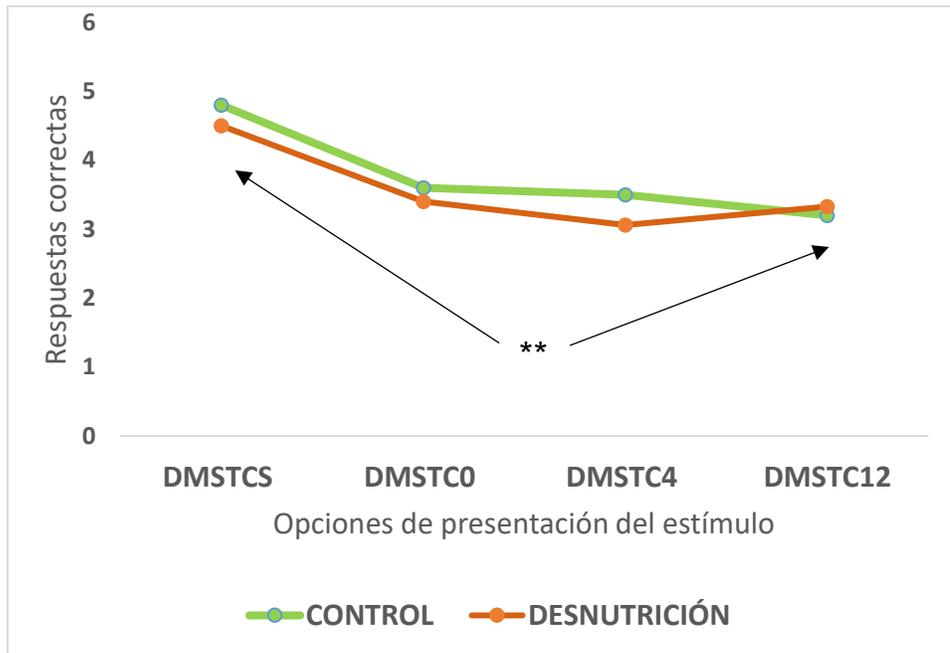
El efecto principal fue significativo con diferencias intragrupo en el factor que contiene las cuatro condiciones, con un valor  $F_{(3,141)} = 22.5$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2 = .32$ ; por lo que se asume que la memoria a corto plazo se ve afectada por el tiempo transcurrido entre la presentación del estímulo de muestra y el estímulo de prueba, en este caso, independientemente de la presencia o no de desnutrición.

Dentro del GE (con desnutrición crónica) se encontró que la puntuación más alta y estadísticamente diferente a las otras tres fue en la condición de presentación simultánea del estímulo (reconocimiento visual) donde obtuvieron el número más alto de respuestas correctas ( $M = 4.5$ ,  $DE = .56$ ,  $p < .01$ ) en las otras tres condiciones no se encontraron diferencias significativas entre ellas ( 0 segundos  $M=3.4$ ,  $DE = 1.17$ ; 4 segundos  $M = 3.06$ ,  $DE = 1.12$ ; y 12 segundos  $M = 3.33$ ,  $DE = 1.11$ ) ( $p > .05$ ) estos resultados están representados en la Figura 17.

Dentro del GC (sin desnutrición) también se encontró que en la condición de presentación simultánea los niños presentaron el mayor número de respuestas correctas ( $M = 4.8$ ,  $DE = .40$ ), en comparación con las otras tres condiciones: después de 0 segundos ( $M = 3.6$ ,  $DE = 1.15$ ), 4 segundos ( $M = 3.56$ ,  $DE = 1.03$ ) o 12 segundos ( $M = 3.19$ ,  $DE = 1.22$ ;  $p = .001$ ) estos resultados también se encuentran en la Figura 17.

**Figura 17**

*Comparación de memoria de coincidencia perceptiva simultánea, inmediata y con intervalos de demora de 0, 4 y 12 segundos, prueba DMS, entre Grupo Control y Grupo de Estudio, de la Zona Mazahua del Estado de México.*



*Nota.* DMSTCS= Total de correctas en la 1ª respuesta cuando los estímulos se presentaron de forma simultánea. DMSTC0= Núm. Total de correctas en la 1ª respuesta en todos los ensayos con demora de 0 seg (inmediata). DMSTC4= Núm. Total de correctas en la 1ª respuesta en todos los ensayos con demora de 4 seg. DMSTC12= Núm. Total de correctas en la 1ª respuesta en todos los ensayos con demora de 12 seg. \*\*  $p < .001$  entre DMSTCS y DMSTC12 dentro de cada grupo.

Posteriormente, se realizó un análisis de correlación entre el total de aciertos con la variable DMSTC y los indicadores de desnutrición Talla para la edad en puntajes Z (TEDZ\_OMS), Peso para la edad en puntajes Z (PEDZ\_OMS), Hemoglobina en sangre (HB, para detectar anemia), género y volumen de materia blanca en el encéfalo. De acuerdo con esto, sólo hubo correlación significativa entre DMSTC y volumen de materia blanca ( $r = .344$ ,  $p = .043$ ).

Así mismo, se realizó un análisis de regresión lineal simple con el método Enter para predecir el efecto del volumen de la materia blanca en el encéfalo sobre la correcta ejecución en esta prueba DMS. La variable dependiente fue DMSTC y la independiente el volumen de materia blanca en el encéfalo. Cabe señalar que las dos variables tuvieron una distribución normal de acuerdo con la prueba Shapiro-Wilk. La ecuación de regresión fue estadísticamente significativa  $F_{(1,33)} = 4.44$ ,  $p = .043$ . El valor de la  $R^2$  fue de .119, lo que indica que el 11.9% del cambio de la puntuación en el número aciertos en la prueba DMS se puede predecir por el volumen de materia blanca en el encéfalo.

La ecuación de la regresión fue:

$$Y = 6.479 + .019X$$

Donde Y= la puntuación de aciertos en DMS y X= volumen de materia blanca.

La puntuación de aciertos en DMS aumenta 0.19 puntos por cada  $\text{cm}^3$  de materia blanca.

Finalmente, para esta prueba, se realizó un modelo de regresión donde se incluyeron como variables independientes y de control: sexo, edad, PEDZ\_OMS y HB; sin embargo, no hubo una asociación significativa, es decir que estas variables no explican el número de aciertos en la prueba DMS. Y otro modelo de regresión con: sexo, edad, TEDZ\_OMS y HB; estas variables tampoco explicaron el puntaje en la prueba DMS.

### 6.2.1.2. Memoria de Reconocimiento Visual a Corto y a Largo Plazo

Para este tipo de memoria se utilizó la prueba Pattern Recognition Memory (PRM) del CANTAB y se realizó un análisis de varianza (ANOVA) mixto de medidas repetidas de 2 (GC y GE) x 2 (Memoria a largo y a corto plazo) comparando el porcentaje de respuestas correctas. No se encontró una interacción significativa estado de nutrición y memoria ( $p > .05$ ) no se calculó la esfericidad debido a que sólo fueron dos medidas repetidas (corto y largo plazo). En los efectos principales de las variables por separado sí hubo diferencias significativas con un valor de  $F_{(1, 47)} = 6.57$ ,  $p = .014$ ,  $\eta^2 = .12$ ; Específicamente estas diferencias se encontraron en el efecto principal ( $p = .01$ ) de memoria a corto plazo donde el grupo control obtuvo una mejor puntuación (91.1, DE = 4.7) que el grupo de Estudio (M = 75.8, DE = 3.3). En memoria a largo plazo, no hubo diferencias significativas entre ambos grupos (Figura 18).

Se realizó una regresión lineal por pasos para predecir el efecto del indicador talla para la edad, Hemoglobina en sangre (HB) y volumen de materia blanca (VMB); sobre la memoria de reconocimiento visual a corto plazo. El valor de FIV= 1.00 indica que no hay multicolinealidad entre las variables independientes, así como la prueba de Durbin-Watson = 1.47. Se encontró que la ecuación del modelo sí fue significativa  $F=(5.32, p=.010)$ ; el valor de  $R^2$  fue .26, es decir que el 26% del cambio de la puntuación de aciertos en memoria a corto plazo puede ser explicado por el modelo de regresión que incluye HB y VMB la ecuación de regresión fue:

$$Y = -38.68 + 4.66X_1 + .150X_2$$

Donde Y= Memoria de reconocimiento visual a corto plazo,  $X_1$ = HB y  $X_2$ = VMB.

Lo que implica que, a mayor hemoglobina en sangre y mayor volumen de materia blanca, mayor memoria visual a corto plazo.

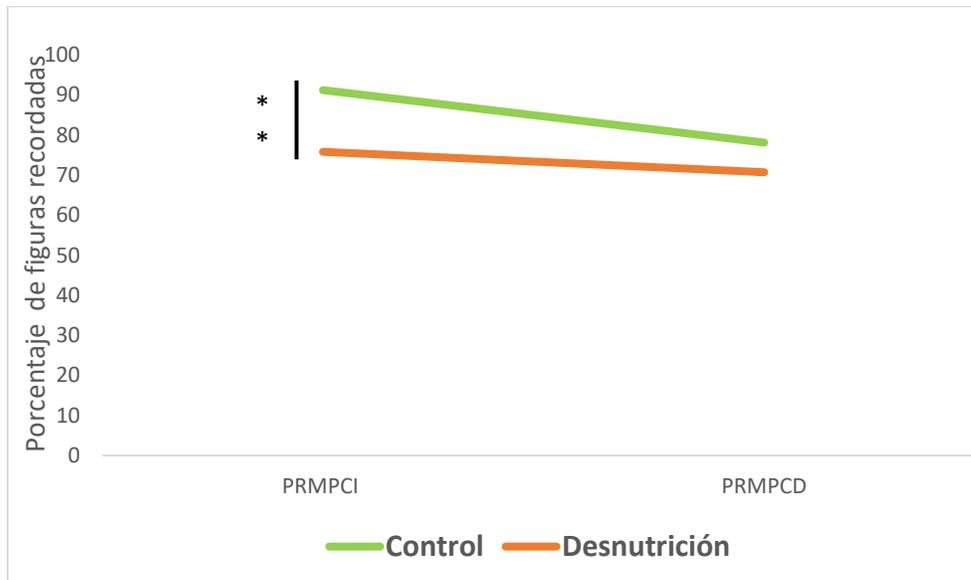
En otro modelo de regresión lineal simple con el método ENTER donde entró la memoria a largo plazo como variable dependiente (VD) y el indicador talla para la edad como variable predictora (porque fue la única que correlacionó significativamente ( $r=.358, p=.008$ ) con la VD. Cabe señalar que esta VD no tuvo una distribución normal. La ecuación de regresión fue

estadísticamente significativa  $F(1,43) = 6.33$ ,  $p=.016$ . El valor de  $R^2$  fue de .128, lo que indica que el 12.8% del cambio en la memoria a largo plazo es explicado por el indicador talla para la edad. La puntuación de memoria a largo plazo aumenta 3.9 puntos por cada unidad de aumento en el indicador Talla para la edad (TEDZ\_OMS).

Se aplicó otro análisis de regresión lineal tomando como variable independiente la edad en la que fueron medidos los indicadores del estado de nutrición (TEDZ\_OMS y PEDZ\_OMS). La ecuación fue significativa ( $F_{(1,46)}=4.34$ ,  $p=.043$ ). El valor de  $R^2$  fue de .086, explicó que el 8% del cambio en la memoria a largo plazo fue debido a la edad en la que padecieron desnutrición. Es decir que por cada año más de edad la memoria a largo plazo se incrementaba un .362.

**Figura 18**

*Comparación entre niños con desnutrición crónica y controles de las medianas de memoria de reconocimiento visual a corto y largo plazo. Prueba Pattern Recognition Memory (PRM), Zona Mazahua del Estado de México.*



*Nota.* PRMPCI= Cantidad en porcentaje de figuras recordadas en la condición de elección forzada inmediata, memoria a corto plazo. PRMPCD= Cantidad en porcentaje de figuras seleccionadas por el sujeto en la condición de elección forzada con demora de 20 minutos, memoria a largo plazo. \*\*  $p < .01$

### 6.2.1.3. Memoria Episódica

La memoria episódica fue evaluada con la prueba Paired Associated (PAL). Esta prueba se divide en dos variables: PALTEA28 que se refiere al número de errores ajustado (el niño no recordó la ubicación de las figuras después de 10 ensayos) y PALFAMS, número de respuestas correctas en el primer intento (en el primer ensayo).

No se encontraron diferencias entre los niños del GE y los niños del GC en PALTEA28 ( $U = 238.5$ ,  $p > .05$ ); y tampoco en la variable PALFAMS ( $U = 228$ ,  $P > .05$ ).

Se realizó un análisis de correlación entre las variables PALTEA28, PALFAMS, TEDZ\_OMS, PEDZ\_OMS, HB y el volumen de materia blanca en el encéfalo. Para determinar que variables podrían estar relacionadas y considerarlas en un modelo de regresión lineal. Con PALTEA28 no correlacionó alguna variable, sin embargo, con PALFAMS sí correlacionaron los volúmenes de materia blanca, Cabe señalar que tanto PALFAMS como el volumen de materia blanca tienen una distribución normal de acuerdo con la prueba Shapiro-Wilks.

El análisis de regresión simple con la variable PALFAMS como dependiente y el volumen de materia blanca como independiente mostró que la ecuación de regresión fue estadísticamente significativa  $F_{(1,33)}=4.6$ ,  $p=.040$ . El valor de  $R^2$  fue de .122, lo que indica que el 12% del cambio en el número de respuestas correctas en el primer intento de la prueba de memoria episódica se explica con este modelo. Las respuestas correctas se toman como la constante ( $y= -1.962$ ) y el volumen de materia blanca como la variable independiente ( $x= .030$ ), dado esto, se puede decir que las respuestas correctas aumentan .030 por cada  $\text{cm}^3$  de volumen en la materia blanca.

### **6.2.2. Funciones Ejecutivas**

La Batería CANTAB se utilizó para evaluar las Funciones Ejecutivas (FE) con las subpruebas que evaluaban: cambios atencionales (subprueba IED), planeación de movimientos espaciales para resolver un problema (subprueba SOC), memoria de trabajo visoespacial (subpruebas SSP y SWM).

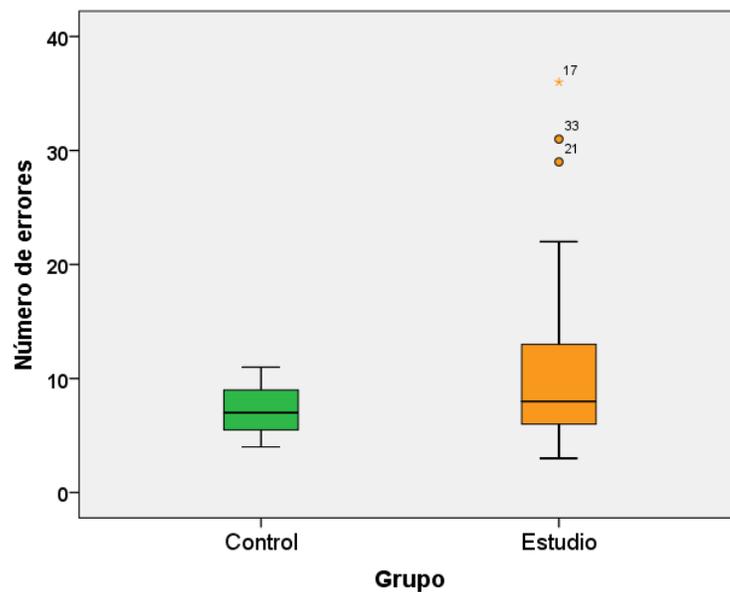
La Escala de Signos Neurológicos Blandos (SNB-MX) también se utilizó para evaluar FE a través de las subpruebas: control inhibitorio, memoria de trabajo con series numéricas y series con números y letras y con memoria visoespacial. Que contenían tareas en las que el niño realizaba actividades que la batería de CANTAB no contenía, por esta razón también se aplicó la Escala SNB-MX la cual permitió tener una evaluación más completa de las funciones ejecutivas.

### 6.2.2.1. Cambios Atencionales

En las pruebas de la batería CANTAB que se refieren a funciones ejecutivas y dentro de éstas la que midió los cambios atencionales, fue la prueba IED, en la que se encontró que no hubo diferencias significativas en el número de errores (IEDEPRE), por lo que éstos se presentaron en un número muy bajo en el GC y en el GE (Figura 19). En cuanto al número total de errores ajustado (IEDYERTA) tampoco se encontraron diferencias significativas (Figura 20).

#### Figura 19

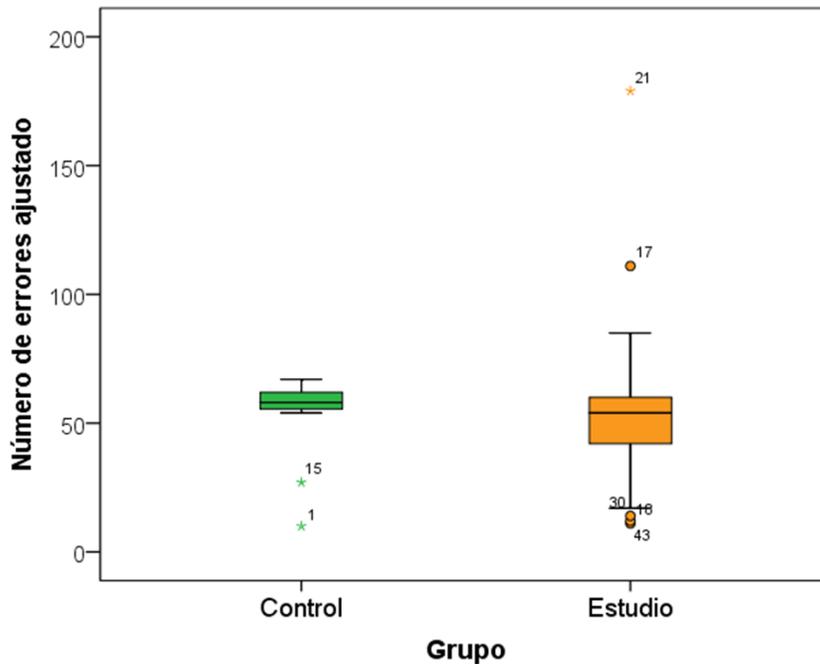
*Comparación de la distribución de errores en la etapa intradimensional (IEDEPRE) de la prueba IED de la batería CANTAB, entre niños con antecedentes de desnutrición (Grupo Estudio) y sin ellos (Grupo Control) de la Zona Mazahua del Estado de México.*



*Nota. Diferencias No Significativas*

**Figura 20**

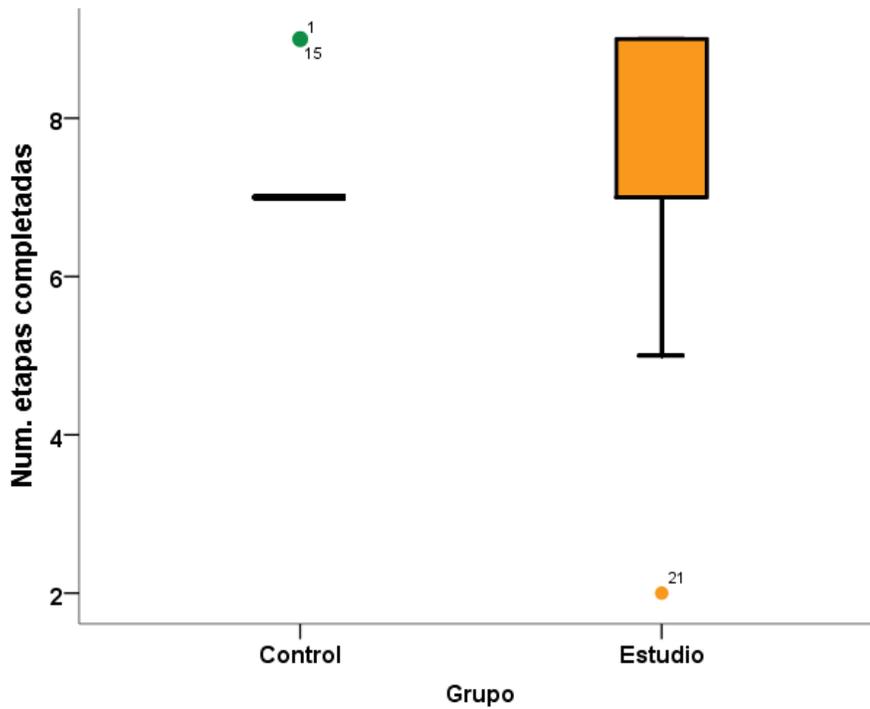
*Comparación de la distribución de errores ajustados en la etapa intradimensional (IEDYERTA) de la prueba IED de la batería CANTAB en niños con (Grupo de Estudio) y sin antecedentes de desnutrición (Grupo Control) de la Zona Mazahua del Estado de México.*



En cuanto al número de etapas completadas con éxito por los niños en toda la prueba (IEDYCOST) si se encontraron diferencias significativas en ambos grupos, aunque la mediana es la misma, hubo mayor dispersión de los datos en el Grupo de Estudio (Figura 21), los niños del Grupo Control fueron más consistentes con puntajes altos en el número de etapas completadas con éxito (ver Fig. 21 y Tabla 5).

**Figura 21**

Comparación del número total de etapas que se completó con éxito en la prueba IEDYCOST de la batería CANTAB, entre niños con (Grupo de Estudio) y sin antecedentes de desnutrición (Grupo Control) de la Zona Mazahua del Estado de México, marzo, 2020.



Nota. \* $p < .05$

**Tabla 5**

*Comparación de las medianas de las funciones ejecutivas en las pruebas Intra-Extra dimensional (IED) de la prueba CANTAB, entre niños controles (GC) y con desnutrición crónica (GE), de la Zona Mazahua del Estado de México.*

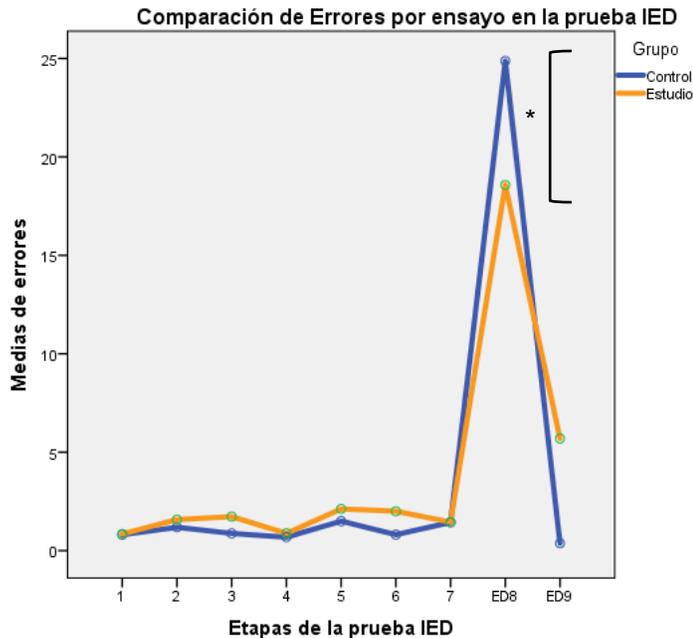
Variable	GC <sup>a</sup>	GE <sup>b</sup>	U de Mann-Whitney	Sig.Exacta (unilateral)	Min	Max	r <sup>f</sup>
	(n= 16)	(n=33)					
	Me	Me					
EDEPRE <sup>c</sup>	7	8	231.5	.247	0	308	.096
IEDYERT <sup>d</sup>	58	54	211.5	.134	0	402	.018
IEDYCOS <sup>e</sup>	7	7	197.0	<b>.045</b>	0	9	.165

*Nota.* <sup>a</sup> Grupo Control; <sup>b</sup> Grupo de Estudio; <sup>c</sup> Número de errores antes de la etapa extradimensional; <sup>d</sup> Número total de errores ajustado; <sup>e</sup> Número total de etapas que el niño completó con éxito; <sup>f</sup> Tamaño del efecto

La comparación del desempeño de los niños a lo largo de la prueba y en cada etapa, se realizó con un ANOVA de medidas repetidas de 2 (GC y GE) x 9 (los errores en cada una de las 9 etapas de la prueba), no se cumplió con el supuesto de esfericidad de Mauchly, así que, se tomó la corrección de Huynh-Feldt. Se encontró una interacción significativa entre los antecedentes del estado de nutrición y las funciones ejecutivas de la prueba IED del CANTAB con un valor de  $F(8,120.9) = 3.96, p = .014, \eta^2 = .078$ . Los resultados más específicos muestran que las diferencias se presentaron sólo en la etapa 8 de la prueba (Figura 22) que implica el cambio de reglas a una condición extradimensional, y en este aspecto, el GC tuvo un **mayor número de errores** (M = 24.9, DE 2.4) que el GE (M = 18.6, DE = 1.7).

**Figura 22**

*Comparaciones entre niños de la Zona Mazahua del Estado de México con desnutrición crónica (grupo de Estudio) y grupo control en cada una de las etapas de la prueba IED a través del ANOVA. Zona Mazahua del Estado de México.*



*Nota.* 1= IEDES1. Número total de errores cometidos en la etapa 1 con estímulo simple de forma. 2= IEDES2. Número total de errores cometidos en la etapa 2 con estímulo simple, cambio de regla. 3= IEDES3. Número total de errores cometidos en la etapa 3 con estímulos compuestos no superpuestos. 4=IEDES4. Número total de errores cometidos en la etapa 4 con estímulo compuesto superpuestos. 5= IEDES5. Número total de errores cometidos en la etapa 5, con estímulo compuesto superpuestos, aprendizaje inverso, cambio de regla. 6= IEDES6 Número total de errores cometidos en la etapa 6, con diferente estímulo compuesto superpuesto. 7= IEDES7. Número total de errores cometidos en la etapa 7, con estímulo superpuesto, aprendizaje inverso, cambio de regla. ED8= Número de errores cometidos en la etapa 8 con cambio extradimensional. ED9= Número de errores cometidos en la etapa 9 con cambio extradimensional en reversa. \* $p < .05$  la diferencia se encontró sólo en ED8 dentro de cada grupo de estudio.

En el análisis de correlación entre el número total de errores en la etapa intradimensional (IEDEPRE) se observó que esta variable sólo correlacionó con los indicadores TEDZ\_OMS ( $r = -.330$ ,  $p = .027$ ) y con PEDZ\_OMS ( $r = -.382$ ,  $p = .010$ ), aunque no se cumplió con el supuesto de normalidad.

Se realizó un análisis de regresión lineal simple por separado para cada variable predictora, TEDZ\_OMS y PEDZ\_OMS por la colinealidad que existe entre estos dos indicadores, para ver qué variables del estado de nutrición explicaban el número de errores en la etapa previa a la etapa extradimensional (IEDEPRE). En el primer modelo con la variable TEDZ\_OMS la ecuación de regresión fue estadísticamente significativa [ $F(1,43) = 5.251$ ,  $p = .027$ ]. El valor de  $R^2$  fue de .109, lo que indica que el 11% del cambio en IEDEPRE puede ser explicado en este modelo simple. Se puede decir que esos errores ( $y = 6.408$ ) disminuyen 1.475 por cada unidad de TEDZ\_OMS.

En el otro análisis de regresión lineal simple con la misma variable IEDEPRE, pero ahora con la variable PEDZ\_OMS como predictora. La ecuación de regresión también fue significativa ( $F(1,43) = 7.342$ ,  $p = .010$ ). El valor de  $R^2$  fue de .146, lo que indica que el 15% del cambio en el número de errores en IEDEPRE, puede ser explicado por PEDZ\_OMS. Es decir, por cada unidad en el indicador PEDZ\_OMS, los errores antes de la etapa extradimensional disminuyeron 1.990.

Con la variable IEDYCOST no hubo correlación con alguna de las variables independientes, por tal motivo no se realizó el análisis de regresión lineal.

#### **6.2.2.2. Planeación de Movimientos Espaciales para la Resolución de Problemas**

La prueba Stockings of Cambridge (SOC) mide la planeación de los movimientos espaciales para la resolución de problemas. La variable analizada, derivada de esta prueba fue SOCPSMMT que cuantifica el número de problemas completados con el mínimo de movimientos. No se encontraron diferencias significativas entre los dos grupos con respecto a esa variable (Ver Tabla 6).

Se realizó un análisis de correlación con la misma variable SOCPSMMT y todas las variables independientes (sexo, edad, TEDZ\_OMS y HB) y (sexo, edad, PEDZ\_OMS y HB), sin embargo, no se encontraron correlaciones significativas con alguna de las variables.

**6.2.2.3. Memoria de Trabajo Visoespacial**

La memoria de trabajo visoespacial se midió con la prueba Spatial Span (SSP) y la variable que se analizó fue la que registró la secuencia más larga de cuadros recordada (SSPFSL) con ésta se compararon los grupos GE y GC. El resultado fue que, sí hubo diferencias significativas (p .024) en la secuencia de figuras recordadas, la secuencia más larga fue de 5 figuras recordada fue en los niños controles, los niños con desnutrición recordaron hasta una secuencia de 4 figuras. La secuencia más larga posible era de 9 figuras (ver Tabla 6 y Figura 23).

**Tabla 6**

*Comparación de las medianas de las **funciones ejecutivas** en las pruebas SOC, SSP y SWM, entre niños con desnutrición crónica (GE) y controles (GC) de la Zona Mazahua, Estado de México.*

Variable	GC (n= 16)	GE (n=33)	U de Mann- Whitney	Sig. Exacta (unilateral)	Min	Max	r <sup>e</sup>
	Me	Me					
SOCPSMMT <sup>a</sup>	7	7	248.0	.366	0	12	.050
SSPFSL <sup>b</sup>	5	4	174.0	<b>.024</b>	2	9	.283
SWMTE <sup>c</sup> (errores)	18.5	22	191.0	.061	0	157	.223
SWMS <sup>d</sup>	9	10	210.5	.126	2	14	.165

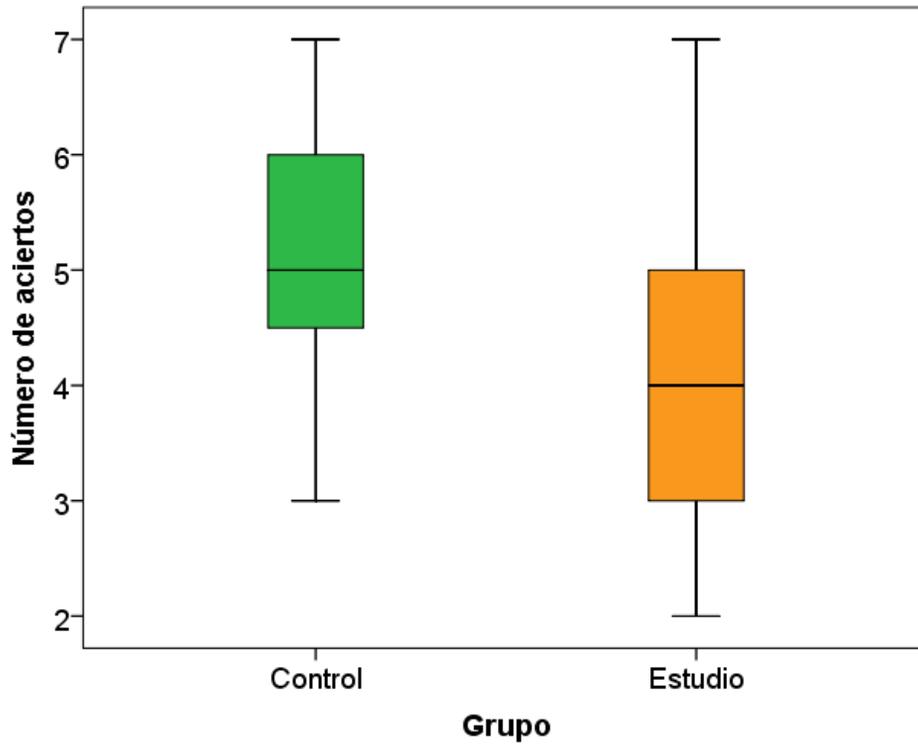
*Nota.* Me=Mediana. <sup>a</sup>SOCPSMMT=Número de problemas completados con el mínimo de movimientos.

<sup>b</sup>SSPFSL=La secuencia más larga de recuadros recordada con éxito por el sujeto. <sup>c</sup>SWMTE= Número de errores ajustado a todos los posibles errores. <sup>d</sup>SWMS= Uso de estrategia un puntaje bajo es mejor. <sup>e</sup>r=

Tamaño del efecto.

**Figura 23**

*Comparación de la prueba SSPFSL de la batería CANTAB entre niños con (Grupo Estudio) y sin antecedentes de desnutrición (Grupo Control) de la Zona Mazahua del Estado de México.*



*Nota.* Grupo Control sin desnutrición; Grupo de Estudio con antecedentes de desnutrición.

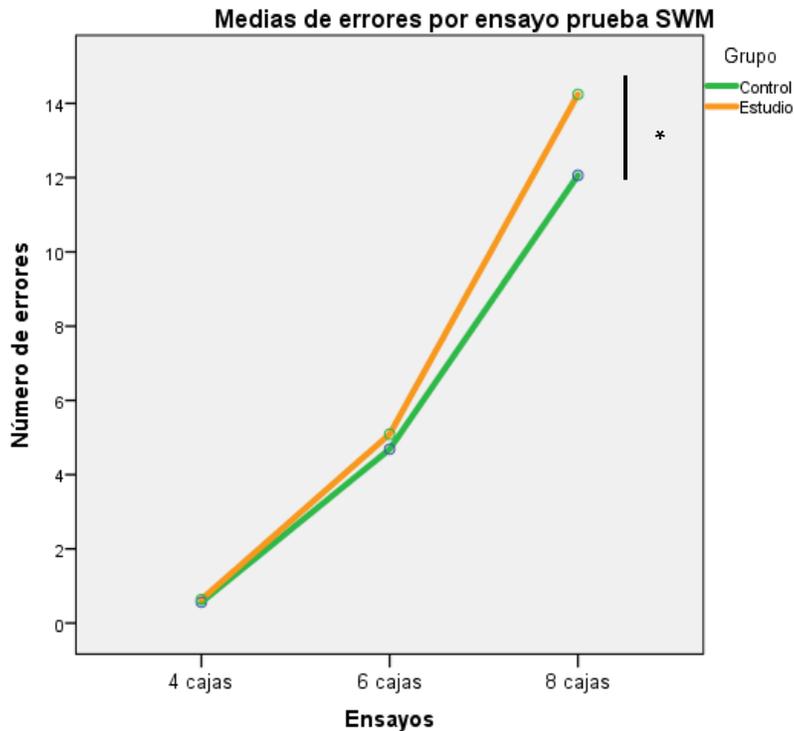
\* $p < .05$

En la prueba de memoria de trabajo espacial Spatial Working Memory (SWM) no se encontraron diferencias ni en el número total de errores ajustado, ni en el uso de estrategia para resolver los problemas (Tabla 6). Al aplicar un ANOVA de medidas repetidas con grupos independientes de 2 (GC y GE) x 3 (tres condiciones de ejecución: 4, 6 y 8 cuadros), el supuesto de esfericidad no se cumplió con la prueba de Mauchly por lo que se tomó la corrección de Huynh-Fieldt. No se encontró una interacción estadísticamente significativa ( $p > .05$ ) entre los antecedentes del estado de nutrición y las funciones ejecutivas basadas en esta prueba. En los efectos principales de cada una de las variables, sí se encontraron diferencias significativas intrasujetos, es decir, dentro de cada grupo, en el número de errores y en las tres condiciones de la prueba, con un valor de  $F(2, 94) = 131.3$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2 = .73$ . El mejor puntaje con menos errores lo obtuvieron ambos grupos en la etapa de 4 cuadros (GC media = .56, DE = .252; GE media = .64, DE = .175) y la puntuación con más errores en ambos grupos fue en la etapa más compleja de 8 cuadros (GC media = 12.06, DE = 1.5; GE media = 14.24, DE = 1.05) y en esta última etapa de 8 cuadros sí se encontraron diferencias significativas ( $p < .05$ ) entre los grupos donde el GE obtuvo el mayor número de errores (Figura 24).

No se llevaron a cabo análisis de regresión porque no se encontraron correlaciones entre las variables: SWMTE, SWMS, TEDZ\_OMS, PEDZ\_OMS y volumen de la materia blanca del encéfalo.

**Figura 24**

Comparación de los errores por ensayo en la prueba SWM de la batería CANTAB entre niños con (Grupo Estudio) y sin (Grupo Control) antecedentes de desnutrición, de la Zona Mazahua del Estado de México.



*Nota.* 4 cajas= Ensayo con 4 cuadros para buscar y colocar. 6 cajas= Ensayo de 6 cuadros para buscar y colocar. 8 cajas= Ensayo con 8 cuadros para buscar y colocar.

\* $p < .05$

En las tareas de funciones ejecutivas con la SNB-MX, sí se encontraron diferencias significativas en la memoria de trabajo con números y letras, donde los niños del GC tuvieron un mejor desempeño, es decir, recordaron mejor las secuencias de los números y las letras en el orden adecuado que los niños del GE (Tabla 7 y Figura 25).

Se aplicó un ANOVA de medidas repetidas y grupos independientes de 2 (GC y GE) x 3 (tres condiciones de la prueba de control inhibitorio) para saber si había una interacción entre los

antecedentes nutricionales y dicha prueba, no se encontró tal interacción y tampoco hubo efectos principales en cada una de las variables.

**Tabla 7**

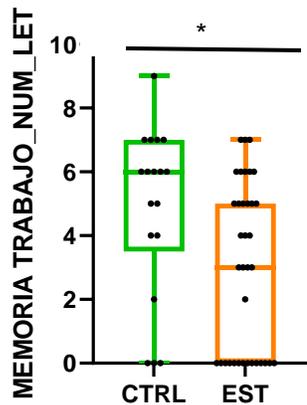
*Comparación de medianas de las subpruebas de Funciones Ejecutivas entre el Grupo Control y el Grupo de Estudio (niños con antecedentes de desnutrición) de la Zona Mazahua del Estado de México.*

FUNCIONES EJECUTIVAS	Grupo Control n = 18 M (DS) Me	Grupo Estudio n= 36 M (DS) Me	Intervalo	U de Mann Whitney	p	Tamaño del efecto
Control Inhibitorio 1	9.2(1.39)10.0	8.7 (2.3) 10.0	1 – 10	321.0	.948	0.49
Control Inhibitorio 2	9.4 (1.1) 10.0	9.2 (2.1) 10.0	1 – 10	320.0	.917	0.49
Control Inhibitorio 3	9.2(1.1) 10.0	8.6 (2.7) 10.0	1 – 10	306.0	.698	0.47
MT DIRECTO <sup>a</sup>	7.1 (1.8) 7.0	6.3 (1.9) 6.0	1 – 12	245.0	.140	0.38
MT INVERSO <sup>b</sup>	4.4 (2.1) 4.0	3.3 (1.8) 4.0	1 – 8	231.0	.081	0.36
MT <sup>c</sup> con números y letras	5.1 (2.5) 6.0	3.3 (2.6) 4.0	1 – 9	162.0	.019	0.30
M <sup>d</sup> Visoespacial (e)	7.2 (2.0) 7.0	6.8 (2.4) 7.0	1 – 12	273.0	.344	0.42
M <sup>e</sup> Visoespacial (a)	6.1 ( 1.8) 6.0	5.4 (2.2) 5.0	1 – 12	259.5	.229	0.40

*Nota.* <sup>a</sup> Memoria de Trabajo secuencia de números directa. <sup>b</sup> Memoria de Trabajo secuencia de números a la inversa. <sup>c</sup> Memoria de Trabajo secuencia de números y letras. <sup>d</sup> Memoria de Trabajo con Xilófono (errores). <sup>e</sup> Memoria de Trabajo con Xilófono (aciertos).

**Figura 25**

Comparación de puntajes de la prueba de memoria de trabajo con números y letras entre niños con y sin antecedentes de desnutrición de la Zona Mazahua del Estado de México, marzo, 2020.



Nota. MEMORIA TRABAJO\_NUMLET= Memoria de trabajo con números y letras. CTRL= Grupo Control, EST= Grupo de Estudio (con antecedentes de desnutrición),

\*p < .05

**6.2.3. Atención**

La atención fue evaluada a través de las pruebas de atención selectiva:

- Rapid Visual Information Processing (RVP) de la batería CANTAB
- Secuencia de Caminos con figuras y colores

Para evaluar atención para la comprensión de instrucciones

- Prueba *Motor Screening Task* (MOT) de la batería CANTAB

Atención auditiva:

- Prueba de escucha dicótica

### 6.2.3.1. Atención selectiva

En la prueba RVP no encontraron diferencias significativas en el número de aciertos y tampoco en el número de errores, cabe señalar que, en ambos grupos hubo más aciertos que errores. En la prueba de Secuencia de Caminos

En la comprensión de instrucciones tampoco hubo diferencias entre el GC y el GE, ambos comprendieron las instrucciones de la prueba de precisión motora y visual y no tuvieron errores en ninguna de las secuencias (Tabla 8).

**Tabla 8**

*Comparación entre niños con desnutrición crónica (Estudio) y controles en **atención y comprensión de instrucciones** las medianas de las pruebas (RVP) y Motor screening (MOT) respectivamente de la batería CANTAB, Zona Mazahua, Estado de México.*

Variable	CONTROL	ESTUDIO	U <sup>a</sup>	Sig. Exacta (unilateral)	Min	Max
	(n= 16)	(n=33)				
RVPTH <sup>b</sup>	42.0	38.0	202.0	.094	0	54
RVPTM <sup>c</sup>	12.0	16.0	202.0	.094	0	54
SC_T(seg) <sup>d</sup>	138.0	132.5	298.0	.879	0	----
SC_Errores <sup>e</sup>	1.5	2.0	212.5	.065	0	12
MOTTC <sup>f</sup>	10.0	10.0	248.0	.449	0	10
MOTTE <sup>g</sup>	0	0	248.0	.449	0	10

*Nota.* <sup>a</sup> U de Mann-Whitney <sup>b</sup> El número total de secuencias objetivo a las que se respondió correctamente (aciertos correctos) dentro del tiempo permitido durante los bloques de secuencia de evaluación. <sup>c</sup> El número total de secuencias objetivo a las que no se respondió dentro del tiempo permitido durante los bloques de secuencia de evaluación. <sup>d</sup> Secuencia de Caminos Tiempo en segundos. <sup>e</sup> Secuencia de Caminos errores. <sup>f</sup> El número total de respuestas correctas que hizo un sujeto en todos los ensayos evaluados. <sup>g</sup> El número total de respuestas incorrectas (errores) que hizo un sujeto en todos los ensayos evaluados

### 6.2.3.2. Atención a través de Escucha Dicótica

En la subprueba de atención con las tareas de escucha dicótica no se encontraron diferencias significativas (Tabla 9), solamente en respuestas anuladas (Figura 26), esto significa que los niños del GE combinaron sílabas o palabras de ambos oídos, que no debían combinar, y mencionaron palabras inexistentes con mayor frecuencia que el GC.

**Tabla 9**

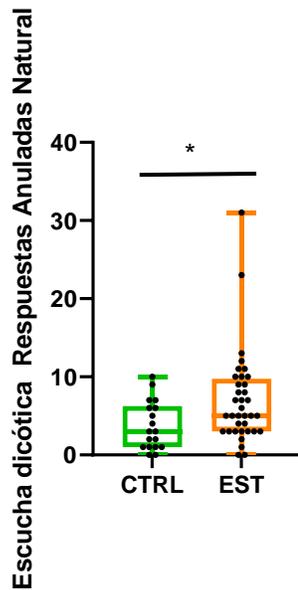
*Comparación de medianas de aciertos y errores de las subpruebas de Atención (escucha dicótica) entre el grupo control y el de estudio. Zona Mazahua del Estado de México.*

Atención	Control n = 18 M (DS) Me	Estudio n= 36 M (DS) Me	Interval	U <sup>h</sup>	p	T.E. <sup>i</sup>
ES_OI_NAT_A <sup>a</sup>	19.4 (10.8) 18.0	22.8 (12.3) 19.5	1 – 61	75.0	.368	0.42
ES_OI_PORC_A <sup>b</sup>	31.8 (17.7) 29.5	37.3 (20.2) 32.0	1 – 100	73.5	.354	0.42
ES_OD_NAT_A <sup>c</sup>	37.3 (11.9) 40.5	31.0 (13.7) 35.0	1 – 61	31.0	.114	0.37
ES_OD_%_A <sup>d</sup>	61.2 (19.5) 66.4	50.1 (22.6) 54.9	1 – 100	31.5	.089	0.36
ES_RA_NAT_E <sup>e</sup>	3.8 (3.1) 3.0	7.1 ( 6.0) 5.0	1 – 61	98.5	.021	0.31
ES_RA_%_E <sup>f</sup>	5.6 (5.1) 4.1	11.6 (9.9) 8.2	1 – 100	79.5	.008	0.28
EXTINCIONES <sup>g</sup>	0.2 (0.43) 0.0	0.4 (1.0) 0.0	0 – 61	14.0	.786	0.48

*Nota.* <sup>a</sup>Escucha dicótica Oído Izquierdo Natural (aciertos). <sup>b</sup>Escucha dicótica Oído Izquierdo Porcentaje (aciertos). <sup>c</sup>Escucha dicótica Oído Derecho Natural (aciertos). <sup>d</sup>Escucha dicótica Oído Derecho Porcentaje (aciertos). <sup>e</sup> Escucha dicótica Respuestas Anuladas Natural (errores). <sup>f</sup>Escucha dicótica Respuestas Anuladas Porcentaje (errores). <sup>h</sup>U de Mann Whitney. <sup>i</sup>Tamaño del Efecto.

**Figura 26**

*Comparación en lateralidad auditiva entre niños con y sin antecedentes de desnutrición. Zona Mazahua del Estado de México.*



*Nota.* Aciertos en CTRL= Grupo Control y, en EST= Grupo de Estudio (con antecedentes de desnutrición).

\* $p < .05$

#### **6.2.4. Signos Neurológicos Blandos**

##### **6.2.4.1. Lateralidad**

En las subpruebas de lateralidad podálica, auditiva y manual no se encontraron diferencias significativas entre los dos grupos de comparación (Tabla 10). Se observa que los niños en general tuvieron puntajes por debajo de lo esperado en cada prueba, sobre todo en la distinción de su izquierda y su derecha, por lo que se presentaron movimientos en espejo con respecto al evaluador y a una imagen de referencia. Sólo en la subprueba de dominancia ocular se encontraron diferencias estadísticamente significativas (Figura 27), donde los niños que padecieron desnutrición (GE) tuvieron una dominancia del ojo derecho más definida que los niños del grupo control (GC).

**Tabla 10**

*Comparación de medianas de las subpruebas de Lateralidad entre el Grupo de Estudio y el Grupo Control. Zona Mazahua del Estado de México.*

Lateralidad	Grupo Control n = 18		Grupo Estudio n= 36		Intervalo	U	p	T. E
	M (DE)	Me	M (DE)	Me				
Dominancia lateral								
Ocular	3.2 (1.4)	3	4(1.3)	5	1 – 5	214.5	.035	0.3
Podálica	4.1 (0.8)	4	4.1 (0.8)	4	1 – 5	313.0	.827	0.48
Auditiva	3.2 (1.5)	3.5	3.6 (1.1)	3	1 – 5	287.0	.483	0.44
Manual	4.9 (0.5)	5	4.7 (1.0)	5	1 – 5	289.0	.271	0.44
Dist_Der_Izq	13.8 (5.1)	15.5	13.4 (4.7)	13.5	1 – 20	301.5	.679	0.46
Dist_Evaluador	8 (4.7)	8.5	9.5 (4.8)	10.25	1 – 16	261.0	.247	0.40
Dist_Órdenes	7.1 (1.2)	7.5	6.6 (2.1)	7.75	1 – 8	323.0	.985	0.50
Dist_Figuras	6.5 (5.4)	5.5	5.7 (5.4)	4.5	1 – 16	289.5	.525	0.45
Orient. Der-Izq								
Con Objetos	9.4 (4.3)	11.0	9.9 (4.2)	11.0	1 – 14	305.0	.722	0.47
Con Dibujos	3.1 (1.5)	4	2.5(1.6)	3.0	1 – 6	233.0	.197	0.36

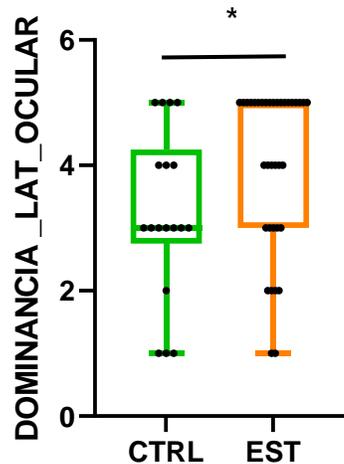
*Nota. M= Media; DE= Desviación Estándar; Me= Mediana; T.E.= Tamaño del Efecto, Dist\_Der\_Izq=*

*Distinción derecha izquierda; Dist\_Evaluador = Distinción derecha izquierda en el evaluador;*

*Dist\_Órdenes= Distinción derecha izquierda con órdenes; Dist\_Figuras= Distinción derecha-izquierda en ilustraciones.*

**Figura 27**

Comparación de aciertos en lateralidad ocular entre niños con y sin antecedentes de desnutrición. Zona Mazahua del Estado de México.



Nota. DOMINANCIA\_LAT\_OCULAR= Dominancia lateral ocular, CTRL= Grupo Control. EST= Grupo de Estudio (con antecedentes de desnutrición). \*  $p < .05$

#### 6.2.4.2. Psicomotricidad

En psicomotricidad, específicamente en las pruebas de ejecución motora, que incluía tareas de “tapping”, diadococinesia, pronación-supinación de manos, ejercicios de puño-canto-palma, juego del “avión”, juego del “Marinero que se fue...” y marcha equilibrada no hubo diferencias estadísticamente significativas; tampoco en grafestesia ni en extinción de movimientos. Se encontró que los puntajes promedio de ambos grupos están por arriba del promedio esperado en cada prueba, sobre todo en la tarea de secuencia rítmica con ojos cerrados. Lo que significa que en general esta muestra de niños mazahuas no tiene dificultades para llevar una secuencia rítmica y coordinada en tareas motoras con manos y pies independientemente de los antecedentes del estado de nutrición (Tabla 11).

Se aplicó un ANOVA de medidas repetidas y grupos independientes de 2 (GC y GE) x 2 (dos condiciones de secuencia rítmica: ojos abiertos y ojos cerrados) para saber si había interacción entre los antecedentes nutricionales y una prueba de psicomotricidad de secuencia rítmica. No se encontró dicha interacción significativa, sin embargo, si se encontró un efecto principal en cada una de las condiciones. En los efectos principales sí hubo diferencias significativas entre los grupos ( $F(1,1) = 7.24$ ,  $p = .009$ ,  $\eta^2 = .094$ ). En el factor de secuencia rítmica, en la condición de ojos cerrados el GC obtuvo mejor calificación ( $M = 2.6$ ,  $DE = .265$ ) que el GE ( $M = 1.6$ ,  $DE = .244$ ). Y al interior del Grupo de Estudio también hubo diferencias significativas entre cada condición, obtuvieron una mejor calificación en la condición de ojos abiertos ( $2.46$ ,  $DE = .223$ ) que en la de ojos cerrados ( $M = 1.67$ ,  $DE = .224$ ) (Figura 28).

**Tabla 11**

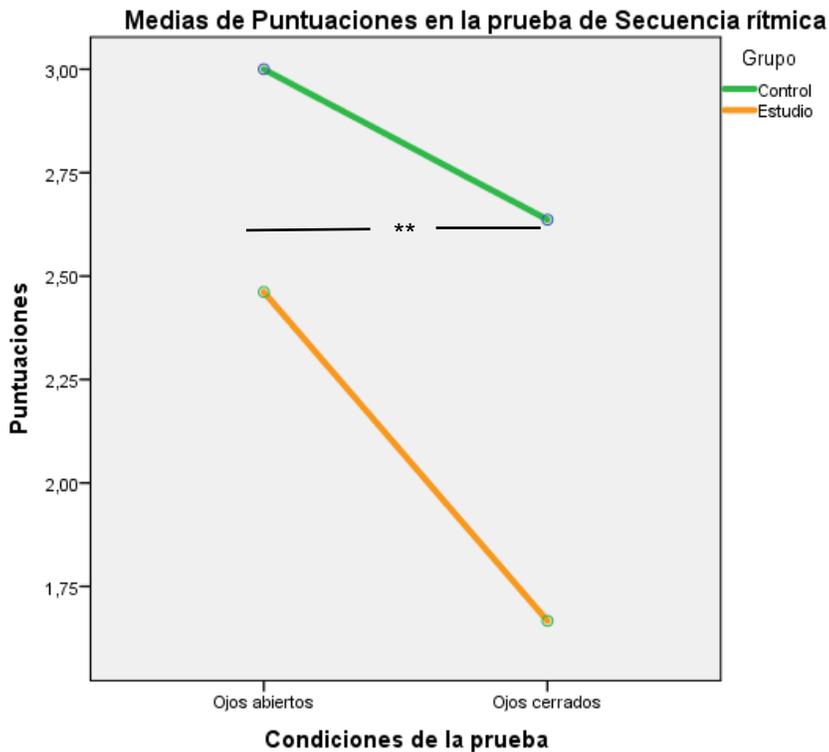
*Comparación de las pruebas de psicomotricidad entre el grupo de niños con y sin antecedentes de desnutrición. Zona Mazahua del Estado de México.*

	Grupo Control n = 18	Grupo Estudio n= 36				
Psicomotricidad	M (DS) Me	M (DS) Me	Intervalo	U	p	
Ejecución Motora	19.1 (2.6) 20.0	18.1(4.2) 19.0	1 – 24	295.0	.593	
Esterognosia	10.6 (2.0) 11.0	10.2(2.0) 11.0	1 – 12	263.0	.246	
Gnosia Manual	9.4 (2.1) 10.0	9.4 (2.3) 10.0	1 – 12	311.0	.939	
Secuencia Rítmica						
Ojos abiertos	2.9 (1.4) 3.0	2.6 (1.6) 3.0	0 – 5	289.5	.517	
Ojos cerrados	2.6 (0.26) 2.0	1.6 (.24) 2.0	0 – 5	288.5	.504	
Grafestesia	15.0 (5.6) 16.5	13.7 (6.6) 15.0	1 – 24	293.0	.568	
Extinción de movimientos	11.1 (1.1) 11.5	10.9 (1.4) 12.0	1 – 12	317.0	.888	

*Nota.* **M**= Media; **DE**= Desviación Estándar; **Me**= Mediana; **U**.= U de Mann Whitney

**Figura 28**

Comparación de medianas de subpruebas de Psicomotricidad entre el Grupo Control y el Grupo de Estudio (niños con desnutrición). Zona Mazahua del Estado de México.



Nota. ANOVA secuencia rítmica. \*\*p < .01

**6.2.4.3. Lenguaje**

La evaluación del lenguaje fue a través de subpruebas que consideran aspectos: fonológicos, morfológicos, sintácticos, fluidez verbal, razonamiento lógico-verbal (absurdos verbales) y sintaxis; sólo se encontraron diferencias estadísticamente significativas en la subescala de absurdos verbales, donde el grupo control (GC) obtuvo una puntuación promedio más alta que el grupo de estudio (GE) lo que indica que los niños con desnutrición identificaron menos incoherencias en las frases absurdas que se les mencionaron. (Tabla 12 y Figura 29).

**Tabla 12**

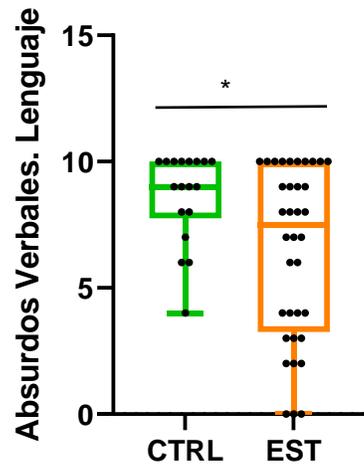
*Comparación de las medianas de aciertos en las subpruebas de Lenguaje entre el Grupo Control (niños con nutrición normal) y el Grupo de Estudio (niños con desnutrición).*

	Grupo Control n = 18	Grupo Estudio n= 36					
	M (DE) Me	M (DE) Me	Intervalo	U	p	T.E.	
Fonología_total	56.7(1.8) 7	54.2 ( 5.6) 57	1 – 58	233.5	.087	0.36	
Morfología_total	0.8 ( 0.7) 1.0	0.9 ( 0.7) 1.0	0 – 2	312.0	.812	0.48	
Síntaxis_total	5.3 ( 1.9) 5.0	4.8 ( 2.0) 5.0	0 – 8	270.5	.320	0.42	
Absurdos_verbales	8.6 ( 1.7) 9.0	6.4 ( 3.4) 7.5	0 – 10	208.5	.030	0.32	
Fluidez_verbal	58.3 (35.2) 43.0	42.6(20.4) 9.0	1 - ¿?	250.5	.177	0.39	
Descripción de lamina	37.3 (19.2) 33.5	36.3(19.4) 3.0	1 – ¿?	316.5	.891	0.49	

*Nota.* **M**= Media; **DE**= Desviación Estándar; **Me**= Mediana; **U**.= U de Mann Whitney; **T.E.**= Tamaño del Efecto

**Figura 29**

Comparación entre niños sin (CTRL) y con antecedentes de desnutrición (EST) de los aciertos obtenidos en la prueba de lenguaje de Absurdos Verbales de la batería SNB-MX. Zona Mazahua del Estado de México.



Nota. ANOVA; CTRL= Grupo Control (niños sin desnutrición), EST= Grupo de Estudio (niños con antecedentes de desnutrición); \* $p < .05$

#### 6.2.4.4. Visopercepción

Este aspecto neuropsicológico fue evaluado con subpruebas que incluyeron tareas de copia de figuras, movimientos sacádicos, rastreo visual y síntesis visual.

Los resultados mostraron que los niños del grupo control tuvieron un mejor desempeño en las tareas de copia de figuras ( $p=.005$ ) y síntesis visual ( $p=.015$ ) donde tenían que integrar en una sola figura las dos o tres partes que se mostraron en cada lámina (Tabla 13 y Figura 30).

**Tabla 13**

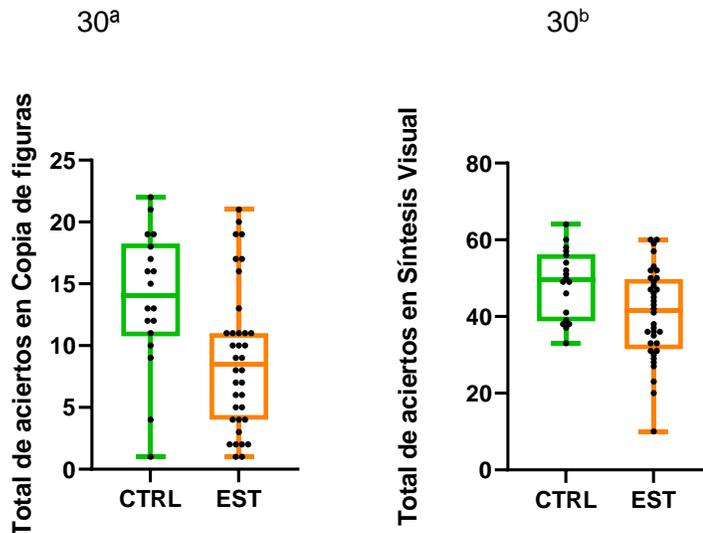
*Comparación de medianas de aciertos en las pruebas de Visopercepción entre el grupo Control (niños con nutrición normal) y el grupo de Estudio (niños con antecedentes de desnutrición).*

Visopercepción	Control n=18		Estudio n=36		Intervalo	U	P	T. E.
	M (DS)	Me	M (DS)	Me				
Copia de Figuras	13.8 (5.6)	14.0	8.9 ( 5.8)	8.5	1 – 24	171.0	<b>.005</b>	0.26
Movimientos Sacádicos	4.4 ( 1.3)	4.0	4.4 ( 1.5)	5.0	0 – 6	312.0	.821	0.48
Rastreo Visual (líneas)	39.6 ( 0.6)	40	39.5 ( 0.8)	40.0	1 – 40	290.5	.871	0.49
Síntesis Visual	48.4 ( 9.0)	49.5	40.5 (11.8)	41.5	1 – 66	192.0	<b>.015</b>	0.30

*Nota.* **M**= Media; **DE**= Desviación Estándar; **Me**= Mediana; U.= U de Mann Whitney; T.E.= Tamaño del Efecto

**Figura 30**

Comparaciones de las pruebas de Visopercepción en copia de figuras (30<sup>a</sup>) y síntesis visual (30<sup>b</sup>) entre niños con y sin antecedentes de desnutrición. Zona Mazahua del Estado de México.



Nota. CTRL= Grupo Control (sin antecedentes de desnutrición), EST= Grupo de Estudio (con antecedentes de desnutrición); \*p < .05

También se calcularon correlaciones parciales ajustadas por la variable edad entre el indicador TEDNUZDZ\_OMS y las subpruebas de los dominios evaluados en la SNB-MEX. Se encontró que a mayor desnutrición, mayor distinción de la derecha y la izquierda ( $r=.395$ ,  $p=.019$ ); a mayor desnutrición, mayor atención en el oído derecho en escucha dicótica ( $r=.359$ ,  $p=.037$ ); a mayor desnutrición, más errores en la subprueba de secuencia de caminos del dominio de Funciones Ejecutivas ( $r=.340$ ,  $p=.046$ ); a mayor desnutrición más aciertos en la subprueba de memoria de trabajo de series de números en orden inverso ( $r=.369$ ,  $p=.044$ ); a mayor desnutrición mayor tiempo en completar la tarea de rastreo visual ( $r=.456$ ,  $p=.043$ ).

### **6.2.5. Imagenología Cerebral y Volumetría por Resonancia Magnética (RMV)**

Se realizaron 36 estudios de imagen por Resonancia Magnética: 12 para el grupo Control y 24 para el grupo de Estudio. A partir de estas imágenes se realizaron análisis de volumetría a través del programa VolBrain (RMVB) para la comparación del volumen de la materia blanca en las estructuras cerebrales de ambos grupos. El cálculo del volumen se llevó a cabo comparando el volumen de la estructura específica sobre el volumen intracraneal total (Pérez Ahumada, 2022).

Los datos fueron sometidos a un análisis de varianza bivariado de dos grupos independientes en relación a los promedios de materia blanca tanto del volumen crudo (en  $\text{cm}^3$ ) como del volumen normalizado (en %). En este análisis se encontraron diferencias significativas ( $p \leq .05$ ). En el Grupo Control se observó un volumen mayor, tanto crudo como normalizado, en materia blanca, en el área cerebral ( $p=.015$  y  $p=.045$  respectivamente), en el área cerebelar ( $p=.002$  y  $p=.042$  respectivamente) y en el área total ( $p=.011$  y  $p=.023$  respectivamente). Por ejemplo, en esta última se encontró una diferencia de  $38.319 \text{ cm}^3$  ( $p=.011$ ) entre los dos grupos (Tabla 14).

Se utilizó un Análisis de Varianza de dos vías para calcular el efecto de covariables como grado de desnutrición, género y edad sobre las diferencias entre los grupos Control y Estudio. En el volumen normalizado (%) del total de la materia blanca las diferencias sólo se debieron a la interacción con la variable edad ( $p=.034$ ) en las otras variables no hubo interacción significativa (Tabla 14).

**Tabla 14**

*Comparaciones del volumen de estructuras cerebrales con respecto al volumen total entre el grupo Control y el grupo de Estudio. Zona Mazahua del Estado de México.*

		Volumen					Análisis <sup>a</sup>		Análisis <sup>b</sup>					
		Gpo Control n = 12			Gpo Estudio n = 24		Diferencias De medias		Efecto del grado de desnutrición		Efecto del género		Efecto de la edad	
Materia Blanca	M	$\bar{x}$	E	$\bar{x}$	E	÷ gpos	p*	P	EI <sup>c</sup>	p	EI <sup>c</sup>	p**	EI <sup>c</sup>	
Cerebral	cm <sup>3</sup>	419.5	41.9	384.1	37.5	35.4	.015	.930	.763	.162	.375	.412	.527	
	%	31.6	1.33	30.7	1.13	0.9	.045	.994	.378	.785	.448	.057	.563	
Cerebelar	cm <sup>3</sup>	27.31	2.16	24.4	2.63	2.9	.002	.413	.400	.101	.603	.554	.965	
	%	2.06	0.16	1.95	0.14	0.1	.042	.376	.851	.914	.165	.211	.854	
Total	cm <sup>3</sup>	446.9	2.75	408.5	39.32	38.3	.011	.917	.734	.148	.410	.426	.531	
	%	33.6	1.27	32.66	1.14	1.0	.023	1.000	.383	.792	.550	<b>.034</b>	.573	

*Nota.* <sup>a</sup> Análisis de diferencias entre dos grupos independientes t o u de Mann Whitney; <sup>b</sup> ANOVA de dos vías F(1,34); <sup>c</sup> Efecto de la Interacción; \*Significancia debida a las diferencias entre los dos grupos; \*\*Significancia debida al efecto de las variables en el análisis de ANOVA; el % del volumen es con respecto al volumen intracraneal total que es la suma de volumen total de materia blanca, más volumen total de materia gris sobre volumen total de líquido cefalorraquídeo de acuerdo con la resonancia magnética. Las diferencias fueron calculadas con respecto al grupo Control. Referencia de la Tabla 14 (Pérez Ahumada, 2022).

## Capítulo 7. Discusión

El estudio de Tezonteopan (Chávez & Martínez, 1980) demostró que el primer impacto de una alimentación deficiente se da *in útero*. La subalimentación de la mujer embarazada se refleja en el bajo peso del niño al nacer. Mientras que los niños de madres con las mismas características socioeconómicas, pero suplementadas durante el embarazo, nacen con peso adecuado y aún mayor. En consecuencia, se demostró la importancia de la alimentación en el desarrollo de los niños de zonas rurales con alta marginación quienes posteriormente se convierten en jóvenes y adultos activos en su núcleo social, con capacidades y limitaciones que se manifestarán en su trato y en su desempeño familiar, escolar y laboral.

El objetivo del presente trabajo fue conocer el efecto de la desnutrición a temprana edad en las funciones neuropsicológicas y en la integridad cerebral de niños escolares, indígenas, mazahuas del Estado de México. Se estudió a niños de 6 a 10 años, que habitaban en localidades con alto grado de marginación, y que contaban con antecedentes de desnutrición cuando fueron menores de 5 años de edad. Las funciones neuropsicológicas fueron evaluadas a través de baterías neuropsicológicas especializadas y detalladas. Además, se realizaron estudios de resonancia magnética funcional en el Instituto de Neurobiología de la UNAM campus Juriquilla, Querétaro.

Los resultados de este estudio mostraron que los niños que padecieron desnutrición crónica (DC) a temprana edad presentaron puntajes significativamente más bajos que los niños del grupo control (GC), en algunas pruebas neuropsicológicas. Estos hallazgos guardan relación con el estudio multicéntrico que marcó los criterios internacionales sobre crecimiento y desarrollo en el que concluyeron que más de 200 millones de niños no desarrollarían su potencial cognoscitivo debido a factores como: desnutrición, pobreza y marginación (Grantham-McGregor et al., 2007); características que son afines a la población con la que se trabajó en este estudio.

Así mismo, los resultados de esta tesis mostraron afectaciones en el volumen de materia blanca cerebral en los niños con desnutrición crónica.

Para determinar si el niño padeció desnutrición durante los primeros años de vida se utilizó el indicador de DC Talla para la Edad categorizado (TEDNUT) y en puntajes Z (TEDZ\_OMS) de acuerdo con la población de referencia de la OMS, el rezago por DC en edades tempranas perdura a lo largo de la vida por lo que ha sido ampliamente utilizado en numerosos estudios (Chávez et al., 1995; Galler et al., 1984; Grantham-McGregor et al., 2000; Kar et al., 2008).

Las zonas rurales, tanto en México (Chávez et al., 1995) como en otros países (Upadhyay et al., 1989) suelen presentar las mayores prevalencias de niños con desnutrición, especialmente aquellas donde habitan grupos indígenas y en las que se encuentra mayor grado de marginación (Consejo Nacional de Población, 2015, 2020). La Zona Mazahua, en la que se llevó a cabo este estudio, reúne estas características (Ávila-Curiel et al., 2016).

### **7.1. Desnutrición y Memoria**

En este estudio se planteó como primera hipótesis que los niños con antecedentes de desnutrición de alto riesgo (moderada y grave) en los primeros años de vida obtendrían puntajes más bajos que el grupo control en las pruebas de memoria; esto no se cumplió en su totalidad.

Para evaluar memoria se utilizaron pruebas de la Batería CANTAB:

- DMS que midió memoria de coincidencia perceptiva simultánea, inmediata y diferida;
- PRM, memoria de reconocimiento visual a corto y largo plazo.
- PAL, memoria episódica y

Los resultados mostraron que la memoria de coincidencia perceptiva se mantuvo igual tanto en el grupo con antecedentes de desnutrición (GE) como en el grupo sin antecedentes (GC). Los puntajes en ambos grupos estuvieron por arriba de la media esperada. Por lo que

todos los niños, en esta prueba, no tuvieron problemas en reconocer la igualdad entre una de las figuras presentadas de forma simultánea con el patrón que debían reconocer.

En la prueba de memoria de reconocimiento visual (PRM) del CANTAB sí se encontraron diferencias significativas en memoria a corto plazo: donde los niños del Grupo de Estudio (GE) tuvieron puntajes significativamente más bajos ( $p=.003$ ) que los niños del GC. Agarwal et al. (1995), Kar et al. (2008) y Lelijveld et al. (2018) encontraron diferencias en pruebas de memoria de reconocimiento visual en las cuales los niños con desnutrición presentaron puntajes más bajos en memoria a corto plazo respecto a los niños controles, estas diferencias las encontraron ajustando los datos por edad. Nosotros también ajustamos por edad, y encontramos que la edad sí explica el incremento en la memoria a largo plazo. Estos resultados son contrarios a lo que encontró Waber, Bryce, Fitzmaurice et al. (2014) porque ellos observaron que los problemas de memoria persistieron en adultos que padecieron desnutrición en el primer año de vida según la prueba de memoria del WAIS. Estos autores concluyen que un episodio de desnutrición en el primer año de vida conlleva el riesgo de un rezago funcional importante a lo largo del tiempo. Aunque nosotros no trabajamos con adultos, sí se evaluó a los niños en la etapa escolar, que fue una etapa posterior al episodio de desnutrición, cuando los problemas cognitivos podrían haber sido más evidentes ya que existe mayor demanda de adaptación al medio ambiente y al proceso educativo; sin embargo, No encontramos diferencias en memoria a largo plazo ( $p >.05$ ), contrario a lo que reportaron Waber et al. (2014), sin embargo, si encontramos que la memoria a largo plazo incrementó con la edad y también con una mayor talla (estatura).

En memoria episódica (prueba PAL), los puntajes del GC y del GE fueron similares ( $p >.05$ ), lo cual es respaldado por el estudio de Nkhoma et al. (2013) quienes tampoco encontraron diferencias entre un grupo de niños con antecedentes de desnutrición y un grupo de niños también con esos antecedentes, pero que recibían nutrición complementaria en la escuela. Los niños de nuestro estudio recibieron una papilla enriquecida en los primeros años de vida cuando

se detectó que padecían desnutrición grave. Cabe señalar que, además encontramos que a mayor volumen de materia blanca mejor memoria episódica.

Todo lo anterior, confirma que la desnutrición está asociada de manera significativa a déficits en la memoria (Bringas Vega et al., 2019) pero no de manera definitiva.

## **7.2. Desnutrición y Funciones Ejecutivas (FE).**

La segunda hipótesis planteó que los niños de 6 a 10 años de edad que presentaron antecedentes de desnutrición de alto riesgo (DC), en los primeros años de vida, obtendrían puntajes más bajos que el grupo control en FE.

Para evaluar las FE, en este trabajo se utilizaron diferentes pruebas de la Batería CANTAB, como:

IED (adquisición de reglas y cambios atencionales),

SOC (planeación de movimientos, organización y uso de estrategia para resolver problemas)

SWM (estrategia y planeación)

SSP (memoria de trabajo visoespacial).

Además de las pruebas de la Escala de Signos Neurológicos Blandos (SNB) que también evalúan FE:

Control Inhibitorio (autorregulación de un comportamiento impulsivo)

Memoria de Trabajo con retención de series sólo con números, y con números y letras.

Los resultados mostraron que sí hubo diferencias en el número total de etapas completadas con éxito (IEDYCOST) en la prueba de adquisición de reglas y atención visual para el cambio de reglas (IED); lo que confirma lo encontrado por diversos autores (Beard, 2008; Waber, Bryce, Girard, et al., 2014) que existen afectaciones en las FE debidas a la desnutrición. Por ejemplo, en el estudio de Lelijveld et al. (2018) ellos también encontraron diferencias entre los niños con antecedentes de desnutrición y los controles en el número de etapas completadas,

en la misma prueba IED; en promedio completaron 5 etapas y 6.5 etapas respectivamente. A diferencia de esta tesis que se completaron hasta 7 etapas en ambos grupos, cabe señalar que el grupo de niños con desnutrición (GE) presentó una mayor dispersión en el número de etapas completadas que el grupo Control (GC) y por eso se produjeron las diferencias, aunque las medianas eran las mismas. Además, Nkhoma et al. (2013) encontró que los niños con antecedentes de desnutrición y que tomaron un suplemento alimenticio tuvieron un número menor de errores en las primeras 7 etapas en comparación con los niños que no tomaron el suplemento. Nosotros no encontramos diferencias en el número ajustado de errores en esas etapas; llama la atención que al llegar a la etapa 8 la cual implica un cambio de reglas extradimensional, los niños con desnutrición crónica cometieron menos errores que los controles.

El análisis de regresión mostró que los errores previos a la etapa extradimensional (IEDEPRE) disminuyen por cada unidad de aumento en los indicadores peso para la edad (PEDZ\_OMS) y talla para la edad (TEDZ\_OMS). Estos hallazgos obligan a profundizar en la relación de la desnutrición con el desarrollo cognitivo.

En planeación de movimientos espaciales para la resolución de problemas (SOC), y uso de estrategia para la memoria de trabajo espacial (SWM), se encontró que no existen diferencias significativas entre los dos grupos comparados. Sin embargo, sí se encontraron diferencias significativas al interior de cada grupo; a mayor grado de dificultad obtuvieron más errores en estas pruebas tanto el GE como el GC. Paredes y Yenny (2013) tampoco encontraron diferencias entre los niños del grupo Control y del grupo de Estudio con desnutrición, fueron iguales en las pruebas de habilidades viso-espaciales, memoria visual, destrezas de planeación, organización, estrategias de resolución de problemas en funciones perceptuales, motoras y de memoria. Es probable, en el caso de los niños mazahuas, que debido a las actividades cotidianas que realizan todos los niños en el campo les ayude a desarrollar habilidades similares para la adaptación a su medio ambiente, lo que explicaría que no se encontraron diferencias significativas entre un grupo y otro.

En la memoria de trabajo visoespacial (SSP), el grupo de niños con desnutrición crónica obtuvo el puntaje más bajo de figuras recordadas en una secuencia en comparación con el grupo control. No obstante, se ha visto que cuando los niños se recuperan de un episodio de desnutrición con la administración de un suplemento alimenticio durante 23 semanas se favorece el puntaje de este tipo de memoria Roberts et al. (2020) lo confirma.

Con las subpruebas de FE de la prueba SNB-MX, solamente se encontraron diferencias significativas entre los dos grupos en la subprueba de memoria de trabajo con series de números y letras, los niños del grupo de estudio recordaron una cantidad menor de números y letras que los niños controles. Esto parece ser persistente en la adolescencia y aún en la etapa adulta; Waber, Bryce, Girard et al. (2014) encontraron en adultos que padecieron desnutrición moderada y grave en la infancia, puntajes más bajos que en el grupo control, en esa misma subprueba de números y letras del WAIS. Ellos también encontraron diferencias en Cartas de Wisconsin. Así mismo se ha encontrado que a mayor desnutrición mayor déficits en pruebas de memoria de trabajo (Laus et al., 2011; Waber, Bryce, Fitzmaurice, et al., 2014). El suplemento alimentario desde el embarazo también genera resultados favorables en las pruebas de FE, por ejemplo, en niños de 7 a 9 años, en aldeas pobres de Nepal cuyas madres fueron suplementadas con hierro y ácido fólico durante el embarazo, obtuvieron puntajes altos en la prueba de repetición de dígitos en sentido inverso, fallaron menos en la prueba de Stroop (muy similar a lo que medimos en control inhibitorio), pero obtuvieron puntuaciones bajas en la prueba de habilidades motoras (MABC), respecto al grupo control (Christian et al., 2010). De manera contraria Paredes y Yenny (2013) observaron puntuaciones altas en la prueba de retención de dígitos en niños con desnutrición. La mayoría de los estudios si concluyen que la desnutrición afecta la memoria de trabajo, sin embargo, aquí en esta tesis, no se afectó en pruebas como control inhibitorio, en adquisición de reglas, en uso de estrategia y planeación para resolver problemas. Habría que seguir el estudio en estos niños a la edad adulta y ver cómo se desarrollan en estas funciones cognitivas.

### 7.3. Desnutrición y Atención

La tercera hipótesis planteada fue que los niños de 6 a 10 años de edad que presentaron antecedentes de desnutrición de alto riesgo en los primeros años de vida (DC) obtendrían puntajes más bajos que el grupo control en las pruebas de atención. Esta variable fue evaluada a través de las siguientes pruebas de la batería CANTAB:

- RVP (atención selectiva)
- MOT (atención para la Comprensión de Instrucciones para el manejo de una Tablet)

Con las pruebas de la Escala SNB se midió:

- Secuencia de Caminos (atención selectiva)
- Escucha dicótica (atención auditiva)

En Atención Selectiva sí se ha encontrado que los niños con antecedentes de desnutrición presentaron déficit (Kar et al., 2008), y al seguirlos en la etapa adulta encontraron que hasta un 60% mantuvo ese déficit (Waber, Bryce, Girard, et al., 2014). Lo que concuerda con Beard (2008) quien sostiene que los problemas de aprendizaje, memoria y atención debidos a la desnutrición pueden estar presentes a edades tardías y necesitar de rehabilitación. Lo cual, en esta tesis, al menos en cuanto a atención selectiva no encontramos diferencias entre los grupos en las dos pruebas por lo que coincidimos con los resultados de Nkhoma et al. (2013); aunque en el análisis de regresión sí encontramos que a mayor desnutrición, más errores en la prueba de Secuencia de Caminos.

En la prueba MOT se encontró que la desnutrición crónica no afectó el desempeño de los niños en ella. Esta prueba de comprensión de instrucciones también fue empleada por Lelijveld et al. (2018) quienes tampoco encontraron diferencias entre los dos grupos, en nuestro caso, los puntajes fueron idénticos; el total de los niños entendió la forma correcta de manejar la pantalla de la Tablet donde aparecían los reactivos de las pruebas de la batería CANTAB, lo cual fue

normal para su desarrollo dado que desde los 6 años se espera que el niño ya siga órdenes y rutinas más complejas que a edades anteriores.

En Atención Auditiva con la prueba de escucha dicótica, se encontraron más errores en los niños con DC quienes hicieron más combinaciones entre sílabas y entre palabras, creando más palabras inexistentes que los controles; esto implica que los niños presentaron algunos problemas de lateralidad auditiva, es decir presentaron lateralidad mixta sin el predominio del oído derecho como se esperaría, desde los 2 años y medio de edad, cuando el desarrollo es normal (Rosselli et al., 2010).

En este estudio no encontramos una relación entre las variables neuropsicológicas y la edad (estos datos no se presentan aquí por ser irrelevantes los coeficientes obtenidos) lo cual confirma lo encontrado por Campo-Ternera et al. (2012) quienes tampoco encontraron una asociación entre la edad y el desarrollo neuropsicológico.

#### **7.4. Desnutrición y Signos Neurológicos Blandos**

La cuarta hipótesis afirma que: los niños de 6 a 10 años con antecedentes de desnutrición de alto riesgo en los primeros años de vida (GE) presentarían signos neurológicos blandos. Los resultados demostraron que sí se cumple esta hipótesis, en lo general. Sí obtuvieron puntajes por debajo de lo esperado en algunas de las pruebas de la escala SNB-MEX, lo que indica que sí hubo errores en el desempeño de algunas pruebas asociados a la presencia de SNB.

Los SNB se midieron con las siguientes pruebas:

- Lateralidad
- Organización motora del movimiento
- Lenguaje
- Visopercepción

En referente a organización motora fina (de pies y manos) y motora gruesa no se encontraron diferencias significativas entre los dos grupos (GC y GE); contrario a lo que Agarwal et al. (1989), Galler et al. (1984) y Pienaar (2019) encontraron sobre todo del lado izquierdo. Las discrepancias entre estos estudios y el nuestro se explican debido a que en los estudios anteriores las muestras fueron de niños con desnutrición aguda grave que requirieron de hospitalización, y los niños de nuestra muestra no requirieron cuidados hospitalarios.

En ese mismo sentido, en la ejecución de la prueba “tapping” movimientos finos con el dedo pulgar e índice (también llamada finger-tapping) no se afectó por la desnutrición, lo cual corresponde con el estudio de Kar et al. (2008) en el cual la velocidad y coordinación en esta prueba tampoco se afectó. Incluso se ha encontrado en niños de aldeas con alta marginación, como las localidades de los niños de nuestra muestra, un mejor rendimiento en la prueba que el grupo control, (Christian et al., 2010). Esta falta de afectación por la desnutrición puede deberse a que los niños viven en un ambiente con actividades estimulantes del área motora fina como: desgranar maíz, jugar con piedritas, escribir o hacer figuras con dedos en la tierra, como lo observamos continuamente en nuestro trabajo comunitario. Estos resultados demuestran que la desnutrición no es determinante para producir problemas en la motricidad fina en todos los casos, lo cual puede depender de la frecuencia, la duración y la gravedad del episodio de desnutrición (Laus et al., 2011).

Sin embargo, en la variable Secuencia Rítmica de movimientos con las manos con los ojos cerrados sí encontramos diferencias significativas. El Grupo Control se desempeñó mejor en esa condición que los niños del Grupo de Estudio. Agarwal et al. (1989) y Upadhyay et al. (1995) también encontraron que los niños con desnutrición grave tuvieron bajo rendimiento: en Secuencia Rítmica con los dedos de la mano, en la tarea de punta-talón y en pronación y supinación de los brazos con los ojos abiertos (en estas tareas nosotros no encontramos diferencias entre un grupo y otro), , así mismo encontraron un patrón de ondas lentas y agudas en el lóbulo frontal según el Encefalograma.

En cuanto a Lenguaje, los antecedentes demuestran que la comprensión verbal y la fluidez fonémica es afectada por la desnutrición crónica (Kar et al., 2008; Laus et al., 2011), así como problemas para articular palabras (Torres-Morales & Granados-Ramos, 2013) sin embargo, en este estudio, en aspectos fonológicos, morfológicos, sintácticos o de fluidez verbal los niños del GE se desempeñaron igual que los niños del GC, Kar et al. (2008) tampoco encontró dificultades en el habla expresiva; sólo encontramos que la desnutrición afectó la identificación de absurdos verbales los cuales son referentes del razonamiento lógico-verbal lo que coincide con Mastroianni et al. (2010) aunque ellos no conformaron un grupo control, sí reportan calificaciones bajas en esta prueba. Lo que sí observé fue que algunos niños hablaban poco, por timidez más que por algún problema físico o funcional.

La integración visoespacial se ha visto afectada por la desnutrición como lo señalan los estudios de Waber, Bryce, Fitzmaurice et al. (2014) que mostraron rezagos debidos a la desnutrición persistiendo hasta la adolescencia. En el presente estudio encontramos específicamente en las tareas de copia de figuras y de síntesis visual que el GE fue el que tuvo una ejecución en esas tareas con mayor déficit que el GC. Lo que confirma que la desnutrición sí puede afectar la integración visoespacial en los niños, lo que coincide con lo reportado por Galler, et al. (1984), Kar, et al. (2008) y Portillo-Reyes et al, (2011).

Los resultados de este estudio reafirman que existen evidencias de algunas alteraciones neuropsicológicas que se ven reflejadas en los puntajes bajos, en las pruebas de aspectos muy específicos y claros, que suponen haber sido provocados por la desnutrición a temprana edad (S. M. Grantham-McGregor et al., 2000), con la presencia de déficits en algunas habilidades cognitivas y la presencia de SNB en algunos aspectos neuropsicológicos que pueden persistir en la adolescencia (Waber, Bryce, Fitzmaurice, et al., 2014) e incluso hasta la edad adulta (Laus et al., 2011; Muñoz & Chávez, 2007). Lo que refuerza la afirmación de Beard, (2008) que los problemas de aprendizaje, memoria y atención debidos a la desnutrición, pueden necesitar de

educación especial de por vida. Esta afirmación debe estudiarse con diferentes poblaciones y con seguimientos controlados.

Por otro lado, se afirma que los efectos adversos de la desnutrición pueden disminuir con el tiempo (Kar et al., 2008; Mendez & Adair, 1999). También se ha demostrado que los niños con desnutrición grave en los primeros años de vida pueden salvarse de un rezago en el neurodesarrollo si sus familiares estimulan a los niños jugando con ellos, siendo amorosos y enseñándoles destrezas de acuerdo a su edad (Ávila-Curiel et al., 2013). Esto también lo afirma Helmizar-Helmizar (2017) en la siguiente frase: *La estimulación es más importante que la nutrición*. En nuestro caso sería muy interesante reevaluar a estos niños mazahuas en su etapa adolescente para definir si en ellos persisten o no los déficits cognitivos y los SNB encontrados.

### **7.5. Desnutrición y Volumen de Materia Blanca**

En cuanto al volumen de materia blanca cerebral, cerebelar y total; se encontró que los niños del Grupo Control tuvieron un volumen promedio significativamente mayor que los niños del grupo de Estudio. Lo cual es parecido a lo encontrado por Simões et al. (2017) quienes estudiaron a niños nacidos prematuramente y que además tuvieron restricción del crecimiento intrauterino cuyos volúmenes cerebrales fueron más pequeños, pero con un aumento de materia blanca del lóbulo frontal, comparados con niños que también nacieron prematuros, pero con adecuado crecimiento para la edad gestacional.

Es importante señalar que en este estudio los niños pertenecían a una zona rural con un alto índice de marginación lo que se traduce en un nivel socioeconómico (NSE) bajo, sin embargo, no se ha encontrado asociación entre el NSE y la estructura de la materia blanca en niños sanos, de 8 a 10 años (Jednoróg et al., 2012). Lo que sí se ha encontrado es una correlación positiva entre edad y volumen de materia blanca (Taki et al., 2012) de la misma forma que se encontró en nuestro estudio.

En la investigación de Gunston et al (1992), seleccionaron niños con una desnutrición grave en etapa aguda de kwashiorkor de 6 a 37 meses de edad; analizaron sus cerebros a través de resonancia magnética, y encontraron que todos los niños presentaron contracción cerebral. La materia blanca y gris estuvieron igualmente afectadas, aunque la mielinización fue normal para la edad. Estos hallazgos coinciden con lo encontrado en el presente trabajo en cuanto al volumen de materia blanca afectado por la desnutrición, y por la concentración de hemoglobina en sangre.

Mediante análisis de regresión se pudo constatar que los cambios en las puntuaciones de las pruebas de: memoria de reconocimiento visual, memoria a corto plazo y memoria episódica, son explicados en alguna medida por el volumen de materia blanca encefálica. Al respecto, se ha encontrado que un menor volumen de materia blanca está asociado con una velocidad de procesamiento de información más lenta en pruebas de inteligencia en niños con déficit de atención (Peterson et al., 2015).

## Capítulo 8. Conclusiones

La presente investigación estudió el efecto de la desnutrición crónica, en grados moderado y grave durante los primeros años de vida, sobre el desarrollo de las funciones neuropsicológicas y el volumen de materia blanca, de niños de comunidades rurales, pobres, indígenas, mazahuas al llegar a la etapa escolar.

Los resultados de esta tesis permiten identificar que no todos los procesos neuropsicológicos y cognitivos de estos niños, se encontraban afectados por la desnutrición ocurrida durante los primeros 5 años de vida. Probablemente, el ambiente rural en el que habitaban les permitió desarrollar y preservar habilidades motoras con manos y pies, planeación de movimientos para resolver problemas, cambios en la atención y flexibilidad cognitiva, habilidades: de visopercepción, de atención selectiva, de comprensión de instrucciones, de memoria episódica y memoria de trabajo visoespacial, de control de comportamientos impulsivos, de lateralidad y distinción de derecha e izquierda, de lenguaje, y de uso de estrategias que son importantes para su adaptación al medio ambiente y que son indicadores de un neurodesarrollo pleno.

Este trabajo de tesis permitió conocer en los niños de esta muestra que:

- la edad no fue un factor determinante en la correlación entre el grado de desnutrición y la ejecución de las pruebas neuropsicológicas, sólo como excepción la memoria a largo plazo;
- algunas correlaciones no fueron significativas, contrario a estudios que anteceden a este, esta falta de correlación podría ser explicada debido a la mayor gravedad de la desnutrición en los niños participantes en los estudios referidos. La desnutrición que los niños de este estudio presentaron, no implicó una gravedad mayor que pusiera en riesgo su vida;

- el volumen en la materia blanca del cerebro, del cerebelo y la total fue mayor en los niños controles.

Los niños mazahuas colaboran en las actividades de siembra, cosecha, cuidado de los animales de granja y de pastoreo; diariamente tienen actividad física, realizan largas caminatas para ir a algún mandado o para visitar algún familiar. Desde pequeños tienen contacto con materiales naturales como piedras, agua, tierra, pasto, semillas, madera; lo que contribuye a desarrollar habilidades motoras, de integración sensorial, de funciones ejecutivas con memoria de trabajo, visoperceptuales (rastreo visual y movimientos sacádicos) de las cuales sólo se consideraron algunos aspectos en las pruebas que les aplicamos.

Los procesos neuropsicológicos en los que los niños con antecedentes de desnutrición sí mostraron déficits, fueron:

- memoria en tareas de las funciones ejecutivas como:
  - memoria a corto plazo
  - memoria de trabajo visoespacial
  - memoria de trabajo para repetir una secuencia de números y letras.
- flexibilidad cognitiva para cambio de reglas
- atención
  - atención para identificar sílabas o palabras en el lado derecho del oído.
- Lenguaje
  - razonamiento verbal a través de absurdos verbales
- aspectos motrices manuales
  - secuencia rítmica con ojos cerrados en los que también deben prestar atención.
- pruebas de integración visoperceptual
  - copia de figuras
  - síntesis visual al no hacer la integración de una figura dividida en varias partes.

- Volumen de materia blanca en:
  - cerebro
  - cerebelo
  - total

Lo que más ayudó a conocer estos detalles fue la evaluación específica de habilidades neuropsicológicas a través de los instrumentos que se utilizaron como la batería automatizada de CANTAB, la evaluación de Signos Neurológicos Blandos y además los estudios de resonancia magnética. No hay antecedentes de estudios tan detallados en esta población.

La aplicación personalizada de las evaluaciones fue muy satisfactoria porque todos los niños participaron con gusto e interés, trabajaron con entusiasmo y estuvieron siempre dispuestos a continuar con la evaluación todo el tiempo que fuera necesario.

Con estos hallazgos se contribuye al conocimiento de aspectos específicos del efecto de la desnutrición crónica, originada durante los primeros cinco años de vida en niños indígenas mazahuas. Los resultados muestran, además, cuáles son los procesos cognitivos, motores, de lenguaje, visoperceptivos que no son afectados por la desnutrición crónica como muchas veces se asegura o se espera. Sin duda, la resiliencia, en torno a los efectos negativos de la desnutrición, juega un papel importante. Quiero enfatizar que pese a los daños cognitivos que presentan los infantes por la desnutrición crónica, los mismos pueden ser compensados o revertidos con el tiempo. La plasticidad cerebral y el potencial de áreas no exploradas podrían aportar a esta afirmación. Por lo que sería muy interesante estudiar a estos niños en la adolescencia.

La Zona Mazahua constituye un contexto relevante para el análisis y comprensión del problema de la relación entre la desnutrición y los procesos cognitivos; implica romper con el estigma de que el niño con desnutrición es igual a un niño con capacidades cognitivas muy disminuidas o limitadas; y sin esperanza de llegar a ser una persona creativa, analítica, no conformista, perseverante y con capacidades para resolver sus problemas. Es importante

recaltar que los déficits esperados en la etapa escolar debidos a la desnutrición crónica pueden estar mediados por la estimulación temprana y oportuna recibida por parte de sus padres, madres o cuidadores, que les ofrecieron como parte de su crianza y que ayudaron a producir mecanismos de resiliencia a través de los cuales se pudo revertir los efectos de los episodios de desnutrición durante los primeros años de vida. Sólo cuando se suman la desnutrición y la falta de neuroestimulación adecuada se pueden producir situaciones de rezago grave e irreversible. Tengo ejemplos de compañeros de trabajo, nacidos en comunidades indígenas rurales marginadas, que reconocen haber sufrido desnutrición infantil y que ahora se manifiesta en su talla baja. Ellos afirman que su ambiente familiar y escolar en la niñez les brindó la estimulación oportuna que les permitió desarrollar habilidades y capacidades que ahora les permite ser brillantes investigadores con maestría y doctorado.

Al recordar mi experiencia en las convivencias que tuve con los niños y sus padres, en las sesiones de aplicación de las pruebas, al asistir a sus casas y en los trayectos desde el Estado de México a Querétaro, en algunos casos no era posible identificar a simple vista qué niño había tenido desnutrición y cuál no; jugaban, convivían y tenían razonamientos muy similares ante problemas de la vida cotidiana. Sus padres los trataban con cariño y se preocupaban por su bienestar.

Hoy día sigue siendo muy lamentable que no se tenga el cuidado conveniente con la nutrición temprana durante los primeros 1,000 días de vida lo que se agrava a partir del momento de empezar con la ablactación y la introducción de alimentos “chatarra”.

Sabemos que, a nivel mundial, buena parte de la población está afectada por una subalimentación temprana manifestada como desnutrición crónica. En nuestro país todavía existe un millón y medio de los niños la padecen; sin embargo, no se percibe o no se considera como algo de importancia en las comunidades, incluso llega a reconocerse como algo normal. Existen personas afectadas que no saben que lo están, porque no lo sienten y no son conscientes de ello -además que los servicios de salud tampoco se ocupan suficientemente de esta situación.

El presente trabajo también pretende despertar interés del gobierno y del sistema de salud sobre un problema que aún no se ha erradicado, para que sea considerado en las políticas públicas como parte del sistema integral de protección a los derechos de la infancia, su ruta integral de atenciones y su caja de herramientas.

### **Limitaciones y Sugerencias**

Una limitación para llevar a cabo este estudio fue el traslado del equipo de nutriólogos, psicólogos de la CDMX a la Zona Mazahua, y de los niños y sus familiares de la Zona Mazahua a Juriquilla, Querétaro; así como los escasos recursos económicos disponibles para sufragar los gastos de logística.

Otra limitación fueron los tiempos y lugares idóneos para la aplicación de las pruebas en ocasiones se tenían que realizar en la casa de los niños o en la escuela buscando un espacio donde el niño se sintiera cómodo, en confianza y seguro.

La mayor limitación fue la pandemia por COVID-19, motivo por el cual no fue posible completar la muestra del grupo control (30 niños) y posteriormente ya no contaba con los recursos y las condiciones para poder seguir con el estudio. Los líderes comunitarios no permitieron el paso de personas ajenas a la comunidad durante un año y medio y las vacunas para los niños se empezaron a distribuir dos años después del inicio de la pandemia, por lo que la muestra quedó inconclusa porque los niños controles ya no eran comparables con los niños de estudio y el proceso natural de maduración en los niños habría sido una variable que afecta la validez interna del estudio.

Se sugiere hacer un seguimiento de estos niños para determinar la persistencia de los déficits encontrados en las pruebas neuropsicológicas y la presencia de SNB a cuatro años de distancia y su posterior seguimiento hasta la adolescencia.

Otro aspecto importante sería crear un sistema de evaluación específico para niños rurales tomando en cuenta las actividades que ellos realizan y en las que tienen habilidades y destrezas desarrolladas

### Referencias

- Abeyá, G.E. (1988). Nuevas tendencias en la alimentación del niño menor de dos años: Su relación con la nutrición y crecimiento. En *Crecimiento y Desarrollo: Hechos y Tendencias* (Cusminsky, M., Moreno, E. y Suárez O. E.). Organización Panamericana de Salud.
- Agarwal, K., Agarwal, D., & Upadhyay, S. (1995). Impact of chronic undernutrition on higher mental functions in Indian boys aged 10–12 years. *Acta Paediatrica*, 84(12), 1357-1361. <https://doi.org/10.1111/j.1651-2227.1995.tb13568.x>
- 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*, 78(6), 873-878. <https://doi.org/10.1111/j.1651-2227.1989.tb11166.x>
- Alvarado-Chávez, J., Rodríguez Valencia, Jesús, & Miguel Hernández, Patricia. (2017). *Guía Tecnológica: Resonancia Magnética 1.5T y 3.0T*. Secretaría de Salud CENETEC.
- Arbelaez, G., Ardila, A. A., Méndez, L. C., Quintero, M. M., Hurtado, P. C. V., Cock, M. R., Pulido, S. E. E., Agudelo, P. O., Villaseñor, E. M., Gómez, V. E. B., & Salazar, G. A. T. (2004). Evaluación Neuropsicológica Infantil (ENI): Batería para la evaluación de niños entre 5 y 16 años de edad: Estudio normativo colombiano. *Revista de neurología*, 38(8), 720-731.
- Ashraf, M. E.-S., Gihan, M. B., & Ahlam M, I. (2012). Cranial magnetic resonance imaging (MRI) changes in severely malnourished children before and after treatment. *Life Science Journal*, 9(3), 738-742.
- Atance, C. M., & Jackson, L. K. (2009). The development and coherence of future-oriented behaviors during the preschool years. *Journal of Experimental Child Psychology*, 102(4), 379-391. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2009.01.001>
- Ávila Curiel, A. C., Álvarez Izazaga, M. A., & Galindo-Gómez, C. (2018). Retraso del Neurodesarrollo, Desnutrición y Estimulación Oportuna en Niños Rurales Mexicanos.

- Acta de Investigación Psicológica*, 8(3), 6-16.  
<https://doi.org/10.22201/fpsi.20074719e.2018.3.01>
- Avila Curiel, Abelardo. (2017, agosto 9). *Registro Nacional de Peso y Talla, 2016*.  
<http://archsurg.jamanetwork.com/article.aspx?doi=10.1001/archsurg.138.9.940>
- Ávila-Curiel, A., Álvarez-Izazaga, M., Reidl-Martinez, L., & López-Arce, A. (2013). *Vigilancia Epidemiológica del Neurodesarrollo Infantil en Comunidades Marginales de México. Capítulo III Elaboración de la prueba de tamiz del neurodesarrollo infantil (PTNI)*.
- Ávila-Curiel, A., Juárez-Martínez, L., Del Monte-Vega, M., Ávila-Arcos, M., Galindo-Gómez, C., & Ambrocio-Hernández, R. (2016). Estado de nutrición en población escolar mexicana que cursa el nivel de primaria. *Ciudad de México: Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán*.
- Ayres, A. J. (2007). *La integración sensorial y el niño*. Trillas.
- Beard, J. L. (2008). Why iron deficiency is important in infant development. *The Journal of nutrition*, 138(12), 2534-2536.
- Benton, D. (2005). Nutritional Neuroscience: Overview of an Emerging. En *Nutrition, Brain & Behavior* (Field, Taylor and Francis, Boca Raton, Vol. 3). Taylor & Francis Group.
- Black, M. M., Pérez-Escamilla, R., & Fernandez Rao, S. (2015). Integrating Nutrition and Child Development Interventions: Scientific Basis, Evidence of Impact, and Implementation Considerations. *Advances in Nutrition*, 6(6), 852-859.  
<https://doi.org/10.3945/an.115.010348>
- Borst, G., Aïte, A., & Houdé, O. (2015). Inhibition of misleading heuristics as a core mechanism for typical cognitive development: Evidence from behavioural and brain-imaging studies. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 57, 21-25.
- Bringas Vega, M. L., Guo, Y., Tang, Q., Razzaq, F. A., Calzada Reyes, A., Ren, P., Paz Linares, D., Galan Garcia, L., Rabinowitz, A. G., Galler, J. R., Bosch-Bayard, J., & Valdes Sosa, P. A. (2019). An Age-Adjusted EEG Source Classifier Accurately Detects School-Aged

- Barbadian Children That Had Protein Energy Malnutrition in the First Year of Life. *Frontiers in Neuroscience*, 13, 1222. <https://doi.org/10.3389/fnins.2019.01222>
- Campo Ternera, C., Tuesca Molina, R., & Campo Ternera, L. (2012). Relación entre el grado de madurez neuropsicológica infantil y el índice de talla y peso en niños de 3 a 7 años escolarizados de estratos socioeconómicos dos y tres de la ciudad de Barranquilla (Colombia). *Revista Salud Uninorte*, 28(1), 88-98.
- Chávez, A., & Martínez, C. (1980). *Nutrición y desarrollo infantil; un estudio eco-etológico sobre la problemática del niño campesino en una comunidad rural pobre*. Interamericana.
- Chávez, A., Martínez, C., & Soberanes, B. (1995). The effect of Malnutrition on Human Development. En *Community-Based Longitudinal Nutrition and Health Studies: Classical examples from Guatemala, Haiti and México* (Scrimshaw, N (Ed)). International Foundation for Developing Countries.
- Chávez, A., Martínez, H., Guarneros, N., Allen, L., & Pelto, G. (1998). Nutrición y desarrollo psicomotor durante el primer semestre de vida. *Salud Pública de México*, 40(2). <https://doi.org/10.1590/S0036-36341998000200002>
- Chávez Villasana, A. (2023). *La desnutrición en la infancia y sus consecuencias a lo largo de la vida*. Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán.
- Christian, P., Murray-Kolb, L. E., Khatry, S. K., Katz, J., Schaefer, B. A., Cole, P. M., Leclercq, S. C., & Tielsch, J. M. (2010). Prenatal micronutrient supplementation and intellectual and motor function in early school-aged children in Nepal. *JAMA*, 304(24), 2716-2723. <https://doi.org/10.1001/jama.2010.1861>
- Consejo Nacional de Población, C. (2015). *Índice de marginación por municipio 1990-2015*. Conapo.
- Consejo Nacional de Población, C. (2020). *Índice de marginación por localidad 2020*. Consejo Nacional de Población México CDMX. <https://www.gob.mx/conapo/documentos/indices-de-marginacion-2020-284372>

- Cortés-Moreno, A., & Méndez-Lozano, S. M. (2012). *ESTRÉS PARENTAL, INTERACCIONES DIÁDICAS AL COMER Y DESNUTRICIÓN EN EL PERIODO DE ALIMENTACIÓN COMPLEMENTARIA*. 3(2), 13.
- Cravioto, J., & Arrieta, R. (1985). Nutrición, desarrollo mental, conducta y aprendizaje, Sistema nacional para el desarrollo integral de la familia. *México: Desarrollo Integral para la Familia*, 191.
- Crivelli, D., Coy, L., Rourke, S., Stanford, L., Rotteveel, E., Boelema, S., Marquine, M., Stegman, R., Reeve, J., De Jonghe, J., & others. (2016). Final Program 2016 Mid-Year Meeting International Neuropsychological Society. *City*, 9(10.30), 09-00.
- Cuevas-Nasu, L., García-Guerra, A., González-Castell, L. D., Morales-Ruan, M. del C., Méndez-Gómez Humarán, I., Gaona-Pineda, E. B., García-Feregrino, R., Rodríguez-Ramírez, S., Gómez-Acosta, L. M., Ávila-Arcos, M. A., Shamah-Levy, T., & Rivera-Dommarco, J. Á. (2021). Magnitud y tendencia de la desnutrición y factores asociados con baja talla en niños menores de cinco años en México, Ensanut 2018-19. *Salud Pública de México*, 63(3 May-Jun), 339-349. <https://doi.org/10.21149/12193>
- Cuevas-Nasu, L., Muñoz-Espinosa, A., Shamah-Levy, T., García-Feregrino, R., Gómez-Acosta, L. M., Ávila-Arcos, M. A., & Rivera-Dommarco, J. A. (2023). Estado de nutrición de niñas y niños menores de cinco años en México. Ensanut 2022. *salud pública de méxico*, 65(1). <https://ensanut.insp.mx/encuestas/ensanutcontinua2022/doctos/analiticos/27-Nutricion.de.menores-ENSANUT2022-14799-72472-2-10-20230619.pdf>
- Cusick, S. E., & Georgieff, M. K. (2012). Nutrient supplementation and neurodevelopment: Timing is the key. *Archives of pediatrics & adolescent medicine*, 166(5), 481-482.
- De Onis, M., Onyango, A. W., Borghi, E., Siyam, A., Nashida, C., & Siekmann, J. (2007). Elaboración de un patrón OMS de crecimiento de escolares y adolescentes. *Bull World Health Organ*, 85(9), 660-667.
- DIF, S. (1996). *Segundo Censo Nacional de Talla en Niños de Primer Grado de Primaria*. México.

DOF - Diario Oficial de la Federación. (2014). *Ley General de los Derechos de Niñas, Niños y Adolescentes*.

[https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5374143&fecha=04/12/2014](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5374143&fecha=04/12/2014)

Donkelaar, H. J. (2008). Child Brain Development. En *Child Neuropsychology*. Wiley-Blackwell.

Downes, J., Evenden, J., Morris, R., Owen, A., Robbins, T., Roberts, A., & Sahakian, B. (2006). *CANTABclipse, test administration guide (Manual ver)*. Cambridge: Cambridge Cognition Ltd.

Durlach, P. (1998). The effects of a low dose of caffeine on cognitive performance. *Psychopharmacology*, 140, 116-119.

Feldman, R. (2007). *Desarrollo Psicológico*. Pearson.  
<http://metabase.uaem.mx/bitstream/handle/123456789/606/Modelo%20del%20desarrollo%20cognoscitivo%20de%20Piaget.pdf?sequence=1>

Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia, U. (2017). *Los 1.000 primeros días: Un abanico de oportunidades*. UNICEF. <https://blogs.unicef.org/es/blog/1000-primeros-dias-oportunidades/>

Fowler, L., Blackwell, A., Jaffa, A., Palmer, R., Robbins, T., Sahakian, B., & Dowson, J. (2006). Profile of neurocognitive impairments associated with female in-patients with AN. *Psychological medicine*, 36, 517-527. <https://doi.org/10.1017/S0033291705006379>

Gale, C. R., O'Callaghan, F. J., Godfrey, K. M., Law, C. M., & Martyn, C. N. (2004). Critical periods of brain growth and cognitive function in children. *Brain*, 127(2), 321-329. <https://doi.org/10.1093/brain/awh034>

Galler, J. R., & Ramsey, F. (1989). A Follow-up Study of the Influence of Early Malnutrition on Development: Behavior at Home and at School. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*, 28(2), 254-261. <https://doi.org/10.1097/00004583-198903000-00018>

- Galler, J. R., Ramsey, F., & Solimano, G. (1985). Influence of early malnutrition on subsequent behavioral development: V. Child's behavior at home. *Journal of the American Academy of Child Psychiatry*, 24(1), 58-64.
- Galler, J. R., Ramsey, F., Solimano, G., Thomas Kucharski, L., & Harrison, R. (1984). The Influence of Early Malnutrition on Subsequent Behavioral Development. IV. Soft Neurologic Signs. *Pediatric Research*, 18(9), 826-832. <https://doi.org/10.1203/00006450-198409000-00004>
- Georgieff, M. K. (2007). Nutrition and the developing brain: Nutrient priorities and measurement. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 85(2), 614S-620S. <https://doi.org/10.1093/ajcn/85.2.614S>
- Ghosh, S., Vaid, K., Mohan, M., & Maheshwari, M. C. (1979). Effect of degree and duration of protein energy malnutrition on peripheral nerves in children. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, 42(8), 760-763. <https://doi.org/10.1136/jnnp.42.8.760>
- Gómez, F., Galván, R. R., & MUNOZ, J. C. (1951). Studies on malnutrition in children. *Boletín medico del Hospital Infantil de Mexico*, 8(5), 593-608.
- Grantham-McGregor, S., & Baker-Henningham, H. (2005). Review of the evidence linking protein and energy to mental development. *Public Health Nutrition*, 8(7a), 1191-1201. <https://doi.org/10.1079/PHN2005805>
- Grantham-McGregor, S., Cheung, Y. B., Cueto, S., Glewwe, P., Richter, L., & Strupp, B. (2007). Developmental potential in the first 5 years for children in developing countries. *The Lancet*, 369(9555), 60-70. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(07\)60032-4](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(07)60032-4)
- Grantham-McGregor, S. M., Walker, S. P., & Chang, S. (2000). Nutritional deficiencies and later behavioural development. *Proceedings of the Nutrition Society*, 59(1), 47-54. <https://doi.org/10.1017/S0029665100000069>
- Green, C. r., Mihic, A. m., Nikkel, S. m., Stade, B. c., Rasmussen, C., Munoz, D. p., & Reynolds, J. n. (2009). Executive function deficits in children with fetal alcohol spectrum disorders

- (FASD) measured using the Cambridge Neuropsychological Tests Automated Battery (CANTAB). *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 50(6), 688-697. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.2008.01990.x>
- Gunston, G. D., Burkimsher, D., Malan, H., & Sive, A. A. (1992). Reversible cerebral shrinkage in kwashiorkor: An MRI study. *Archives of Disease in Childhood*, 67(8), 1030-1032. <https://doi.org/10.1136/adc.67.8.1030>
- Hadders-Algra, M. (2011). Prenatal and early postnatal supplementation with long-chain polyunsaturated fatty acids: Neurodevelopmental considerations. *The American journal of clinical nutrition*, 94(suppl\_6), 1874S-1879S.
- Hanson, J. L., Adluru, N., Chung, M. K., Alexander, A. L., Davidson, R. J., & Pollak, S. D. (2013). Early Neglect Is Associated With Alterations in White Matter Integrity and Cognitive Functioning. *Child Development*, 84(5), 1566-1578. <https://doi.org/10.1111/cdev.12069>
- Helmizar, H., Jalal, F., Lipoeto, N. I., & Achadi, E. L. (2017). Local food supplementation and psychosocial stimulation improve linear growth and cognitive development among Indonesian infants aged 6 to 9 months. *Asia Pacific journal of clinical nutrition*, 26(1), 97-103.
- Hernandez-Castillo, C. R., Alcauter, S., Galvez, V., Barrios, F. A., Yescas, P., Ochoa, A., Garcia, L., Diaz, R., Gao, W., & Fernandez-Ruiz, J. (2013). Disruption of visual and motor connectivity in spinocerebellar ataxia type 7. *Movement Disorders*, 28(12), 1708-1716.
- Hughes, C., Russell, J., & Robbins, T. W. (1994). Evidence for executive dysfunction in autism. *Neuropsychologia*, 32(4), 477-492.
- Jazbec, S., Pantelis, C., Robbins, T., Weickert, T., Weinberger, D. R., & Goldberg, T. E. (2007). Intra-dimensional/extra-dimensional set-shifting performance in schizophrenia: Impact of distractors. *Schizophrenia Research*, 89(1), 339-349. <https://doi.org/10.1016/j.schres.2006.08.014>

- Jednoróg, K., Altarelli, I., Monzalvo, K., Fluss, J., Dubois, J., Billard, C., Dehaene-Lambertz, G., & Ramus, F. (2012). The Influence of Socioeconomic Status on Children's Brain Structure. *PLoS ONE*, 7(8), e42486. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0042486>
- Kar, B. R., Rao, S. L., & Chandramouli, B. A. (2008). Cognitive development in children with chronic protein energy malnutrition. *Behavioral and Brain Functions*, 4(1), 31. <https://doi.org/10.1186/1744-9081-4-31>
- Kaufman, A. S., Flanagan, D. P., Alfonso, V. C., & Mascolo, J. T. (2006). Test review: Wechsler intelligence scale for children, (WISC-IV). *Journal of psychoeducational assessment*, 24(3), 278-295.
- Kemp, S. L., Korkman, M., & Kirk, U. (2001). *Essentials of NEPSY Assessment*. John Wiley & Sons.
- Kempton, S., Vance, A., Maruff, P., Luk, E., Costin, J., & Pantelis, C. (1999). Executive function and attention deficit hyperactivity disorder: Stimulant medication and better executive function performance in children. *Psychological medicine*, 29(3), 527-538.
- Laus, M. F., Duarte Manhas Ferreira Vales, L., Braga Costa, T. M., & Sousa Almeida, S. (2011). Early Postnatal Protein-Calorie Malnutrition and Cognition: A Review of Human and Animal Studies. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 8(2), 590-612. <https://doi.org/10.3390/ijerph8020590>
- Lawrence, A. D. (2000). Visual object and visuospatial cognition in Huntington's disease: Implications for information processing in corticostriatal circuits. *Brain*, 123(7), 1349-1364. <https://doi.org/10.1093/brain/123.7.1349>
- Lawrence, A. J., Luty, J., Bogdan, N. A., Sahakian, B. J., & Clark, L. (2009). Problem gamblers share deficits in impulsive decision-making with alcohol-dependent individuals. *Addiction*, 104(6), 1006-1015. <https://doi.org/10.1111/j.1360-0443.2009.02533.x>
- Lelijveld, N., Jalloh, A. A., Kampondeni, S. D., Seal, A., Wells, J. C., Goyheneix, M., Chimwezi, E., Mallewa, M., Nyirenda, M. J., Heyderman, R. S., & Kerac, M. (2018). Brain MRI and

- cognitive function seven years after surviving an episode of severe acute malnutrition in a cohort of Malawian children. *Public Health Nutrition*, 22(8), 1406-1414.  
<https://doi.org/10.1017/S1368980018003282>
- Liebermann, D., Giesbrecht, G. F., & Müller, U. (2007). Cognitive and emotional aspects of self-regulation in preschoolers. *Cognitive Development*, 22(4), 511-529.  
<https://doi.org/10.1016/j.cogdev.2007.08.005>
- Lozoff, B., & Georgieff, M. K. (2006). Iron Deficiency and Brain Development. *Seminars in Pediatric Neurology*, 13(3), 158-165. <https://doi.org/10.1016/j.spen.2006.08.004>
- Luciana, M., Lindeke, L., Georgieff, M., Mills, M., & Nelson, C. A. (1999). Neurobehavioral evidence for working-memory deficits in school-aged children with histories of prematurity. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 41(8), 521-533.  
<https://doi.org/10.1017/S0012162299001140>
- Luciana, M., & Nelson, C. A. (2002). Assessment of neuropsychological function through use of the Cambridge Neuropsychological Testing Automated Battery: Performance in 4-to 12-year-old children. *Developmental neuropsychology*, 22(3), 595-624.
- Maestú Unturbe, F., Cabestrero Alonso, R., & Ríos Lago, M. (2010). *Neuroimagen técnicas y procesos cognitivos*. Elsevier/Masson. <http://0-www.sciencedirect.com.fama.us.es/science/book/9788445817766>
- Manga, D., & Ramos, F. (1991). *Neuropsicología de la edad escolar: Aplicaciones de la teoría de AR Luria a niños a través de la Batería Luria-DNI*.
- Mastroianni Pinto, Silvia, Belcastro, M. Luz, Albino, Abel, Salomón, Fernando, Zavaroni, Natalia, & Sabio, Gabriela. (2010). Evaluación audiológica y de percepción auditiva en niños con desnutrición. *REVISTA FASO*, 17(1), 48-53.
- Mendez, M. A., & Adair, L. S. (1999). Severity and timing of stunting in the first two years of life affect performance on cognitive tests in late childhood. *The Journal of nutrition*, 129(8), 1555-1562.

- Muñoz, M., & Chávez, A. (2007). *Desnutrición. Su impacto en la salud humana y en la capacidad funcional*. Ciudad de México: Grama Editora.
- Nkhoma, O. W., Duffy, M. E., Cory-Slechta, D. A., Davidson, P. W., McSorley, E. M., Strain, J. J., & O'Brien, G. M. (2013). Early-stage primary school children attending a school in the Malawian School Feeding Program (SFP) have better reversal learning and lean muscle mass growth than those attending a non-SFP school. *The Journal of nutrition*, *143*(8), 1324-1330.
- Nyaradi, A., Li, J., Hickling, S., Foster, J., & Oddy, W. H. (2013). The role of nutrition in children's neurocognitive development, from pregnancy through childhood. *Frontiers in Human Neuroscience*, *7*. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2013.00097>
- Odabaş, D., Çaksen, H., Şar, Ş., Ünal, Ö., Tuncer, O., Ataş, B., & Yılmaz, C. (2005). Cranial MRI findings in children with protein energy malnutrition. *International journal of neuroscience*, *115*(6), 829-837.
- Owen, A. M., Roberts, A. C., Polkey, C. E., Sahakian, B. J., & Robbins, T. W. (1991). Extra-dimensional versus intra-dimensional set shifting performance following frontal lobe excisions, temporal lobe excisions or amygdalo-hippocampectomy in man. *Neuropsychologia*, *29*(10), 993-1006.
- Owen W. W. Nkhoma, Duffy, M. E., Cory-Slechta, D. A., Davidson, P. W., McSorley, E. M., Strain, J. J., & O'Brien, G. M. (2013). Early-Stage Primary School Children Attending a School in the Malawian School Feeding Program (SFP) Have Better Reversal Learning and Lean Muscle Mass Growth Than Those Attending a Non-SFP School. *The Journal of Nutrition*, *143*(8), 1324-1330. <https://doi.org/10.3945/jn.112.171280>
- Paredes, A., & Yenny, V. (2013). Caracterización de memoria y atención en niños escolarizados con desnutrición crónica. *Universidad y Salud*, *15*(2), 165-175.
- Pérez Ahumada, J. A. (2022). *Análisis de la integridad estructural del cerebro en niños de 6 a 10 años de edad con deficiencia nutricional*. Universidad Nacional Autónoma de México.

- Peterson, B. S., Rauh, V. A., Bansal, R., Hao, X., Toth, Z., Nati, G., Walsh, K., Miller, R. L., Arias, F., Semanek, D., & Perera, F. (2015). Effects of Prenatal Exposure to Air Pollutants (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons) on the Development of Brain White Matter, Cognition, and Behavior in Later Childhood. *JAMA Psychiatry*, *72*(6), 531. <https://doi.org/10.1001/jamapsychiatry.2015.57>
- Pienaar, A. E. (2019). The association between under-nutrition, school performance and perceptual motor functioning in first-grade South African learners: The North-West Child Health Integrated with Learning and Development study. *Health SA Gesondheid*, *24*. <https://doi.org/10.4102/hsag.v24i0.1046>
- Portellano, J. A., & Mateos, R. (2012). *CUMANES Cuestionario de Madurez Neuropsicológica Escolar*. TEA Ediciones.
- Portillo-Reyes, V., Puente, A., Pérez-García, M., & Loya-Méndez, Y. (2011). Deterioro neuropsicológico en niños mexicanos con estados nutricionales alterados: Desnutrición leve a moderada vs. Obesidad. *Revista Neuropsicología, Neuropsiquiatría y Neurociencias*, *11*(2), 133-146.
- Potvin, S., Briand, C., Pruteau, A., Bouchard, R.-H., Lipp, O., Lalonde, P., Nicole, L., Lesage, A., & Stip, E. (2005). CANTAB explicit memory is less impaired in addicted schizophrenia patients. *Brain and Cognition*, *59*(1), 38-42. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2005.04.002>
- Ramírez T. G. T., & Zuluaga G. J. A. (2001). Nutrición y neurodesarrollo. En *Neurodesarrollo y Estimulación* (Zuluaga-Gómez J.A., p. 296). Médica Panamericana.
- Rasmussen, C., Soleimani, M., Carroll, A., & Hodlevskyy, O. (2009). Neuropsychological Functioning in Children with Tourette Syndrome (TS). *Journal of the Canadian Academy of Child and Adolescent Psychiatry*, *18*(4), 307-315.
- Reed, J., & Warner-Rogers, J. (2009). *Child Neuropsychology: Concepts, Theory, and Practice*. John Wiley & Sons.

- Roberts, S. B., Franceschini, M. A., Silver, R. E., Taylor, S. F., de Sa, A. B., C o, R., Sonco, A., Krauss, A., Taetzsch, A., Webb, P., Das, S. K., Chen, C.-Y., Rogers, B. L., Saltzman, E., Lin, P.-Y., Schlossman, N., Pruzensky, W., Bal e, C., Chui, K. K. H., & Muentener, P. (2020). Effects of food supplementation on cognitive function, cerebral blood flow, and nutritional status in young children at risk of undernutrition: Randomized controlled trial. *BMJ*, m2397. <https://doi.org/10.1136/bmj.m2397>
- Romero-Martínez, M., Shamah-Levy, T., & Franco-N n ez, A. (2013). Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2012:diseño y cobertura. *Salud Pública de México*, 55(Supl.2), 332. <https://doi.org/10.21149/spm.v55s2.5132>
- Roque, D. T., Teixeira, R. A. A., Zachi, E. C., & Ventura, D. F. (2011). The use of the Cambridge Neuropsychological Test Automated Battery (CANTAB) in neuropsychological assessment: Application in Brazilian research with control children and adults with neurological disorders. *Psychology & Neuroscience*, 4, 255-265. <https://doi.org/10.3922/j.psns.2011.2.011>
- Rosselli, M. (2015). *Neuropsicológico de las Habilidades Visoespaciales y Visoconstruccionales*. 26.
- Rosselli, M., Matute, E., & Ardila, A. (2010). *Neuropsicología del desarrollo infantil*. Editorial El Manual Moderno.
- Salvador-Cruz, J., Tovar Vital, D. S., Segura Villa, A., Ledesma-Amaya, L., García Anacleto, A., Aguillón Solis, C., Sánchez Vielma, E., & Rodríguez Martínez, M. (2019). Signos Neurológicos Blandos y procesos cognitivos en niños escolares mexicanos de 6-11 años. *Acta Colombiana de Psicología*, 22(2), 28-40. <https://doi.org/10.14718/ACP.2019.22.2.3>
- Scaife, J. C., & Duka, T. (2009). Behavioural measures of frontal lobe function in a population of young social drinkers with binge drinking pattern. *Pharmacology Biochemistry and Behavior*, 93(3), 354-362. <https://doi.org/10.1016/j.pbb.2009.05.015>

- Semrud-Clikeman, M., Romero, R. A. A., Prado, E. L., Shapiro, E. G., Bangirana, P., & John, C. C. (2016). Selecting measures for the neurodevelopmental assessment of children in low- and middle-income countries. *Child Neuropsychology*, 1-42. <https://doi.org/10.1080/09297049.2016.1216536>
- Simões, R. V., Muñoz-Moreno, E., Cruz-Lemini, M., Eixarch, E., Bargalló, N., Sanz-Cortés, M., & Gratacós, E. (2017). Brain metabolite alterations in infants born preterm with intrauterine growth restriction: Association with structural changes and neurodevelopmental outcome. *American journal of obstetrics and gynecology*, 216(1), 62-e1.
- Sistema Nacional para el Desarrollo Integral de la Familia. (1994). *Segundo Censo Nacional de Talla en niños de primer grado de primaria. Informe General*.
- Sistema Nacional para el Desarrollo Integral de la Familia, SS, & Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición SZ. (2000). *Tercer Censo Nacional de Talla 1999*. DIF.
- Sistema Nacional para el Desarrollo Integral de la Familia SNDIF, SEP, SS, INCMNSZ. (2004). *Cuarto Censo Nacional de Talla 2004*.
- Soto de la Rosa, H., & Martínez, A. (2013). *Programas para el cuidado y el desarrollo infantil temprano en los países del Sistema de la Integración Centroamericana (SICA). De su configuración actual a su implementación óptima*. <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/26112>
- Sweeney, J. A., Strojwas, M. H., Mann, J. J., & Thase, M. E. (1998). Prefrontal and Cerebellar Abnormalities in Major Depression: Evidence from Oculomotor Studies. *Biological Psychiatry*, 43(8), 584-594. [https://doi.org/10.1016/S0006-3223\(97\)00485-X](https://doi.org/10.1016/S0006-3223(97)00485-X)
- Syväoja, H. J., Tammelin, T. H., Ahonen, T., Räsänen, P., Tolvanen, A., Kankaanpää, A., & Kantomaa, M. T. (2015). Internal consistency and stability of the CANTAB neuropsychological test battery in children. *Psychological Assessment*, 27(2), 698.

- Tobarra, S. E., Castro, O. Ó., & Badilla, C. R. (2015). Estado nutricional y características socioepidemiológicas de escolares chilenos, OMS 2007. *Revista Chilena de Pediatría*, 86(1), 12-17. <https://doi.org/10.1016/j.rchipe.2015.04.003>
- Tomalski, P., & Johnson, M. H. (2010). The effects of early adversity on the adult and developing brain. *Current opinion in psychiatry*, 23(3), 233-238.
- Torres-Morales, P., & Granados-Ramos, D. E. (2013). Factores de riesgo perinatal, signos neurológicos blandos y lenguaje en edad preescolar. *Revista de Enfermería Neurológica*, 12(3), 128-133.
- Upadhyay, S. K., Agarwal, D. K., J., S., & Agarwal, K. N. (1995). Persistence of soft neurological signs in chronic undernourished children. *Nutrition Research*, 15(2), 193-199. [https://doi.org/10.1016/0271-5317\(95\)92585-8](https://doi.org/10.1016/0271-5317(95)92585-8)
- Upadhyay, S. K., Agarwal, K. N., & Agarwal, D. K. (1989). Influence of malnutrition on social maturity, visual motor coordination & memory in rural school children. *The Indian Journal of Medical Research*, 90, 320-327.
- Vera-Noriega, Á., Mejía, L., Saucedo, S., & del Refugio Palacios, M. (1990). Psychological, nutritional, socioeconomic aspects and family relations of Mexican children with low school performance. *Archivos latinoamericanos de nutrición*, 40(4), 475-489.
- Visu-Petra, L., Benga, O., Țincaș, I., & Miclea, M. (2007). Visual-spatial processing in children and adolescents with Down's syndrome: A computerized assessment of memory skills. *Journal of Intellectual Disability Research*, 51(12), 942-952. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2788.2007.01002.x>
- Volpe, J. (2008). *Neurología del recién nacido*. (5.ª ed.).
- Waber, D. P., Bryce, C. P., Fitzmaurice, G. M., Zichlin, M. L., McGaughy, J., Girard, J. M., & Galler, J. R. (2014). Neuropsychological outcomes at midlife following moderate to severe malnutrition in infancy. *Neuropsychology*, 28(4), 530-540. <https://doi.org/10.1037/neu0000058>

- Waber, D. P., Bryce, C. P., Girard, J. M., Zichlin, M., Fitzmaurice, G. M., & Galler, J. R. (2014). Impaired IQ and academic skills in adults who experienced moderate to severe infantile malnutrition: A 40-year study. *Nutritional neuroscience*, 17(2), 58-64.
- World Health Organization. (2006). *WHO child growth standards: Length/height-for-age, weight-for-age, weight-for-length, weight-for-height and body mass index-for-age: methods and development*. World Health Organization.
- Xie, W., Jensen, S. K. G., Wade, M., Kumar, S., Westerlund, A., Kakon, S. H., Haque, R., Petri, W. A., & Nelson, C. A. (2019). Growth faltering is associated with altered brain functional connectivity and cognitive outcomes in urban Bangladeshi children exposed to early adversity. *BMC Medicine*, 17(1), 199. <https://doi.org/10.1186/s12916-019-1431-5>
- Zuluaga-Gómez, J. A. (2001). *Neurodesarrollo y Estimulación* (1a.). Médica Panamericana.