

2018 : Relación entre sobrepeso, obesidad y zinc con la  
función cognitiva de niños escolares de la ciudad  
de Querétaro L.N. María Dolores Irene Chang Ruiz



Universidad Autónoma de Querétaro  
Facultad de Ciencias Naturales

**“Relación entre sobrepeso, obesidad y zinc con la  
función cognitiva de niños escolares de la ciudad de  
Querétaro”**

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el grado  
de

Maestro en Ciencias de la Nutrición Humana

Presenta

LN. María Dolores Irene Chang Ruiz

Dirigido por

Dra. Olga Patricia García Obregón

Querétaro, Qro., 2018.



Universidad Autónoma de Querétaro  
Facultad de Ciencias Naturales  
Maestría en Ciencias de la Nutrición Humana

**“Relación entre sobrepeso, obesidad y zinc con la función cognitiva de niños escolares de la ciudad de Querétaro”**

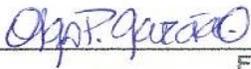
Opción de titulación  
Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el Grado de  
Maestría en Ciencias de la Nutrición Humana

Presenta:  
María Dolores Irene Chang Ruiz

Dirigido por:  
Dra. Olga Patricia García Obregón

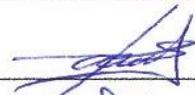
Olga Patricia García Obregón  
Presidente

  
Firma

Juana Elizabeth Elton Puente  
Secretario

  
Firma

Dolores Ronquillo González  
Vocal

  
Firma

Karen Torres Arreola  
Suplente

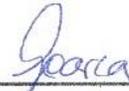
  
Firma

Olga Aracely Rojas Ramos  
Suplente

  
Firma



Dra. Juana Elizabeth Elton Puente  
Directora de la Facultad de Ciencias Naturales



Dra. Ma. Guadalupe Flavia Loarca Piña  
Directora de Investigación y Posgrado

## Resumen

En México el sobrepeso y la obesidad representan un problema de salud pública. Se ha visto que la obesidad puede alterar la función cognitiva y a su vez causar problemas de mala nutrición, lo que puede causar deficiencias de nutrimentos como el zinc, esencial para la función cerebral y cognitiva. El objetivo de este estudio observacional transversal fue evaluar la relación entre el sobrepeso, la obesidad y el zinc con la función cognitiva de niños escolares. Participaron 152 niños de edad escolar de escuelas primarias públicas y urbanas de la ciudad de Querétaro. Se determinó peso, talla, circunferencia de cintura. Se tomó un análisis de sangre para evaluar las concentraciones de zinc y se evaluó la función cognitiva (WISC). Los resultados muestran alta prevalencia de sobrepeso y obesidad (39.5%) y baja prevalencia de deficiencia de zinc (9%), la cual se asoció con menor coeficiente intelectual total ajustado por escolaridad de la madre ( $p < 0.05$ ). Además 38.2% de la población presentó un coeficiente intelectual bajo, lo cual no se asoció con el IMC/edad. La circunferencia de cintura se asoció positivamente con el índice de comprensión verbal y negativamente con el índice de velocidad de procesamiento ajustado por escolaridad de la madre ( $< 0.05$ ). Los niños con un consumo de zinc bajo ( $< 6.6$  mg/d) presentaron menor coeficiente intelectual ( $< 0.05$ ). En conclusión, el bajo consumo y las concentraciones inadecuadas de zinc, así como la circunferencia elevada de cintura se relacionan con una menor función cognitiva en población escolar en Querétaro.

**Palabras claves:** Obesidad, sobrepeso, zinc, función cognitiva, edad escolar.

## Summary

In México, overweight and obesity during childhood represent a public health problem. Obesity can alter cognitive function and cause malnutrition, which can cause deficiencies of micronutrients such as zinc, which is essential for brain and cognitive function. The main objective of this cross-sectional study was to evaluate the association between overweight, obesity and zinc with the cognitive function of school-aged children. A total of 152 school-aged children of public and urban schools from the city of Queretaro participated in the study. Weight, height, and waist circumference were determined. A blood test was taken to evaluate zinc concentrations and cognitive function was assessed (WISC). The results showed a high prevalence of overweight and obesity (39.5%) and a low prevalence of zinc deficiency (9%), which was associated with the lower IQ adjusted by the mother's education ( $p < 0.05$ ). In addition, 38.2% of the population had a low IQ, which was not associated with the BMI/age. The waist circumference was associated positively with the verbal comprehension index and negatively with the rate of processing speed adjusted by the mother's schooling ( $< 0.05$ ). Children with low zinc intake ( $< 6.6$  mg/d) had a lower IQ ( $< 0.05$ ). In conclusion, low intake and inadequate concentrations of zinc, as well as the large waist circumference were associated with low cognitive function in school-aged children from Querétaro.

**Key words:** obesity, overweight, zinc, cognitive function, school-age.

## Dedicatoria

*A mí misma, por creer en mí, por siempre lograr las metas que me he propuesto en la vida, por ser constante y dedicada y nunca rendirme ante los momentos difíciles.*

*A mis padres, por siempre creer en mí, por sus consejos, sus valores y la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor condicional. Por sus ejemplos de perseverancia y constancia que los caracterizan y que me han infundado siempre y por el valor mostrado siempre para salir adelante.*

*A Danny, quien ha sido un apoyo constante durante este proceso, gracias por tu amor incondicional.*

*A mis hermanos, por ser un pilar importante en mi vida, por su amor incondicional y su apoyo siempre.*

*A mis compañeros, que nos apoyamos mutuamente en nuestra formación profesional, los cuales se convirtieron en buenos amigos, gracias por su apoyo, sus risas y los momentos que compartimos juntos, gracias por ser más que compañeros de generación.*

## **Agradecimientos**

A la M. en C. Mariela Camacho Barrón por haberme apoyado a realizar la tomas las muestras de laboratorio, además de ayudarme a realizar los análisis de laboratorio.

A la M. en C. María del Carmen Caamaño Pérez por haberme apoyado con información estadística y sobre los análisis estadísticos.

Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por haberme permitido ser becario y poder realizar mis estudios de posgrado.

## Índice

Resumen .....	i
Summary .....	ii
Dedicatoria .....	iii
Agradecimientos.....	iv
Índice .....	v
Índice de tablas .....	vii
Índice de figuras .....	viii
Abreviaturas .....	ixx
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. ANTECEDENTES .....	3
2.1 Función cognitiva .....	3
2.2 Componentes de la función cognitiva .....	4
2.2.1 Percepción .....	4
2.2.2 Atención .....	4
2.2.3 Memoria .....	4
2.2.4 Lenguaje .....	5
2.3 Factores que afectan la función cognitiva .....	5
3. Obesidad: causas y consecuencias en escolares .....	7
3.1 Prevalencia de obesidad en México .....	9
3.2 Relación de la obesidad con la función cognitiva .....	9
3.3 Mecanismos de disfunción cognitiva en obesidad .....	11
3. Zinc en el organismo .....	13
3.1 Absorción y transporte .....	14
3.2 Contenido de zinc en los alimentos .....	16
3.3 Biodisponibilidad de zinc en la dieta mexicana .....	16
3.4 Prevalencia de deficiencia de zinc en México .....	17
3.5 Deficiencia de zinc .....	18
3.6 Relación del zinc con la función cognitiva .....	18
III.HIPÓTESIS .....	21

IV. OBJETIVOS .....	21
4.1 Objetivo general .....	21
4.2 Objetivos específicos .....	21
V. MATERIALES Y METODOS .....	22
5.1 Sujetos y población de estudio .....	22
5.2 Consideraciones éticas .....	22
5.3 Tamaño de muestra .....	22
5.4 Criterios de selección .....	23
5.4.1 Criterios de inclusión .....	23
5.4.2 Criterios de exclusión .....	23
5.4.3 Criterios de eliminación .....	23
5.5. Diseño del estudio .....	23
5.6 Cuestionarios .....	24
5.6.1 Historia clínica .....	24
5.6.2 Cuestionario de nivel socioeconómico .....	24
5.6.3 Evaluación de la dieta .....	24
5.6.4 Evaluación antropométrica .....	25
5.6.5 Evaluación de la función cognitiva .....	26
5.6.6 Evaluación bioquímica .....	28
6. Análisis Estadístico .....	28
VI. Resultados .....	29
6.1 Características generales de la población .....	29
6.2 Características de la alimentación de población .....	30
6.3 Biodisponibilidad de zinc en la dieta ..	35
6.4 Características de la función cognitiva .....	35
6.5 Relación sobrepeso, obesidad y función cognitiva .....	38
6.6 Relación zinc y función cognitiva .....	40
VII. Discusión .....	42
VIII. Conclusiones .....	47
IX. Referencias .....	48
X. Anexos .....	60

## Índice de tablas

<b>Tabla 1</b> Clasificación del Índice de Masa Corporal para la edad (IMC/edad) de acuerdo a la Organización Mundial de la Salud .....	25
<b>Tabla 2</b> Clasificación de la puntuación de la Escala de Inteligencia de Wechsler (WISC-IV).....	26
<b>Tabla 3</b> Pruebas que componen la Escala de Inteligencia de Wechsler .....	27
<b>Tabla 4</b> Descripción de las características generales de población de estudio (n=152) .....	29
<b>Tabla 5</b> Características generales del consumo diario de energía, macronutrientes y micronutrientes de acuerdo al índice de masa corporal (IMC) (n=152).....	32
<b>Tabla 6</b> Consumo diario por grupos de alimentos de niños escolares reportado de los cuestionarios de recordatorio 24 horas y de frecuencia de consumo.....	34
<b>Tabla 7</b> Descripción de las características de la Escala de Inteligencia de Wechsler (WISC-IV) de población escolar (n=152).....	36
<b>Tabla 8</b> Relación entre el índice de Masa Corporal para la edad, Circunferencia de Cintura e Índice Cintura-Talla en relación al Coeficiente Intelectual Total y sus índices cognoscitivos de población de estudio (n=152) .....	39
<b>Tabla 9</b> Relación entre el Coeficiente Intelectual Total (CIT) y sus índices cognoscitivos y el IMC para la edad en la población de estudio (n=152) .....	40
<b>Tabla 10</b> Relación entre el Coeficiente Intelectual Total (CIT) y sus índices cognoscitivos con deficiencia de zinc de una submuestra de la población de estudio (n=90) .....	41
<b>Tabla 11</b> Análisis de varianza del Coeficiente Intelectual Total (CIT) y sus índices cognoscitivos con el consumo de zinc de población de estudio (n=152).....	41

## Índice de figuras

<b>Figura 1</b> Prevalencia de sobrepeso y obesidad en escolares de acuerdo a la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición.....	9
<b>Figura 2</b> Adipocitocinas producidas por el adipocito .....	12
<b>Figura 3</b> Distribución porcentual del Estado de Nutrición .....	30
<b>Figura 4</b> Prevalencia de deficiencia de zinc de una submuestra de población de estudio (n=90) .....	30
<b>Figura 5</b> Distribución porcentual del consumo de zinc de población de estudio (n=152) .....	35
<b>Figura 6</b> Distribución porcentual de Coeficiente Intelectual Total (CIT) de población de estudio (n=152) .....	36
<b>Figura 7</b> Distribución porcentual del Coeficiente Intelectual Total (CIT) en relación al estado de nutrición (n=152) .....	37
<b>Figura 8</b> Distribución porcentual del Coeficiente Intelectual Total (CIT) en relación al consumo de zinc de población escolar (n=152) .....	37
<b>Figura 9</b> Distribución porcentual del Coeficiente Intelectual Total (CIT) en relación a la deficiencia de zinc de población escolar (n=90).....	38

## **Abreviaturas**

IMC – Índice de Masa Corporal  
IMC/edad- Índice de Masa Corporal para la Edad  
CC- Circunferencia de cintura  
MG – Materia gris  
SNC – Sistema Nervioso Central  
BSC – Barrera Sanguínea del Cerebro  
TNF-  $\alpha$  – Factor de Necrosis Tumoral alfa  
IL-6 – Interleucina 6  
IZINCG – Grupo Internacional Consultativo sobre Zinc  
ZnT – Transportadores de flujo de zinc  
Zip – Transportadores afluentes de zinc  
AMAI – Asociación Mexicana de agencias de Inteligencia de Mercado  
y Opinión  
OMS – Organización Mundial de la Salud  
CIT – Coeficiente Intelectual Total  
ICV – Índice de Comprensión Verbal  
IRP – Índice de Razonamiento Perceptivo  
IMT- Índice de Memoria de Trabajo  
IVP- Índice de Velocidad de Procesamiento  
Mg – Miligramo  
dL- Decilitro  
 $\mu$ g- Microgramo  
Cm- Centímetro  
Kg- Kilogramo

## I. INTRODUCCIÓN

México es uno de los países con alta prevalencia de sobrepeso y obesidad infantil según la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición de Medio camino 2016, y esta prevalencia aumenta cada año. Actualmente, tres de cada 10 niños de edad escolar (5-11 años) en el país padecen sobrepeso u obesidad (Hernández y col. 2016).

La obesidad es una enfermedad multifactorial, con un fuerte componente genético, cuya expresión ésta influida por factores ambientales, sociales, culturales y económicos entre otros, siendo la causa principal y determinante los estilos de alimentación y actividad física de la población (Obesidad y sobrepeso, OMS 2016). Trae consigo consecuencias cardiovasculares, metabólicas psicológicas y sociales (Lobstein, Baur, y Uauy, 2004). Se ha propuesto que la obesidad pudiera estar relacionada con alteraciones en la función del cerebro y deficiencia cognitiva y estos efectos pueden ser observados a través de la vida, desde la niñez a la adultez (Bocarsly y col. 2015).

Se ha observado que el exceso de grasa corporal puede afectar procesos en el sistema nervioso central, causando alteraciones en la estructura del cerebro y su función, incluyendo la disminución de la función cognitiva y del desarrollo neurológico. Sin embargo, los estudios se han llevado diferentes poblaciones y los resultados aún no son concluyentes (Galioto y col., 2012; Tikhonoff y col., 2015).

Por otro lado, la obesidad condiciona un estado de mala nutrición donde puede existir deficiencias de micronutrientes esenciales, esto debido a los estilos de alimentación de la población y a otros factores como el nivel socioeconómico (Corella y Ordovás, 2015). La malnutrición tiene graves consecuencias a corto y largo plazo en el crecimiento, la función inmune, el desarrollo motor, cognitivo y sexual, lo que puede afectar la funcionalidad del organismo (Salgueiro y col., 2004).

Una nutrición adecuada es necesaria para el funcionamiento y desarrollo normal del cerebro, y es esencial durante la infancia, la cual es un periodo crucial

para el desarrollo y funcionamiento cognitivo así como para habilidades socio-emocionales (Prado y Dewey, 2014).

El zinc es un nutrimento esencial para el funcionamiento del cuerpo y la función cerebral (Rubio y col. 2007). Su deficiencia se ha asociado con diferentes afecciones como problemas en el crecimiento, desarrollo motor, inmunidad así como con alteraciones neurodegenerativas con repercusión en la función cognitiva y alteraciones en el comportamiento de los niños (Mocchhegiani, Bertoni-Freddari, Marcellini, y Malavolta, 2005).

Los niños deben tener un estado de nutrición óptimo especialmente en la edad escolar, la cual es una etapa de crecimiento y desarrollo vulnerable donde se desarrollan habilidades cognitivas como el razonamiento, la memoria selectiva, las habilidades motoras, el lenguaje además de llevar a cabo procesos de aprendizajes complejos en su vida diaria.

Por lo tanto, la obesidad podría estar alterando los procesos cognitivos y el efecto puede ser mayor cuando la obesidad es acompañada con concentraciones inadecuadas de zinc.

Hasta la fecha, no existen estudios en que hayan asociado el sobrepeso, la obesidad y el zinc con la función cognitiva.

En México se han realizado algunos estudios de suplementación con zinc y su relación con la función cognitiva y el desempeño neuropsicológico, sin embargo solo uno evalúa el zinc en suero y lo relacionan con la función cognitiva en específico.

Tal es el caso del estudio que realizó Rosado y col. en 2007 en niños de 6 a 8 años de edad donde evalúa la exposición de arsénico y zinc en relación con el desempeño neuropsicológico. Los resultados muestran que una prevalencia alta de deficiencia de zinc, sin embargo no se encontró significancia estadística.

Por otro lado el impacto de la obesidad sobre aspectos cognitivos es particularmente importante ya que el aspecto educativo en la vida es un predictor

importante de salud a lo largo de toda la vida y puede predisponer a la población escolar a menor calidad de vida.

Establecer una asociación entre el sobrepeso, la obesidad en etapa escolar y aspectos cognitivos es importante en el análisis de costo-efectividad de las intervenciones de obesidad además de conocer las complicaciones que pudiera sufrir esta población.

## **II. ANTECEDENTES**

### **2.1 Función cognitiva**

La función cognitiva se refiere a aquellos mecanismos mentales que se encargan del procesamiento, integración, almacenamiento y recuperación de información. Incluye la percepción, atención, memoria y el lenguaje (Fuenmayor y Villasmil, 2008).

Estos son procesos que se ponen en funcionamiento cuando el ser humano observa, lee, escucha, mira y desempeñan un papel fundamental en la vida diaria, ya que el humano todo el tiempo, está percibiendo, atendiendo, pensando y utilizando la memoria y el lenguaje (Fuenmayor y Villasmil, 2008).

Además subyacen a funcionamientos más sofisticados como la lectura, la comprensión social o las creencias. Por lo que son procesos cognitivos constituyen la base a partir de la cual se entiende el mundo (Fuenmayor y Villasmil, 2008).

La cognición procesa la información. La información es la materia de la cognición; la cual es obtenida a través de los sentidos, transformada por medio de los procesos interpretativos de la percepción y el pensamiento, almacenada y recuperada por medio de procesos de memoria y usada en la solución de problemas y el lenguaje (Lahey, 2007).

## **2.2 Componentes de la función cognitiva**

### **2.2.1 Percepción**

Es el proceso de extracción activa de información de los estímulos del entorno, y la organización de representaciones para darle un significado. Presenta su origen en la interacción física que se da entre el medio y el organismo a través de los sentidos (vista, oído, olfato, gusto y tacto) (Puente, 1995).

Implica la decodificación cerebral y el encontrarle sentido a la información que se está recibiendo a través de los sentidos, de forma que pueda almacenarse, para después ser interpretada (Banyard y col. 1995; Arango y Pimienta, 2004).

### **2.2.2 Atención**

Es la capacidad de atender, de concentrarse, de mantener la alerta o de tomar consciencia selectivamente de un estímulo relevante o una situación (Puente, 1995).

Es también un mecanismo de regulación y control de otros procesos cognitivos, ya que está íntimamente ligado a la percepción en el sentido de que solemos atender a lo que percibimos o lo que interesa percibir en un momento determinado. Además condiciona otros procesos como la memoria o el lenguaje ya que éstos quedan comprometidos cuando los mecanismos de atención fallan (Puente, 1995).

### **2.2.3 Memoria**

Proceso psicológico que posibilita el almacenaje, la codificación y el registro de información, con la particularidad de que puede ser evocada para ejecutar una acción posterior, dar una respuesta, etc. Es un proceso característico del ser humano, sin el cual no se puede llevar a cabo ningún aprendizaje (Puente, 1995).

Es la facultad por medio de la cual se retiene y recuerda el pasado y se almacena el conocimiento que se tiene sobre algo y las interpretaciones que se hacen de ello (Fuenmayor y Villasmil, 2008).

El hipocampo es la estructura que se ha relacionado mayormente a la memoria, sin embargo también participan en este proceso estructuras como el cerebelo y áreas corticales (Arango y Pimienta, 2004).

#### **2.2.4 Lenguaje**

El lenguaje constituye una actividad intelectual compleja que desempeña un papel central en el comportamiento de los seres humanos. Por medio de él pensamos y nos comunicamos (Navarro, 2008).

Es un sistema flexible de signos vocales gráficos y gestos y reglas formales que permite representar y expresar ideas, pensamientos y sentimientos (Navarro, 2008).

#### **2.3 Factores que afectan la función cognitiva**

El aspecto cultural es una variable que afecta el desempeño neuropsicológico, por lo tanto afecta la conducta (Ostrosky-Solis y Oberg, 2006). Una variable estrechamente relacionada con el factor cultural es la escolaridad. Se ha señalado que ésta influye de manera significativa en la función neuropsicológica, ya que interviene en la aparición de diversas habilidades en el individuo (Ostrosky-Solis y col. 2010).

La escolaridad no solo se limita a la adquisición de la lectura, escritura y el cálculo, sino que también requiere del conocimiento del uso práctico y adaptación de las habilidades adquiridas al contexto y situaciones en las que éstas son útiles (Morais y Kolinsky, 2000).

Un estudio realizado en niños y adolescentes mexicanos de entre 6 y 15 años evaluó los efectos de la escolaridad sobre la atención, la memoria y las funciones ejecutivas, y concluyó que durante la niñez, la atención selectiva y sostenida, la memoria de trabajo y las funciones ejecutivas tienen un rápido desarrollo, que comienza desde edades tempranas y continúan hasta la adolescencia y que la escolaridad juega un papel importante para el perfeccionamiento de estos procesos cognitivos (Ostrosky-Solis, Lozano y Gómez, 2010).

Por otra parte, se sabe que la escolaridad está determinada por el estado socioeconómico. Un estado socioeconómico bajo tiene efectos negativos sobre el desarrollo y el crecimiento de los individuos (Letourneau, y col., 2011; Fortunato, Giatti, Chor, Azeredo y Barreto, 2014).

Además el estado socioeconómico tiene gran influencia sobre la calidad nutricional de la alimentación y su variedad (Corella y Ordovás, 2015).

Niños que viven en situación de pobreza reciben menor estimulación en casa, son mayormente expuestos al estrés y suelen presentar trastornos emocionales, disminución de atención y memoria, además de menores habilidades para aprender (Petterson y Burke, 2001). La pobreza también se ha asociado con desnutrición por dietas deficientes (Corella y Ordovás, 2015).

Sin embargo, en México la tasa de desnutrición ha disminuido, y por el contrario, ha aumentado el sobrepeso y obesidad (Hernández y col., 2016). Lo anterior representa un grave problema para el país debido a que existe doble carga de mala nutrición, que incluye la desnutrición por bajo consumo y la alimentación excesiva (sobrepeso y obesidad) (Velasco-Lavin, 2016).

Se ha visto que la dieta de personas con sobrepeso y obesidad suele ser más rica en embutidos, grasas saturadas y bebidas azucaradas; y pobre en frutas y verduras, pescados y otros alimentos saludables, lo que propicia carencias nutricionales (Corella y Ordovás, 2015) y esto a su vez puede provocar alteraciones en el organismo como problemas en el crecimiento, la función inmune, el desarrollo motor, cognitivo y sexual (Salgueiro y col., 2004).

La mala nutrición tiene graves consecuencias a corto y largo plazo en el crecimiento, la función inmune, el desarrollo motor, cognitivo y sexual (Salgueiro y col., 2004).

Una nutrición adecuada es necesaria para el funcionamiento y desarrollo normal del cerebro, y es esencial durante la infancia, la cual es un periodo crucial

para el desarrollo y funcionamiento cognitivo así como para habilidades socio-emocionales (Prado y Dewey, 2014).

El cerebro necesita de nutrientes para realizar sus funciones y mantener su estructura. Algunos de los nutrientes esenciales son: proteína, hierro, zinc, ácido fólico, vitamina A, selenio, yodo, cobre entre otros (Benton D., 2010).

Entre los micronutrientes más estudiados se encuentra el hierro. Este mineral es un componente estructural esencial el cual transporta oxígeno a todos los órganos incluyendo al cerebro, la deficiencia de hierro en la edad escolar se asocia con problemas de crecimiento y desarrollo motor, retardo mental (Lozoff y col. 2006), menor aprendizaje (Haltermann, Kaczorowski, Aligne, Auiger, y Szilaggy,, 2001) y menor desempeño cognitivo en niños escolares (Ruiz, 2005).

Otro de los micronutrientes que se ha relacionado con la función cerebral es el zinc, el cual se encuentra formando parte de la estructura del cerebro, además de participar en diversos procesos fundamentales cerebrales (Stanco, 2010).

Por lo que deficiencias nutricionales durante la infancia pueden tener un impacto negativo en la estructura o función del cerebro (González H. F., Visentin S., 2016), afectando la cognición, el comportamiento y la productividad (Prado y Dewey, 2014).

Para efectos de este trabajo se tomó en cuenta el sobrepeso, la obesidad y el zinc como factores que pudieran afectar la función cognitiva.

### **3. Obesidad: causas y consecuencias en escolares**

La obesidad es conocida como la gran epidemia del siglo XXI y afecta indistintamente a mujeres y hombres, adultos, adolescentes y niños alrededor del mundo (Mercado y Vilchis, 2013).

En México constituye un problema de salud pública tanto en población adulta como en población infantil (Bersh, 2006; Mestas, Gordillo, Arana y Salvador, 2012; Acosta-Hernández, 2013).

De acuerdo a la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición desde el año 2006 a la actualidad se ha reportado un aumento importante en la prevalencia combinada de sobrepeso y obesidad en todos los grupos de edad (Gutiérrez y col. 2012).

En cuanto a población escolar de acuerdo a la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2016 hubo un aumento de 0.7 puntos porcentuales en la prevalencia de obesidad en población escolar (Hernández y col. 2016).

La obesidad es una enfermedad multifactorial con un fuerte componente genético, cuya expresión ésta influida por factores ambientales, sociales, culturales y económicos (García-García y col. 2008).

Sin embargo una de las causas principales es el desequilibrio entre el consumo de energía y el gasto energético debido a: 1) un aumento en la ingesta de alimentos de alto contenido energético, como alimentos ricos en grasa y azúcares y 2) una disminución de actividad física debido a la creciente urbanización y avance tecnológico (Obesidad y Sobrepeso, OMS, 2017).

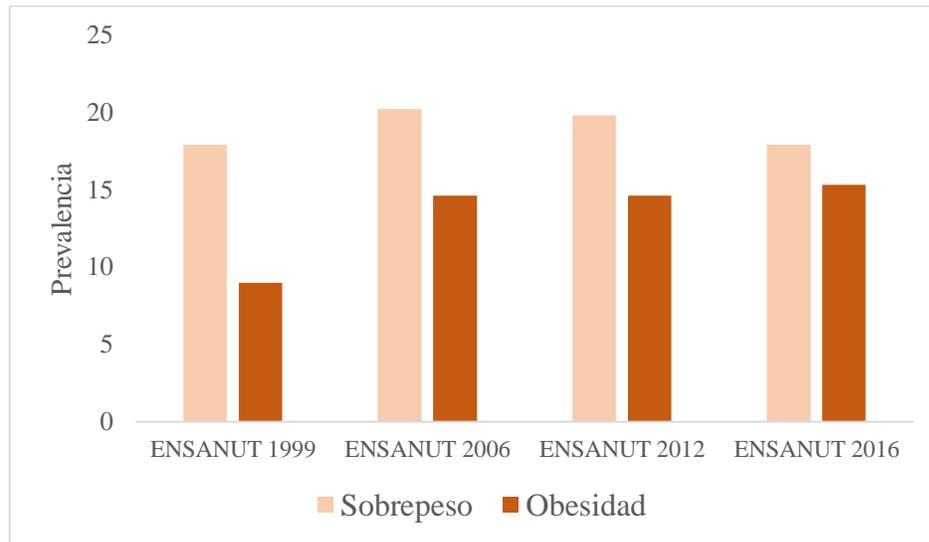
El sobrepeso y la obesidad se asocian con el incremento de enfermedades del corazón, arterioesclerosis, hipertensión arterial y diabetes mellitus (entre otras) en edad temprana y adulta y se consideran un factor de riesgo de mortalidad y morbilidad (Freedman, Kettel, Dietz, Srinivasan y Berenson, 2001; Lobstein y col. 2004).

Además se asocian con problemas psicológicos y sociales como desórdenes de alimentación, baja autoestima, depresión y exclusión social (Kumanyika y col. 2008).

Sin embargo, se ha sugerido que el exceso de grasa corporal pudiera estar relacionado con alteraciones en la estructura del cerebro y alteraciones cognitivas (Stanek y col., 2011; Bauer y col., 2014).

### 3.1 Prevalencia de obesidad en México

En México, la prevalencia combinada de sobrepeso y obesidad en mujeres y hombres adultos es de 73% y 69.4%, respectivamente. Por lo que 7 de cada 10 adultos en México presentan sobrepeso u obesidad (Gutiérrez y col. 2012).



**Figura 1 Prevalencia de sobrepeso y obesidad en escolares de acuerdo a la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición**

De acuerdo a las encuestas nacionales de salud y nutrición desde el año 1999 México presenta elevadas cifras de sobrepeso y obesidad en población infantil (Figura 1).

En 2016 la prevalencia de obesidad en población escolar de 5-11 años de edad aumentó 0.7 puntos porcentuales en 2016 con respecto a los datos reportados en 2012, con lo cual aumenta el riesgo cardiovascular en esta población (Gutiérrez y col., 2012).

La prevalencia combinada de sobrepeso y obesidad fue mayor en localidades urbanas que en las rurales (4.9 y 29.0% respectivamente).

### 3.2 Relación de la obesidad con la función cognitiva

Se sabe que el exceso de grasa corporal puede causar daño a diversos tejidos en el organismo (Panacciulli y col., 2006). Por lo que se ha relacionado que

la obesidad pudiera estar relacionada con alteraciones en la estructura y función del cerebro así como con déficit cognitivo (Stanek y col. 2011; Sellbom y Gunstad, 2012; Arnoldussen, Kiliaan y Gustafson 2014).

En vías de confirmar esta posible relación se han realizado estudios *in vivo* y en diferentes poblaciones.

En un estudio *in vivo* donde se utilizó un modelo de obesidad, se demostró que antes de que las ratas presentaran alguna complicación cardiovascular, presentaban retrasos en tareas cognitivas, lo que se asoció con pérdida de sinapsis así como alteraciones en estructuras del cerebro. Estos resultados sugieren que la obesidad debe ser considerada como un factor que contribuye a la disfunción del cerebro (Bocarsly y col. 2015).

Pannacciulli y col. 2006 observó que adultos obesos americanos presentaban alteración en la densidad de materia gris en regiones del cerebro relacionadas a la cognición (hipocampo, la corteza prefrontal y el córtex), las cuales participan en la atención y las funciones ejecutivas, esto en comparación con sujetos con peso normal.

De igual manera Raji y col. 2010 encontró que individuos obesos presentaban atrofia en estructuras cerebrales como el hipocampo, región relacionada con la memoria.

Por otro lado, Tikhonoff y col. 2015 encontró que sujetos con IMC elevado presentaban mejor desempeño en tareas cognitivas como tareas de atención y funciones ejecutivas, Galioto y col., 2012 no encontró diferencias en la función cognitiva de sujetos obesos.

En población escolar, Bauer y col. 2014 encontró que niños mexicanos de 6-8 años de edad con sobrepeso y obesidad presentaban diferencias en estructuras cerebrales relacionadas con el aprendizaje y la memoria (hipocampo) así como también menor desempeño en la función ejecutiva en comparación con niños de peso normal.

De igual manera Bozkurt y col. 2016 observó que niños y adolescentes de 8-16 años de edad obesos presentaban menor desempeño en dominios cognitivos como la memoria, velocidad de procesamiento, atención, función ejecutiva, flexibilidad cognitiva.

En otro estudio donde se evaluó la función neuropsicológica de niños obesos y no obesos, no se encontró diferencias entre grupos en los dominios de memoria, inteligencia y fluidez verbal, sin embargo los niños que tenían obesidad presentaron menor desempeño en atención (Cserjési, Molnar, Luminet y Lénard, 2007).

De acuerdo a estos hallazgos reportados hasta el momento pareciera que la obesidad pudiese tener algún efecto en la función cognitiva sin embargo, los resultados hasta el momento no son concluyentes ya que se han encontrado diferencias tanto positivas como negativas.

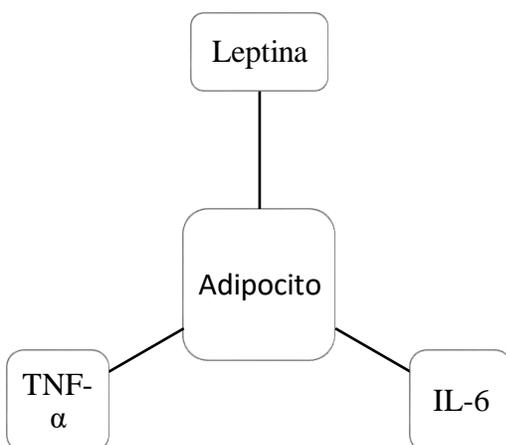
### **3.3 Mecanismos de disfunción cognitiva en obesidad**

Diferentes mecanismos han sido descritos para explicar la relación entre obesidad y las alteraciones neurocognitivas. Se ha sugerido la posibilidad de que mecanismos fisiológicos directamente relacionados con tejido adiposo elevado pudieran explicar estas relaciones (Sellbom y Gunstad, 2012).

El tejido adiposo se considera como el mayor órgano endócrino, principalmente el tejido adiposo blanco, el cual secreta cientos de hormonas, péptidos y citocinas a las cuales se refiere como adipocitocinas (Arnoldussen, Kiliaan y Gustafson, 2014; Ahima y col., 2000).

Estas adipocitocinas afectan procesos en la periferia y en el sistema nervioso central (Arnoldussen y col., 2014). Se sabe que interactúan con ciertas áreas del cerebro. Esto resulta en alteraciones en el comportamiento alimenticio, neurodegeneración, plasticidad sináptica, neurogénesis y déficit cognitivo (Doherty, Lawrence y Prentice, 2002; Arnoldussen y col., 2014).

Algunas de las adipocitocinas que se ha visto pudieran intervenir mayormente en la función cerebral se incluyen en la figura 2.



**Figura 2 Adipocitocinas producidas por el adipocito**

**Fuente:** modificado de: Ahima y Flier, 2000.

La leptina es una hormona proteica que interactúa con áreas específicas del cerebro como el hipotálamo y el hipocampo (Peiser, McGregor y Lang, 2000); regula el consumo y gasto de energía así como el control de peso corporal a nivel del cerebro, a través de la vía de supresión e inducción de la expresión de neuropéptidos selectivos (Ahima, 2006).

La resistencia a la leptina o concentraciones bajas de la misma en individuos obesos puede tener un efecto negativo sobre la retroalimentación del consumo de energía afectando procesos de memoria, neurogenesis, neuroprotección y estructuras del cerebro, esto lo hace a través de su receptor LepRb el cual inhibe la expresión de neuropeptidos orexigenicos y estimulando la expresión de neuropeptidos anorexigenicos (Jéquier, 2002).

La interleucina 6 (IL6) es producida por adipocitos, macrófagos y células T, y participa en la fase de inflamación. En el hígado, estimula la producción de proteína C reactiva y fibrinógeno (Das, 2001). Se le atribuye la inflamación de bajo grado que se observa en población con obesidad (Stelzer y col., 2012).

Se ha encontrado una relación entre niveles elevados en plasma de IL-6 y bajo volumen de materia gris en el hipocampo en adultos de mediana edad. Estos hallazgos pudieran indicar que la IL-6 periférica podría mediar la disminución cognitiva observada en individuos con obesidad (Marsland, Gianaros, Abramowitch, Manuck y Hariri, 2008).

Además el hipocampo es particularmente vulnerable a los efectos adversos de la IL-6, por lo que se ha propuesto que pudiera también inhibir la neurogénesis y disminuir la plasticidad sináptica así como alterar procesos de memoria (Yaffe y col. 2004).

El factor de necrosis tumoral alfa (TNF- $\alpha$ ) regula la fase aguda de la inflamación y es un importante mediador de inflamación crónica en obesidad encontrado en la periferia y en el hipotálamo (Das, 2001). Dentro del cerebro regula la transmisión sináptica, la plasticidad sináptica y la neurogénesis, como resultado de estas regulaciones puede ejercer acciones de neuroprotección o neurotóxicas (Schipper y col. 2012).

### **3. Zinc en el organismo**

El zinc es uno de los elementos esenciales más abundantes en el cuerpo humano. El contenido de zinc varía entre 1 y 2.5 g (Rubio y col., 2007), lo que lo hace el segundo oligoelemento en relación a la cantidad total en el organismo, superado tan solo por el hierro (Bem, Orłowski, Piotrowski, Januszewski y Pajak, 1993).

El zinc es necesario para diversos procesos metabólicos ya que al ser un ion participa en procesos estructurales, catalíticos y de regulación (King, 2011).

Entre los procesos bioquímicos en los que interviene se encuentra la respiración celular (Rubio y col. 2007), la división y proliferación celular, por ejemplo de las células con rápido intercambio, tales como las de la mucosa intestinal (Romaña, Castillo y Diazgranados, 2010).

El zinc interviene también en la reproducción tanto de ADN como de ARN, ya que es capaz de activar e inhibir los factores de transcripción responsables de

regular la expresión genética, por lo cual su deficiencia puede reflejar alteraciones en la transcripción genética de algunas proteínas (Stanco, 2010).

Adicionalmente, forma parte de la estructura de las proteínas mediante los dedos de zinc, lo que le permite a las proteínas unirse y formar complejos con otras proteínas (King, 2011).

Además de intervenir en el mantenimiento de la integridad de la membrana celular y la eliminación de radicales libres (Rubio y col. 2007), y actúa como cofactor de al menos 300 enzimas. Dentro de estas enzimas se encuentran aldolasas, deshidrogenasas, esterasas, peptidasas, fosfatasa alcalina, anhidrasa carbónica, superóxido-dismutasa y ADN y ARN polimerasas, las cuales actúan en el metabolismo energético de hidratos de carbono, en las reacciones de biosíntesis y degradación de proteínas, en procesos biosintéticos de ácidos nucleicos (Rubio y col. 2007).

Dentro de los procesos fisiológicos en los cuales actúa el zinc como coenzima, se encuentra la producción de los ácidos grasos poliinsaturados en el organismo. Estos ácidos grasos son necesarios para la adecuada función del cerebro, para potenciar el desarrollo y la diferenciación de las neuronas (Benages, 2009).

Por lo tanto, el zinc es esencial para la regulación de numerosos aspectos de la función celular y el metabolismo, por lo que múltiples funciones del organismo se ven afectadas por su deficiencia, incluyendo el crecimiento físico, la inmunidad, función reproductiva y el desarrollo neurocognitivo (King y col. 2016).

### **3.1 Absorción y transporte**

El zinc se absorbe a lo largo de todo el tracto intestinal; entre el 3 y el 38% del zinc de la dieta se absorbe en el tubo digestivo proximal (Cousins, 1985). Sin embargo, la mayor cantidad de zinc se absorbe en el duodeno ya que ahí se encuentra la mayor concentración de zinc después del consumo de alimento (King y col. 2016). Esta absorción se lleva a cabo a través de transportadores específicos

los cuales regulan los niveles de zinc en el organismo (Cousins, Liuzzi y Lichten, 2006). Estos transportadores son:

- **Transportadores de flujo de zinc (ZnT):** estos transportadores acarrear el zinc y otros metales como el hierro desde el citoplasma hacia a fuera de la célula o hacia el lumen intracelular. Se conocen 10 transportadores de ZnT.
- **Transportadores afluentes de zinc (Zip):** transportadores de membrana que acarrear solutos que se localizan en la membrana y transportan al zinc al citoplasma desde los organelos celulares o el espacio extracelular. Se conocen 14 transportadores Zip.

La captación de zinc en las células intestinales ocurre a través de dos mecanismos:

- **Saturado o mediado por transportadores:** Después de que el zinc es absorbido en el enterocito, dos proteínas (metalotioneína y el transportador ZnT7) influyen el movimiento del zinc dentro de la célula. El transportador ZnT1 facilita la transferencia de zinc desde el enterocito a la circulación (King, 2011).
- **No mediado o proceso pasivo:** En el lumen intestinal cantidades de zinc son absorbidas mediante mecanismos pasivos, sin regulación, lo que ocurre cuando hay gran consumo de zinc y por lo tanto la absorción de zinc aumenta (Benoist y col. 2007). La absorción está regulada por la síntesis de la metalotioneína, proteína que actúa como ligando de diferentes metales divalentes como el zinc, cobre y cadmio (Cousins, 1985).

La homeostasis del zinc se controla principalmente por medio de la excreción a través del tracto gastrointestinal. En cantidades muy bajas de zinc (<2 mg/dL), la secreción de zinc en la luz intestinal disminuye así como las pérdidas endógenas de zinc fecal. Por el contrario, cuando el consumo de zinc aumenta, las

pérdidas endógenas de zinc incrementan y mantienen la homeostasis en el organismo. (King y col. 2016).

### **3.2 Contenido de zinc en los alimentos**

El zinc está extensamente distribuido en alimentos, pero tal como ocurre con otros elementos, los contenidos son muy variables. En general, los productos de origen marino seguidos por los productos cárnicos son los que presentan mayor concentraciones de zinc como son mariscos, crustáceos y pescados, carne de res, pollo, cerdo, y en menor cantidad derivados lácteos, huevos y cereales integrales (King y col., 2016; Rubio y col., 2007).

Los cereales, las nueces y las leguminosas contienen menor cantidad de zinc además que se absorbe en menor concentración que los que provienen de fuentes animales (Arsenault y Brown, 2003).

### **3.3 Biodisponibilidad de zinc en la dieta mexicana**

La deficiencia de zinc se debe principalmente a una ingesta insuficiente. Por lo que su estado nutricional depende de la cantidad ingerida y de su biodisponibilidad (Rosado, 1998). Los alimentos de origen animal, principalmente carnes, mariscos y pescado son fuentes ricas en zinc y su biodisponibilidad es alta ya que durante su digestión se liberan ciertos aminoácidos y péptidos que contienen lisina y que forman complejos solubles con el zinc (Sandstrom, Arvidsson y Cederblad, 1980).

En México, gran parte de la población tiene un consumo bajo de alimentos de origen animal, en particular las poblaciones rurales y/o marginal urbana, y también poblaciones cuyo estado socioeconómico es bajo y cuya dieta se basa principalmente en cereales y leguminosas (Rosado, 1998; López-Olmedo y col. 2016).

Estas dietas presentan concentraciones elevadas de ácido fítico y de fibra dietética, factores que inhiben la absorción de zinc ya que forman complejos insolubles a pH fisiológico (Rosado, 1998).

Otro factor de la dieta mexicana que puede afectar la absorción de zinc es el elevado consumo de calcio, cuyos niveles elevados en la dieta pueden formar complejos de calcio:zinc:fitatos los cuales pueden inhibir la absorción de zinc (Rubio y col. 2007).

La absorción de zinc dependerá de las cantidades que haya en la dieta y de la presencia de sustancias que interfieran con su absorción (Benoist y col. 2007).

### **3.4 Prevalencia de deficiencia de zinc en México**

La deficiencia de micronutrientes es un problema de salud pública en diversas regiones del mundo, no solo en comunidades empobrecidas sino también en poblaciones de países desarrollados (Shamah-Levy y col. 2012).

Las principales causas de las deficiencias de micronutrientes son una ingesta inadecuada, baja calidad de la alimentación, baja biodisponibilidad (Romaña, Olivares y Brito, 2015) o bien un aumento en las necesidades del organismo (Rosado, 1998).

En México existen pocas evaluaciones de deficiencia de zinc en la población. De acuerdo a la Encuesta Nacional de Nutrición de 1999, la deficiencia de zinc fue la segunda deficiencia más común después del hierro, con una prevalencia de 34% en infantes <2 años de edad y 24% en niños de edad escolar (Rivera y col. 2001).

Posteriormente, en 2006 se encontró una prevalencia de deficiencia de zinc de 26.4% en adolescentes y 23.6% en escolares de 5 a 11 años de edad (Shamah-Levy y col. 2012) por lo que tuvo una disminución de 4 puntos porcentuales en 7 años. Sin embargo, la prevalencia continúa siendo de alto riesgo para población escolar y adolescente.

De acuerdo al Grupo Internacional Consultativo sobre Zinc (IZINCG por sus siglas en inglés) se considera que existe riesgo en la población cuando la deficiencia de zinc se encuentra por arriba del 20% (Benoist, Darnton, Davidsson, Fontaine y Christine, 2007).

### **3.5 Deficiencia de zinc**

La deficiencia de zinc está asociada con consecuencias importantes en la salud y a la funcionalidad de los individuos, especialmente durante las primeras etapas de la vida (Rosado, 1998), ya que juega un papel importante en la altas tasas de mortalidad y morbilidad infantil en países en desarrollo.

Debido a que no hay reserva funcional o almacén en el organismo es necesario un consumo dietario adecuado y regular (King, 2011). La deficiencia de zinc ocurre en individuos o poblaciones en los cuales su dieta se basa en poco consumo de alimentos con alto contenido de zinc y rica en cereales refinados (Warthon y col. 2015).

A nivel celular la deficiencia de zinc provoca alteraciones en la formación de diferentes células (células T y las células B), provoca daño en las células epidérmicas, ya que afecta al epitelio e interfiere con otros mediadores celulares como citocinas que permiten la defensa ante diferentes infecciones (Doherty y col. 2002). También se ha visto que puede alterar el crecimiento (Stanco, 2010).

### **3.6 Relación del zinc con la función cognitiva**

El zinc es esencial para la estructura y función de un gran número de proteínas regulatorias, estructurales y catalíticas (Stanco, 2010; Rubio y col., 2007).

Debido a que se encuentra formando parte importante del cerebro como ión libre ( $Zn^{2+}$ ), se moviliza intracelularmente con facilidad. Está contenido en vesículas sinápticas de terminales glutaminérgicas de neuronas de estructuras límbicas llamadas también “contenedoras de zinc” (Frederickson, Suh, Silva, Frederickson y Thompson 2000).

La acumulación de zinc dentro de estas neuronas parece estar influenciado por el ZnT-3 (Wenze, Cole, Born, Schwartzkroin y Palmiter, 1997).

Durante la actividad neuronal es liberado de las neuronas contenedoras, esto le permite actuar como señalizador, en la síntesis de neurotransmisores (Sensi,

2011) en el proceso de mielinización (Sandstead, 2000) y en el desarrollo y funciones del sistema nervioso central (Salgueiro y col., 2002).

Lo que indica que puede ser un modulador de la excitabilidad neuronal (Frederickson y col., 2000).

Se sabe que los circuitos neuronales de las neuronas contenedoras de zinc se asocian con la memoria, el comportamiento, las emociones y la función cognitiva (Takeda, 2001).

La deficiencia de zinc puede afectar la homeostasis del cerebro y conducir a reducciones de la neurogénesis y la supervivencia neuronal (Gao y col. 2009) alterando la función cerebral y cognitiva (Sandstead, 2003).

Se ha visto que la deficiencia de zinc afecta específicamente los dominios de memoria y atención, así como el aprendizaje y el comportamiento neuropsicológico (Sachdev, Gera y Nestel, 2004).

Sandstead y col. 1998 estudio el efecto de la repleción de zinc sobre el rendimiento neuropsicológico y el crecimiento de niños de entre 6 y 9 años provenientes de familias urbanas y rurales de bajos ingresos de China con una batería de tests neuropsicológicos. Se administró una dosis de 20 mg/día de zinc y otros micronutrientes.

Los resultados mostraron que el grupo que recibió zinc con micronutrientes presentó un mejoramiento significativo en la memoria, el razonamiento y la función psicomotora. El grupo que solo recibió zinc únicamente comparado con el grupo que solo recibió micronutrientes mejoró la atención, percepción, el razonamiento y la función psicomotora.

Por otro lado Penland y col. 2000 evaluaron el posible beneficio de una suplementación de zinc en niños México-americanos de entre 6 y 9 años con riesgo de padecer deficiencia de zinc por dieta habitual con alto contenido de fitato, Por lo que se evaluó simultáneamente la deficiencia de hierro y otros micronutrientes. La

suplementación con zinc más otros micronutrientes produjo una mejoría significativa en el razonamiento de los niños.

Hubbstait y col. 2007 evaluaron la relación entre zinc, hierro y plomo en la cognición y el comportamiento de niños de entre 3 a 5 años de centros rurales en Oklahoma, Estados Unidos. Se les midió la función cognitiva con una escala de inteligencia. Se encontró asociación entre las concentraciones de zinc y la escala de inteligencia, los niños presentaron una mejora de habilidades verbales y perceptuales.

Estos estudios indican que la suplementación con zinc produce mejoras en dominios cognitivos y en la función cognitiva en población escolar.

En México existen pocos estudios que hayan medido las concentraciones de zinc en suero y lo hayan relacionado con la función cognitiva (Rosado y col., 2007), ya que la mayoría de los estudios que hay se enfocan en la suplementación de zinc a individuos sanos.

### **III.HIPÓTESIS**

El sobrepeso, la obesidad y las bajas concentraciones de zinc disminuyen la función cognitiva de niños escolares de 6 a 10 años.

### **IV. OBJETIVOS**

#### **4.1 Objetivo general**

Conocer la relación entre sobrepeso, obesidad, y zinc con la función cognitiva de escolares de la ciudad de Querétaro.

#### **4.2 Objetivos específicos**

- Evaluar el estado de nutrición en población escolar
- Evaluar las concentraciones séricas de zinc en población escolar
- Evaluar la alimentación de población escolar
- Evaluar la función cognitiva de población escolar
- Relacionar el sobrepeso, la obesidad y el zinc con la función cognitiva

## **V. MATERIALES Y METODOS**

### **5.1 Sujetos y población de estudio**

Participaron 152 niños de edad escolar de tres escuelas primarias públicas y urbanas de la ciudad de Querétaro, las cuales se seleccionaron por medio de aleatorización simple. Los tres planteles pertenecen a un nivel socioeconómico medio-bajo.

Los padres de familia y tutores fueron invitados a participar con sus hijos. Para ello se convocó a una reunión informativa en cada plantel educativo en donde se les explicó de manera oral y escrita el propósito y los objetivos del estudio, así como los procedimientos a seguir.

Aquellos padres de familia o tutores que aceptaron participar en el estudio, firmaron la carta de consentimiento informado. Posteriormente se les informó a los niños (as) participantes en qué consistía el estudio y los procedimientos que se llevarían a cabo, a fin de que ellos no participaran en contra de su voluntad.

### **5.2 Consideraciones éticas**

El estudio fue aprobado por el Comité de Bioética de la Facultad de Ciencias Naturales, de la Universidad Autónoma de Querétaro (No. De registro: 84FCN2016).

Además, el proyecto se realizó de acuerdo a los lineamientos de la Declaración de Helsinki, que considera que el propósito de la investigación médica en seres humanos es comprender las causas, evolución y efectos de las enfermedades y mejorar las intervenciones preventivas, diagnósticas y terapéuticas (métodos, procedimientos y tratamientos) (Mazzanti, 2011).

### **5.3 Tamaño de muestra**

El tamaño de muestra se calculó para conocer la media de función cognitiva por medio de la fórmula de comparación de dos medias de grupos independientes considerando una desviación estándar de 12 y una diferencia esperada de 6. Se

consideró una significancia estadística de 0.05 y un poder estadístico de 0.80. Se consideró el 5% de pérdida de sujetos para un total de 152 participantes.

## **5.4 Criterios de selección**

### **5.4.1 Criterios de inclusión**

- Aceptación por parte del padre/madre de la participación de su hijo(a) en el estudio y firma de la carta de consentimiento informado.
- Niños y niñas con edad escolar entre 6 y 10 años.

### **5.4.2 Criterios de exclusión**

- Niños (a) con alteraciones sensoriales, neurológicas o psiquiátricas: parálisis cerebral, deficiencia motor central, epilepsia, autismo, etc.
- Niños (a) con diagnóstico de enfermedad crónica en el último año como asma, diabetes, fibrosis quística, cáncer.

### **5.4.3 Criterios de eliminación**

- Niños con cuestionarios incompletos
- Niños que presentaron algún criterio de exclusión durante el estudio
- Niños que por alguna razón decidieron no continuar en el estudio

## **5.5. Diseño del estudio**

Todos los niños participaron previo consentimiento informado con la autorización de los padres en un estudio observacional transversal.

A las madres de los niños se les realizó una historia clínica de sus hijos, así como cuestionarios de nivel socioeconómico y del tipo de alimentación de los menores.

Una vez aplicados los cuestionarios, se citó a los niños en la escuela primaria correspondiente, donde se les realizaron medidas antropométricas que incluyeron peso, talla y circunferencia de cintura a fin de conocer su estado de nutrición.

Se realizó un análisis bioquímico para la medición de zinc y posteriormente la medición de la función cognitiva.

## **5.6 Cuestionarios**

### **5.6.1 Historia clínica**

Se aplicó un cuestionario de historia clínica para conocer los antecedentes patológicos del menor con el fin de obtener información acerca de su estado general de salud, de enfermedades que haya tenido a lo largo de su vida y también conocer sus antecedentes familiares (Anexo 1).

### **5.6.2 Cuestionario de nivel socioeconómico**

El nivel socioeconómico es el nivel de bienestar del hogar y cubre aspectos relacionados con las condiciones de vivienda, condiciones de hacinamiento y propiedad (Anexo 2).

En México el nivel socioeconómico se mide a través de la regla de la Asociación Mexicana de Agencias de Inteligencia de Mercado y Opinión (AMAI) y para efectos de éste proyecto se utilizó la regla 6x4. Esta regla es un índice que clasifica a los hogares en seis niveles, considerando nueve características o posesiones del hogar y la escolaridad del jefe de familia o persona que más aporta al gasto familiar (AMAI 2016).

### **5.6.3 Evaluación de la dieta**

La dieta se evaluó utilizando una frecuencia de consumo de alimentos (Anexo 3), así como tres recordatorios 24 horas (Anexo 4), uno de fin de semana y dos de entre semana a fin de evaluar el tipo de alimentación de los escolares además de conocer la ingesta de zinc de la población.

Se consideró los valores de referencia de la Ingesta Diaria Sugerida de para niños y niñas mexicanos de 4 a 10 años de edad de 6.6 mg/día (Meléndez, 2008).

#### 5.6.4 Evaluación antropométrica

Las medidas antropométricas de peso, talla y circunferencia de cintura (CC) se tomaron de acuerdo a los procedimientos estandarizados establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS) (OMS, 1992). Todas las medidas se realizaron por duplicado en forma no consecutiva por la misma persona previamente estandarizada.

El peso se tomó con una báscula eléctrica (Seca-erecta 844, Seca, Hanover MD) con capacidad para 140 Kg y una precisión de 10 g. Los niños fueron pesados con la menor cantidad de ropa posible y sin la presencia de algún objeto pesado. Fueron colocados descalzos en el centro de la báscula, en posición de firmes con los brazos en los costados, inmóviles y erguidos; manteniendo la vista al frente.

Para la talla se utilizó un estadímetro (Seca-bodymeter 208, 26 Seca, Hanover MD), de 2 metros de capacidad y una precisión de 0.1 cm. Los niños fueron medidos descalzos con/sin calceta delgada, colocados sobre el piso en base dura y horizontal. Se colocaron pegados a la pared, con talones, glúteos, hombros y cabeza en contacto con el plano vertical, en postura erguida, con los pies juntos a nivel de los tobillos y los brazos colgados a los costados.

Para el diagnóstico nutricional se utilizó el IMC/edad, el cual es la relación entre el peso (en kilos) y la longitud en posición recostada o la estatura en posición vertical (en metros<sup>2</sup>). Se tomó en cuenta los datos de referencia sobre el crecimiento de niños y adolescentes de entre los 5 y 19 años de la OMS (Tabla 1) (Obesidad y sobrepeso, OMS 2016).

**Tabla 1 Clasificación del Índice de Masa Corporal para la edad (IMC/edad) de acuerdo a la Organización Mundial de la Salud**

Sobrepeso	>+1DE	Equivale al percentil 85.	Equivale a IMC 25 kg/m <sup>2</sup>
Obesidad	>+2DE	Equivale al percentil 97.9	Equivale a IMC 30 kg/m <sup>2</sup>

**Fuente:** OMS 2016

### 5.6.5 Evaluación de la función cognitiva

La función cognitiva de los escolares se midió aplicando la Escala de Inteligencia de Wechsler o WISC-IV para niños en nivel escolar en su cuarta edición estandarizada para población mexicana (Anexo 5) (Wechsler, 2007).

Esta escala es un amplio instrumento clínico de aplicación individual para evaluar la inteligencia en niños de 6 años 0 meses a 16 años 11 meses de edad. La prueba da como resultado la medida del coeficiente intelectual total (CIT) y cuatro dominios cognoscitivos: índice de comprensión verbal (ICV), índice de razonamiento perceptivo (IRP), índice de memoria de trabajo (IMT) y índice de velocidad de procesamiento (IVP) (Wechsler, 2007).

El CIT es una medida útil y eficaz para la medición del funcionamiento intelectual general, por lo tanto de la función cognitiva. Para efectos de este proyecto se evaluó la función cognitiva a través del CIT y sus dominios cognoscitivos.

El CIT se obtiene de las sumas combinadas de las puntuaciones escalares obtenidas de los ítems que conforman cada dominio cognoscitivo: ICV, IRP, IMT e IVP (Tabla 2) (Wechsler, 2007).

**Tabla 2 Clasificación de la puntuación de la Escala de Inteligencia de Wechsler (WISC-IV)**

<b>Puntuación</b>	<b>Clasificación</b>
<b>130 y superior</b>	Muy superior
<b>120-129</b>	Superior
<b>110-119</b>	Medio alto
<b>90-109</b>	Medio
<b>80-89</b>	Medio bajo
<b>70-79</b>	Inferior
<b>69 e inferior</b>	Muy bajo

**Fuente:** *Wechsler, 2007*

La escala está formada por 15 pruebas, 10 subpruebas esenciales y cinco suplementarias (Tabla 3).

**Tabla 3 Pruebas que componen la Escala de Inteligencia de Wechsler**

<b>Dominio cognitivo</b>	<b>Pruebas</b>
<b>ICV</b>	Semejanzas Vocabulario Comprensión Información Palabras en contexto
<b>IMT</b>	Retención de dígitos Sucesión de números y letras Aritmética
<b>IRP</b>	Diseño de cubos Conceptos con dibujos Matrices Figuras incompletas
<b>IVP</b>	Claves Búsqueda de símbolos Registros

**Fuente:** *Wechsler, 2007*

Descripción de los índices cognoscitivos del Coeficiente Intelectual Total

- **Índice de Comprensión Verbal:** formación de conceptos verbales, razonamiento verbal y conocimiento adquirido del propio ambiente. Miden la capacidad verbal utilizando razonamiento y organización perceptual.
- **Índice de Razonamiento Perceptivo:** mide el razonamiento perceptual y fluido, procesamiento espacial e integración visomotora.
- **Índice de Memoria de Trabajo:** mide la memoria de trabajo del niño que implica atención concentración, control mental y razonamiento.
- **Índice de Velocidad de Procesamiento:** capacidad del niño para rastrear, secuenciar o discriminar de manera rápida y correcta la información visual simple. Además de la memoria visual a largo plazo, atención y coordinación visomotora.

### **5.6.6 Evaluación bioquímica**

Se tomó una muestra sanguínea en ayunas por punción venosa para determinar niveles de zinc ( $\mu\text{g/dL}$ ). La toma de muestra se obtuvo de 90 escolares. Los análisis de las muestras se analizaron por duplicado en el laboratorio de Nutrición Humana de la Facultad de Ciencias Naturales.

La determinación de zinc en suero se realizó utilizando un espectrómetro de absorción atómica con flama (Perkin Elmer Instruments, Mod. Analyst 1000, Norwalk, CT), con lámpara de zinc, utilizando estándares certificados de 1000  $\mu\text{g/dL}$  (Perkin Elmer #Cat N930-0168).

La deficiencia de zinc fue determinada con concentraciones en suero  $< 65$   $\text{mg/dL}$  para población escolar (Benoist y col. 2007).

### **6. Análisis Estadístico**

Se realizó un análisis descriptivo para conocer las características generales de la población: peso, talla, circunferencia de cintura, IMC/edad, concentración de zinc, coeficiente intelectual total y sus dominios cognoscitivos.

Se realizó una correlación de Pearson para conocer la relación entre las variables del estudio.

Además se realizó un modelo de regresión lineal simple para la comparación de variables continuas: función cognitiva (CIT, IMT, IVP, IRP e ICV), estado de nutrición (IMC/Edad), concentraciones de zinc y consumo de zinc, así como también un modelo de regresión lineal múltiple para la comparación de variables continuas ajustadas por escolaridad de la madre.

Se realizó un ANCOVA para la comparación de medias entre grupos de variables continuas: función cognitiva, estado de nutrición, concentraciones de zinc y dieta.

Para todo el análisis de datos, se utilizó el paquete estadístico SPSS v.18.0.

## VI. Resultados

### 6.1 Características generales de la población

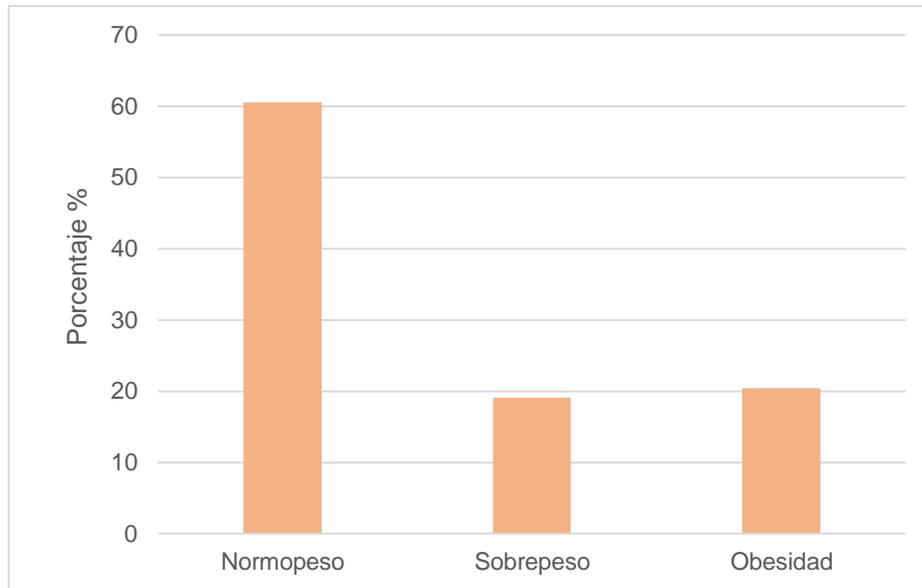
En el presente estudio participaron 152 niños de edad escolar. Las características generales de la población de estudio se muestran en la **Tabla 4**.

**Tabla 4 Descripción de las características generales de población de estudio (n=152)**

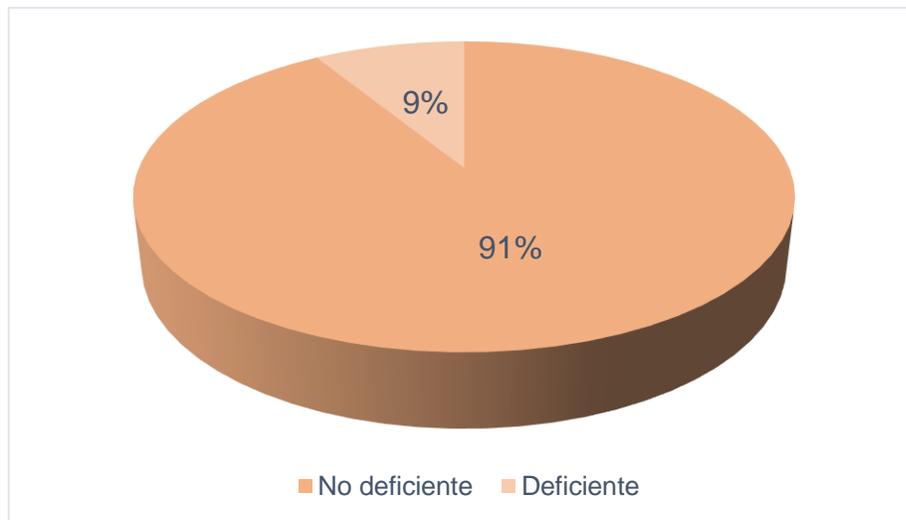
<b>Variables</b>	<b>Media ± DE</b>
<b>Edad (años)</b>	8.02 ± 1.39
<b>Peso (Kg)</b>	29.66 ± 10.05
<b>Talla (cm)</b>	127.01 ± 10.86
<b>Circunferencia de cintura (cm)</b>	61.86 ± 10.45
<b>IMC (kg/m<sup>2</sup>)</b>	17.95 ± 3.62
<b>IMC/edad (puntuación Z)</b>	0.81 ± 1.38
<b>Índice Cintura-Talla</b>	0.48 ± 0.06
<b>Concentraciones de Zinc (µg/dL)</b>	0.74 ± 0.078
<b>Consumo de Zinc (mg/día)</b>	9.42 ± 8.21

Se presentan los valores de acuerdo a la media ± desviación estándar (DE)

La población presentó una prevalencia combinada de sobrepeso y obesidad del 39.5% (**Figura 3**) y una baja prevalencia de deficiencia de zinc (**Figura 4**).



**Figura 3 Distribución porcentual del Estado de Nutrición**



**Figura 4 Prevalencia de deficiencia de zinc de una submuestra de población de estudio (n=90)**

## 6.2 Características de la alimentación de población

El consumo de macronutrientes y micronutrientes de la población se muestra en la **Tabla 5**. El porcentaje de consumo de los macronutrientes excede las recomendaciones nutricionales para la edad de esta población. Se observó que el consumo dietario de macronutrientes entre los grupos de sobrepeso y obesidad

fue mayor al grupo con normopeso. Adicionalmente, la energía ingerida por día fue mayor a la recomendada para la edad y la distribución del consumo de energía muestra una ingesta alta en todos los macronutrientes. En toda la población estudiada el aporte dietario de fibra es adecuado.

En cuanto al consumo de micronutrientes, éste fue adecuado en todos los grupos con excepción de la vitamina B6 la cual tuvo un consumo menor en el grupo de sobrepeso en comparación con los otros grupos. El consumo de vitamina A fue significativamente mayor en el grupo de sobrepeso con respecto al grupo de peso normal ( $p < 0.05$ ).

**Tabla 5 Características generales del consumo diario de energía, macronutrientes y micronutrientes de acuerdo al índice de masa corporal (IMC) (n=152)**

	<b>Normopeso n=92</b>	<b>Sobrepeso n=29</b>	<b>Obesidad n=31</b>	<b>Total n=152</b>	
<b>VARIABLES</b>	<b>Media ± DE</b>	<b>Media ± DE</b>	<b>Media ± DE</b>	<b>Media ± DE</b>	<b>Valor p</b>
<b>Energía (kcal)</b>	2664.55 ± 1558.83	2989.51 ± 1367.31	2918.95 ± 1203.11	2778.43 ± 1455.73	.485
<b>Carbohidratos (g)</b>	360.79 ± 176.68	424.60 ± 237.52	401.19 ± 202.96	381.20 ± 195.33	.253
<b>Proteína (g)</b>	102.19 ± 94.96	100.97 ± 45.00	109.32 ± 66.04	103.41 ± 81.76	.902
<b>Grasa (g)</b>	94.93 ± 69.85	103.83 ± 43.73	104.00 ± 51.23	98.48 ± 61.93	.685
<b>Fibra (g)</b>	19.51 ± 14.28	20.54 ± 15.65	19.20 ± 9.51	19.64 ± 13.65	.922
<b>Calcio (mg)</b>	1402.75 ± 630.95	1538.91 ± 900.63	1358.26 ± 444.59	1419.66 ± 658.24	.530
<b>Hierro (mg)</b>	21.84 ± 13.26	26.85 ± 21.91	22.53 ± 10.53	22.91 ± 14.86	.284
<b>Sodio (mg)</b>	2237.25 ± 1240.45	2506.80 ± 1379.50	2337.07 ± 1779.69	2309.04 ± 1385.73	.657
<b>Zinc (mg)</b>	9.03 ± 7.89	9.29 ± 5.17	10.70 ± 11.08	9.42 ± 8.21	.618
<b>Vitamina B1 (mg)</b>	5.99 ± 19.72	6.34 ± 12.79	3.83 ± 8.17	5.62 ± 16.70	.798
<b>Vitamina B2 (mg)</b>	2.08 ± 1.23	2.43 ± 1.39	2.19 ± .97	2.17 ± 1.22	.409
<b>Niacina (mg)</b>	21.04 ± 12.63	22.07 ± 13.74	23.87 ± 13.02	21.82 ± 12.89	.571
<b>Vitamina B6 (mg)</b>	1.40 ± 2.47	1.28 ± .68	1.96 ± 4.15	1.49 ± 2.69	.538
<b>Ácido Fólico (µg)</b>	294.53 ± 257.68	336.90 ± 314.52	310.67 ± 150.16	305.91 ± 251.21	.728
<b>Vitamina B12 (µg)</b>	4.98 ± 12.66	3.67 ± 2.07	4.03 ± 3.40	4.53 ± 10.00	.792
<b>Vitamina A (µg)</b>	927.02 ± 773.88 <sup>a</sup>	1512.72 ± 1727.04 <sup>b</sup>	1063.09 ± 1008.06 <sup>a</sup>	1066.52 ± 1079.81	.038*
<b>Vitamina C (mg)</b>	66.16 ± 55.23	78.49 ± 61.31	61.81 ± 45.05	67.62 ± 54.49	.459
<b>Vitamina E (mg)</b>	4.95 ± 5.34	7.12 ± 7.15	6.85 ± 8.01	5.75 ± 6.37	.159
<b>Vitamina D (µg)</b>	14.41 ± 18.03	11.11 ± 15.23	17.40 ± 20.44	14.39 ± 18.05	.405

Se presentan los datos como media ± desviación estándar. Se consideró significancia estadística con  $p < 0.05^*$ . Las letras diferentes representan la diferencia entre grupos (<sup>a,b</sup>).

Los resultados de la evaluación de la dieta por grupos de alimentos realizada a la población se muestran en la **Tabla 6**. El grupo de alimentos mayormente consumido por los escolares fue el de los cereales y el grupo que aportó la mayor cantidad de zinc fue el de las carnes. En cuanto a la frecuencia de alimentos, el grupo de las leguminosas fue el que mayor se consumió diariamente. No se encontró significancia estadística entre grupos (**Tabla 6**).

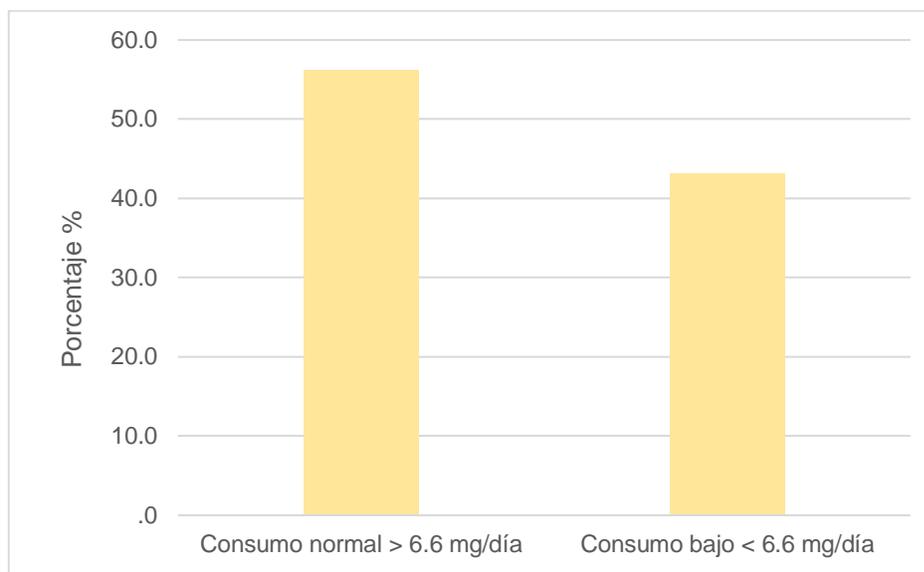
**Tabla 6 Consumo diario por grupos de alimentos de niños escolares reportado de los cuestionarios de recordatorio 24 horas y de frecuencia de consumo**

	Normopeso		Sobrepeso		Obesidad	
	n=92		n=29		n=31	
	Media	(IC 95%)	Media	(IC 95%)	Media	(IC 95%)
<b>Recordatorio 24 horas</b>						
<b>Carnes (g/día)</b>	255	(189-321)	218	(99-337)	277	(164-390)
<b>Lácteos y derivados (g/día)</b>	356	(325-387)	400	(345-456)	337	(284-390)
<b>Frutas (g/día)</b>	108	(81-136)	108	(59-158)	91	(44-138)
<b>Vegetales (g/día)</b>	57	(40-75)	68	(36-99)	65	(35-95)
<b>Cereales (g/día)</b>	566	(502-629)	630	(516-744)	607	(499-716)
<b>Leguminosas (g/día)</b>	54	(25-84)	80	(27-132)	44	(-7.6-96)
<b>Grasas (g/día)</b>	37	(21-53)	52	(23-80)	33	(6-61)
<b>Azúcares (g/día)</b>	551	(453-650)	561	(384-738)	576	(408-744)
<b>Frecuencia de alimentos<sup>b</sup></b>						
<b>Carnes</b>	2.1	1.8-2.4	2.3	1.8-2.8	2.5	2.0-3.0
<b>Lácteos y derivados</b>	3.9	3.5-4.2	3.9	3.3-4.2	4.0	3.4-4.6
<b>Frutas</b>	3.5	3.0-4.1	4.1	3.2-5.1	3.6	2.7-4.5
<b>Vegetales</b>	5.9	5.2-6.7	7.5	6.2-8.8	5.7	4.4-7.0
<b>Cereales</b>	4.9	4.5-5.3	5.0	4.2-5.7	5.4	4.7-6.2
<b>Leguminosas</b>	7.4	6.2-.86	.82	.60-1.0	.9	.71-1.1
<b>Grasas</b>	3.7	2.8-3.3	2.8	2.4-3.3	2.9	2.5-3.4
<b>Azúcar</b>	4.4	4.0-4.8	3.9	3.1-4.7	4.2	3.4-4.9

ANCOVA ajustado por escolaridad de la madre. Se consideró significancia estadística  $p < 0.05$ .

<sup>b</sup> Frecuencia de consumo por día

Se encontró que más de un tercio de los niños escolares presentaban un consumo de zinc bajo, es decir, consumían menos de 6.6 mg/día de zinc en su alimentación diaria (**Figura 5**). De los escolares que presentaron deficiencia, el 50% tuvo un consumo bajo de zinc. El consumo promedio diario de la población de estudio fue de  $9.42 \pm 8.21$  mg/día.



**Figura 5 Distribución porcentual del consumo de zinc de población de estudio (n=152)**

### **6.3 Biodisponibilidad de zinc en la dieta de población de estudio**

Se realizó un análisis de biodisponibilidad de zinc en base al modelo publicado por Hambidge y col. 2004 y se encontró que del total de zinc consumido que es de 9.42 mg/d, únicamente se absorben entre 3 y 3.5 mg/d, considerando el que el consumo de ácido fítico es su principal inhibidor (1787.95 mg/día).

### **6.4 Características de la función cognitiva**

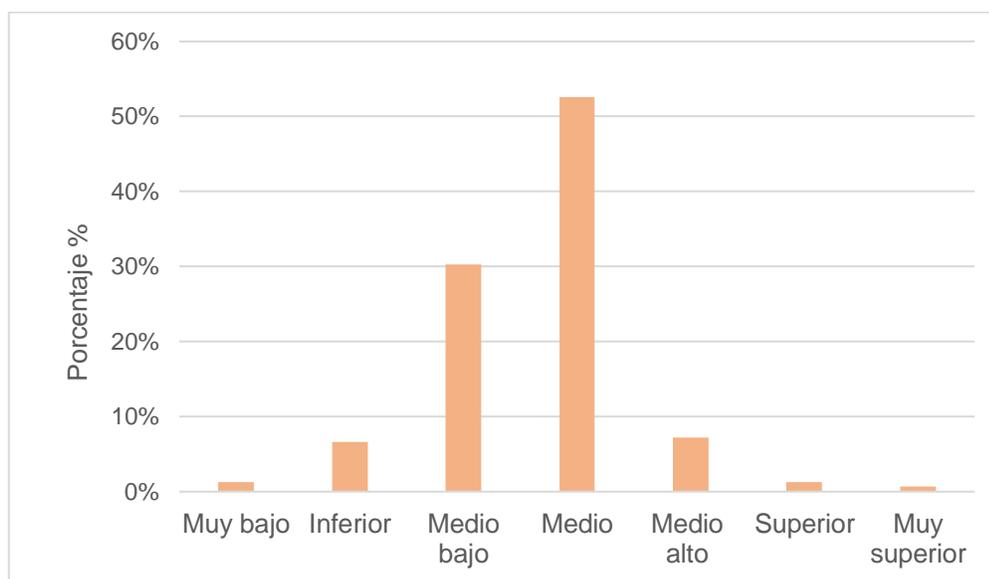
Las características generales de la escala de inteligencia de Wechsler se muestran en la **Tabla 7**.

**Tabla 7 Descripción de las características de la Escala de Inteligencia de Wechsler (WISC-IV) de población escolar (n=152)**

Variables	Media	DE
<b>Coficiente Intelectual Total (CIT)</b>	94.39 ± 11.85	
<b>Índice de Comprensión Verbal (ICV)</b>	90.20 ± 12.36	
<b>Índice de Memoria de Trabajo (IMT)</b>	95.01 ± 11.52	
<b>Índice de Razonamiento Perceptual (IRP)</b>	96.01 ± 10.74	
<b>Índice de Velocidad de Procesamiento (IVP)</b>	103.83 ± 14.66	

Se presentan los valores de acuerdo a la media ± desviación estándar (DE)

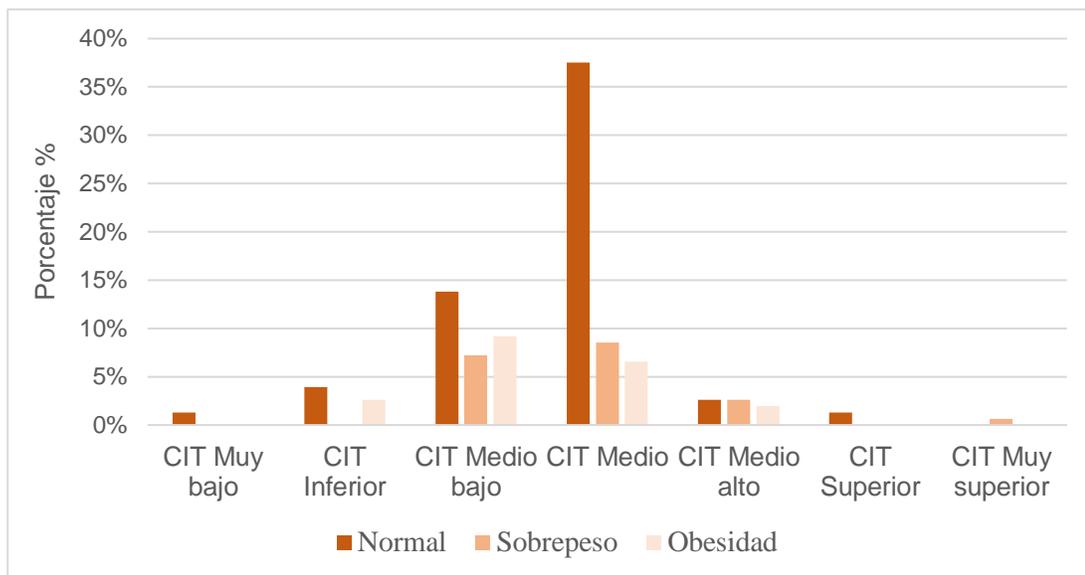
Se encontró que el 38.2% de la población escolar presenta un CIT bajo (**Figura 6**). En cuanto a los índices cognoscitivos, se encontró que el 48% de los escolares presentó un ICV bajo, el 25% presentó un IRP bajo, 32% un IMT y 18% un IVP bajo.



**Figura 6 Distribución porcentual de Coeficiente Intelectual Total (CIT) de población de estudio (n=152)**

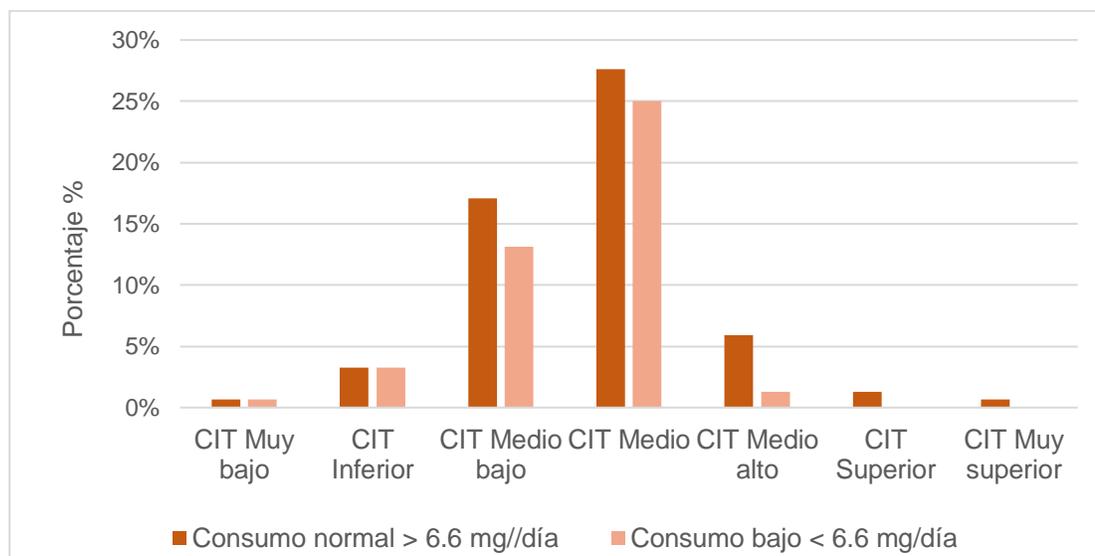
De la población con CIT bajo, el 19.07% presentó sobrepeso u obesidad (**Figura 7**). En cuanto a los índices cognoscitivos; 20% de los escolares con ICV

bajo, 13% con IRP bajo, 13% con IMT bajo y 7% con IVP también bajo presentaron sobrepeso y obesidad.



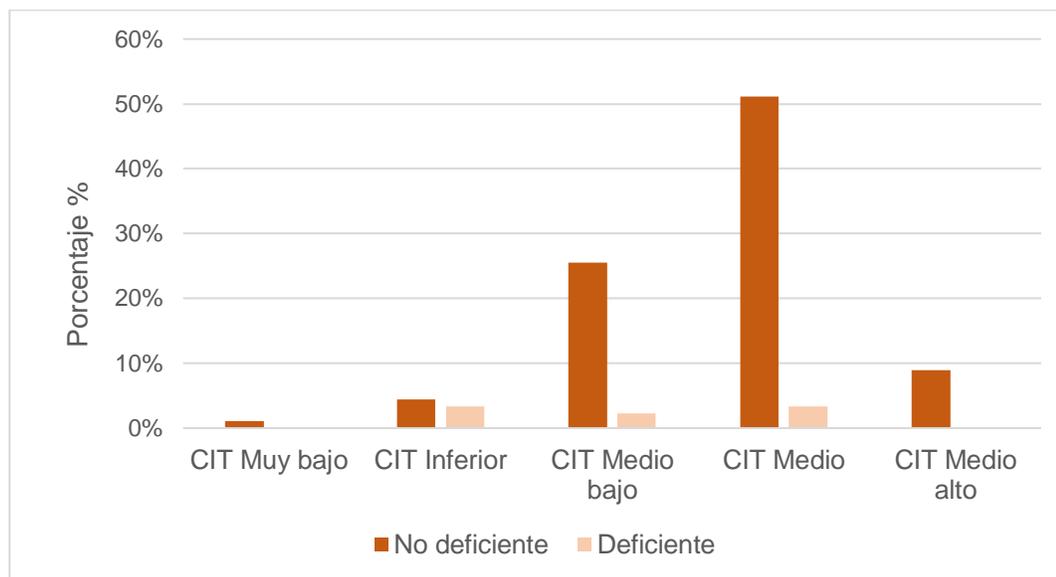
**Figura 7 Distribución porcentual del Coeficiente Intelectual Total (CIT) en relación al estado de nutrición (n=152)**

De la población con CIT bajo, el 17% presentó un consumo bajo de zinc (Figura 8). En cuanto a los índices cognoscitivos; 22% de los escolares con ICV bajo, 11% con IRP bajo, 14% con IMT bajo y 9% con IVP también bajo presentaron consumo bajo de zinc.



**Figura 8 Distribución porcentual del Coeficiente Intelectual Total (CIT) en relación al consumo de zinc de población escolar (n=152)**

Por otra parte, el 36.8% de los niños con CIT bajo presentaban deficiencia de zinc (**Figura 9**). En cuanto a los índices cognoscitivos; el 6% de los escolares con ICV bajo, el 1% con IRP bajo, el 3% con IMT bajo y el 1% con IVP también bajo.



**Figura 9 Distribución porcentual del Coeficiente Intelectual Total (CIT) en relación a la deficiencia de zinc de población escolar (n=90)**

### 6.5 Relación sobrepeso, obesidad y función cognitiva

Como se puede observar en la **Tabla 8**, no se encontró relación entre el CIT y sus índices cognoscitivos con el IMC/edad, ni con el índice cintura-talla. Sin embargo, se encontró que el ICV se asoció positivamente con la CC, y el IVP se asoció negativamente de igual manera con la CC ajustado por escolaridad de la madre (<0.05).

**Tabla 8 Relación entre el índice de Masa Corporal para la edad, Circunferencia de Cintura e Índice Cintura-Talla en relación al Coeficiente Intelectual Total y sus índices cognoscitivos de población de estudio (n=152)**

	IMC/edad			Circunferencia de cintura			Índice de Cintura-Talla		
	Coeficiente $\beta$	(95% IC)	Valor p	Coeficiente $\beta$	(95% IC)	Valor p	Coeficiente $\beta$	(95% IC)	Valor p
<b>CIT</b>	-.260	-1.573, 1.053	.696	-.038	-.213, .138	.672	-4.966	-34.168, 24.237	.737
<b>ICV</b>	.850	-.544, 2.244	.230	.207	.023, .391	.028*	18.525	-12.485, 49.535	.240
<b>IRP</b>	-1.057	-2.250, .135	.082	-.113	-.273, .047	.165	-1.311	-44.320, 8.967	.192
<b>IMT</b>	-.212	-1.545, 1.121	.753	-.025	-.203, .153	.783	-9.420	-39.037, 20.196	.531
<b>IVP</b>	-.249	-1.956, 1.458	.774	-.229	-.454, -.004	.046*	-10.221	-48.162, 27.720	.595

Modelo de regresión lineal de variable dependiente ajustado por escolaridad de la madre. Se consideró significancia estadística con  $p < 0.05$ . Coeficiente Intelectual Total (CIT), Índice de Comprensión Verbal (ICV), Índice de Razonamiento Perceptivo (IRP), Índice de Memoria de Trabajo (IMT), Índice de Velocidad de Procesamiento (IVP).

Al separar a la población de acuerdo a si tienen o no sobrepeso y obesidad, se encontró que no hay diferencias entre los grupos de acuerdo a CIT y sus índices cognoscitivos (**Tabla 9**).

**Tabla 9 Relación entre el Coeficiente Intelectual Total (CIT) y sus índices cognoscitivos y el IMC para la edad en la población de estudio (n=152)**

	<b>Normal Media ± DE</b>	<b>Sobrepeso Media ± DE</b>	<b>Obesidad Media ± DE</b>	<b>Valor p</b>
<b>CIT</b>	93.97 ± 1.16	98.37 ±2.10	92.55 ±2.00	.107
<b>ICV</b>	94.09 ± 1.24	94.09 ±2.24	91.51 ±2.13	.104
<b>IRP</b>	96.83±1.07	97.48±1.93	92.88±1.84	.137
<b>IMT</b>	94.42±1.19	97.60±2.15	94.46±2.05	.419
<b>IVP</b>	103.45±1.53	107.46±2.75	101.79±2.62	.303

Análisis de varianza de variable dependiente ajustado por la escolaridad de la madre. Se consideró significancia estadística con  $p < 0.05$ . Coeficiente Intelectual Total (CIT), Índice de Comprensión Verbal (ICV), Índice de Razonamiento Perceptivo (IRP), Índice de Memoria de Trabajo (IMT), Índice de Velocidad de Procesamiento (IVP).

### **6.6 Relación zinc y función cognitiva**

En cuanto a zinc se refiere, se encontró que los escolares deficientes de zinc tenían un menor CIT comparado con los niños no deficientes. ( $p < 0.05$ ) (**Tabla 10**).

**Tabla 10 Relación entre el Coeficiente Intelectual Total (CIT) y sus índices cognoscitivos con deficiencia de zinc de una submuestra de la población de estudio (n=90)**

	<b>Deficiente Media ± DE</b>	<b>No deficiente Media ± DE</b>	<b>Valor p</b>
<b>CIT</b>	84.88 ± 6.64	94.73 ± 11.07	.033*
<b>ICV</b>	82.25±10.58	90.31±13.06	.160
<b>IRP</b>	92.25±6.36	96.53±10.58	.377
<b>IMT</b>	91.63±9.79	95.52±11.03	.387
<b>IVP</b>	99.00 ±8.79	103.46± 14.34	.510

Análisis de varianza de variable dependiente con concentraciones de zinc ajustado por escolaridad de la madre. Se consideró significancia estadística con  $p < 0.05^*$ . Coeficiente Intelectual Total (CIT), Índice de Comprensión Verbal (ICV), Índice de Razonamiento Perceptivo (IRP), Índice de Memoria de Trabajo (IMT), Índice de Velocidad de Procesamiento (IVP).

Los niños con bajo consumo de zinc presentaron menor CIT, ICV e IVP comparados con niños con consumo normal de zinc. ( $p < 0.05$ ) (Tabla 11).

**Tabla 11 Análisis de varianza del Coeficiente Intelectual Total (CIT) y sus índices cognoscitivos con el consumo de zinc de población de estudio (n=152)**

	<b>Consumo bajo Media ± DE</b>	<b>Consumo normal Media ± DE</b>	<b>Valor p</b>
<b>CIT</b>	92.32 ± 9.77	96.16±13.08	.016*
<b>ICV</b>	88.25 ±12.15	91.96±12.37	.033*
<b>IRP</b>	95.72±9.69	96.46±11.49	.491
<b>IMT</b>	94.51±10.04	95.42±12.70	.508
<b>IVP</b>	100.78±13.01	106.21±15.61	.016*

Análisis de varianza de variable dependiente ajustado por escolaridad de la madre. Se consideró significancia estadística con  $p < 0.05^*$ . Coeficiente Intelectual Total (CIT), Índice de Comprensión Verbal (ICV), Índice de Razonamiento Perceptivo (IRP), Índice de Memoria de Trabajo (IMT), Índice de Velocidad de Procesamiento (IVP).

## VII. Discusión

Actualmente México presenta elevadas prevalencias de sobrepeso y obesidad en gran parte de la población, particularmente en población escolar. En el presente estudio se encontró una prevalencia combinada de sobrepeso y obesidad de 39.5%, lo cual es mayor a la prevalencia reportada en 2016 por la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición de Medio Camino la cual fue de 33.2% (Hernández y col., 2016).

Se encontró baja prevalencia de deficiencia de zinc en la población de estudio, estos resultados se encuentran por debajo de los resultados nacionales reportados por la ENSANUT 2006 de 25% de deficiencia de zinc (Shamah-Levy, Villalpando, Jáuregui y Rivera, 2012).

También contrastan con los resultados encontrados en un estudio realizado en el estado de Querétaro, donde se estudió a población escolar y se encontró que 24.9% de la población era deficiente de zinc (García y col. 2013).

Adicionalmente, más de un tercio de los niños escolares presentaron un consumo bajo de zinc. Estos resultados son mayores a los resultados reportados por la ENSANUT 2012, donde se encontró que el 8.6% de los niños escolares tenían un consumo bajo de zinc (Rivera y col. 2016). De igual forma, el consumo de zinc encontrado en el presente estudio fue mayor al reportado por García y col. en 2013 quienes encontraron que niños escolares de 6 a 10 años de edad de comunidades rurales tenían un consumo de 5.1 mg/día.

El consumo bajo de zinc y la deficiencia de zinc en esta población pueden predisponer a nuestra población a retraso en el crecimiento lineal, sensibilidad sensorial, disminución del apetito, disminución en la respuesta inmune (menor resistencia a infecciones) (Castillo, Heresi, Fisberg y Uauy, 1989; Ruel, Rivera, Santizo, Lonnerdal y Brown, 1997), así como alteraciones en la función cognitiva como menor capacidad de memoria, atención, problemas en el aprendizaje y en el comportamiento neuropsicológico (Sachdev, Gera y Nestel, 2004).

El 38.2% de la población escolar estudiada presentó un coeficiente intelectual bajo. Estos resultados se asemejan a los reportados por Navarro y Navarro en 2002, los cuales realizaron un estudio en la ciudad de Oaxaca, y encontraron que el 48.27% de niños escolares de entre 6 y 10 años de edad presentaban un coeficiente intelectual bajo.

Estos resultados pueden predisponer a la población a problemas para poner en práctica sus capacidades cognitivas (comprensión verbal, razonamiento, memoria e velocidad de procesamiento), causando problemas en el aprendizaje y problemas con el entendimiento de su entorno. Lo que se puede extender a otras áreas de su funcionamiento familiar, escolar y social, con repercusiones emocionales que genera, potencian y enmascaran comorbilidades y, evidentemente empeoran el pronóstico a corto, mediano y largo plazo (Martínez y Semrud-Clikeman, 2004)

Esto es de suma importancia ya que el aspecto educativo es un predictor importante de salud a lo largo de toda la vida y puede predisponer a la población escolar a menor calidad de vida.

El coeficiente intelectual y sus índices cognoscitivos no se asociaron con el IMC/edad, ni con el índice cintura-talla. Esto contrasta con resultados obtenidos por Bauer y col. en 2014, quienes observaron que niños mexicanos con sobrepeso y obesidad de 6 y 8 años de edad presentaban alteraciones en estructuras relacionadas con la función ejecutiva, el aprendizaje y la memoria.

De igual forma, niñas y adolescentes mexicanas con elevado IMC reportaron menor desempeño en dominios de lenguaje y en matemáticas comparado con aquellas de peso normal (Salazar-Rendón y col. 2018).

Resultados similares también han sido reportados en otros países. Por ejemplo, en Turquía, se encontró una asociación significativa entre el IMC elevado de niños y adolescentes y menor capacidad de memoria, velocidad de procesamiento, atención (Bozkurt y col. en 2016).

Sin embargo, en el presente estudio la CC se asoció positivamente con el ICV y negativamente con el IVP ( $p < 0.05$ ). Por lo que a mayor CC mayor ICV y a mayor CC menor IVP.

Estos resultados se pueden explicar debido a que la circunferencia de cintura es un predictor indirecto de adiposidad a nivel abdominal y se relaciona mayormente con el porcentaje de grasa visceral en comparación con el IMC (Hernández, Guzmán y Roselló, 2013; Martínez, Barceló, Gómez y Ramírez, 2015).

El exceso de grasa abdominal puede producir alteraciones metabólicas a través de la producción de adipocitocinas como el TNF- $\alpha$ , IL-6, leptina etc., las cuales afectan procesos en la periferia y en el sistema nervioso central, ya que se sabe que interactúan con ciertas áreas del cerebro (Arnoldussen y col., 2014). Por lo que la acumulación de estas puede modificar estructuras cerebrales, causando una alteración de la función cognitiva (Martínez y col. 2015).

Por lo que entre mayor circunferencia de cintura mayor adiposidad a nivel abdominal y mayor acumulación de adipocitocinas inflamatorias (Martínez, 2015).

Por otro lado, la grasa también puede favorecer procesos cerebrales, ya que se encuentra formando parte de la estructura de las neuronas y participa en el proceso de mielinización axonal, lo que favorece la generación de impulsos nerviosos (Sandstead, 2000).

Resultados similares fueron reportados por Nilsson y Nilsson en 2009, quienes encontraron una asociación positiva entre la memoria y la circunferencia de cintura de adultos obesos.

Los escolares que participaron en el estudio que tuvieron un consumo de zinc bajo presentaban un CIT menor, así como también menor ICV y menor

IVP en comparación con los niños que tenían un consumo normal. De igual forma los niños que presentaron deficiencia de zinc presentaron menor CIT.

Estos resultados se pueden explicar por el rol que tiene el zinc en la función cerebral. Ya que se encuentra contenido en neuronas de estructuras límbicas relacionadas a la cognición (hipocampo) (Frederickson, Suh, Silva, Frederickson y Thompson 2000), por lo que su deficiencia se asocia a la alteración de la función cognitiva como menor capacidad de memoria, atención, alteración en el comportamiento y las emociones (Takeda, 2001).

Estos resultados coinciden con un estudio realizado en Kenia en población escolar donde se encontró que el consumo inadecuado de zinc se asociaba con un desempeño menor en pruebas de dígitos y comprensión verbal (Gewa y col. 2009). En este mismo estudio, se encontró que las concentraciones en sangre también se asociaron positivamente con la función cognitiva.

En contraste, Rosado y col. 2001 no encontraron asociación entre el consumo de zinc con las funciones cognitivas de niños escolares mexicanos debido a que la ingesta de zinc se encontró muy por debajo de las recomendaciones.

Por otra parte, estudios de suplementación con zinc han mostrado una mejora en las funciones cognitivas. Por ejemplo, en Brasil, niños de 6 a 9 años de edad con concentraciones adecuadas de zinc debido que fueron suplementados con sulfato de zinc por 90 días, presentaban un mayor desempeño en los dominios de memoria, planeación y resolución de problemas, análisis y comprensión en comparación con niños que presentaban concentraciones inadecuadas (Moura y col. 2013).

Es importante mencionar que la escolaridad de la madre tiene una gran influencia en la función cognitiva de los niños. Se sabe que es uno de los principales determinantes relacionados con la mala nutrición infantil (Paredes, Benítez y Meza, 2017), ya que interviene en la calidad nutricional y la variedad

de la ingesta dietética de un individuo (Duncanson, Burrows y Collins, 2014). De igual manera, la escolaridad de la madre influye de manera significativa en la función neuropsicológica, ya que influye en la aparición de diversas habilidades en el individuo y permite el perfeccionamiento de procesos cognitivos importantes como la atención, la memoria, las funciones ejecutivas (Ostrosky-Solís y col. 2010). Sin embargo, en el presente estudio, aun ajustando por esta variable, se encontró una relación entre la obesidad, el zinc y la función cognitiva.

El estudio es diferente de los estudios realizados en el país y en otras regiones del mundo ya que en México son pocos los estudios que estudian el zinc y su relación con la función cognitiva, la mayoría se basan en suplementación, por lo que es importante recalcar que en el presente estudio se tomaron en cuenta las concentraciones de zinc en suero de la población, lo que muestra la situación real de la población.

Por otra parte en México no existen estudios que hayan evaluado la relación del sobrepeso, la obesidad y el zinc con la función cognitiva.

Los diferentes resultados observados en diferentes poblaciones sugieren que la relación entre el sobrepeso, la obesidad, el zinc con la función cognitiva es compleja, y otros factores pudieran estar involucrados.

Una limitante de este estudio, es que se trata de un estudio observacional transversal, y por lo tanto, la relación causa-efecto no puede ser establecida. En tanto a las fortalezas del estudio, el trabajar con población abierta nos permitió que las comparaciones entre grupos fueran lo más cercanas a la realidad posible. Por otra parte y a pesar de que se obtuvo una muestra de sangre de 90 individuos, pudimos detectar diferencias significativas con las variables de interés

## **VIII. Conclusiones**

Los resultados del presente estudio demuestran que el consumo y concentraciones inadecuadas de zinc, así como una circunferencia elevada de cintura pueden disminuir la función cognitiva en población escolar mexicana.

Se necesitan más estudios para investigar la causalidad de estas asociaciones y futuras investigaciones deben centrarse en las complicaciones que pudieran surgir a largo plazo, así como también en posibles mecanismos relacionados.

## IX. Referencias

Ahima R. S., and Flier J. S., **(2000)**. Adipose tissue as an endocrine organ. *Trends in endocrinology & metabolism*, Vol. 11, No. 8, 327-32. doi.org/10.1016/S1043-2760(00)00301-5

Alcaraz-Ortíz M.R, Ramirez-Flores D., Palafox-López G. I., y Reyes-Hernandez J. U., **(2015)**. El déficit cognitivo relacionado con el índice de masa corporal elevado, *Revista Especializada en Ciencias de la Salud*, Vol. 18, No. 1, 33-38.

Arango C. A. y Pimienta H. J., **(2004)**. El cerebro: de la estructura y la función a la psicopatología. Primera parte: Bloques funcionales, *Revista Colombiana de Psiquiatría*, Vol. 1, (No. 33), 102-125.

Arnoldussen I. AC., Kiliaan A. J., and Gustafson D. R., **(2014)**. Obesity ad dementia: adipokines interact with the brain, *Eur Neuropsychopharmacol*. Vol. 24, No. 12, 1982-1991. doi:10.1016/j.euroneuro.2014.03.002

Arsenault J. E., and Brown K. H., **(2003)**. Zinc intake of us preschool children exceeds new dietary reference intakes, *American Society for Clinical Nutrition*, Vol. 78, 1011-7.

Bauer C. C. C., Moreno B., González-Santos L., Concha L., Barquera S., and Barrios F. A., **(2014)**. Child overweight and obesity are associated with reduced executive cognitive performance and brain alterations: a magnetic resonance imaging study in mexican children, *Pediatric obesity*, Vol. 10, 196-204. doi: 10.1111/ijpo.241

Bellisle F., **(2004)**. Effects of diet on behavior and cognition in children, *British Journal of Nutrition*, Vol. 92, No. 2, S227-S232. doi: 10.1079/BJN20041171.

Bem M. E., Orłowski C., Piotrowski J. K., Januszewski K., and Pajak J., **(1993)**. Cadmium, zinc, copper and metallothionein levels in the kidney and liver of inhabitants of upper Silesia (Poland), *International Archives of Occupational and Environmental Health*, Vol. 65, No.1, 57-63.

Benages I. E., **(2009)**. Nutrientes y función cognitiva, *Nutrición Hospitalaria*, Vol. 2, No. 2, 3-12.

Benjamin B. Kahey **(2007)**. Introducción a la psicología, novena edición, Mc Graw-Hill.

Benoist B., Darnton H. I., Davidsson L., Fontaine O., and Christine H., **(2007)**. Conclusions of the joint WHO/UNICEF/IAEA/IZiNCG interagency meeting on zinc status indicators, Food and Nutrition Bulletin, Vol. 28, No. 3.

Bersh S., **(2006)**. La obesidad: aspectos psicológicos y conductuales. Revista colombiana de psiquiatría, Vol. 35, No. 4, 537-546.

Bocarsly M. E., Fasolino M., Kane G. A., LaMarca E. A., Kirshchen G. W., Karatsoreos L. N., McEwen B. S., and Gould E., **(2015)**. Obesity diminishes synaptic markers, alters microglial morphology, and impairs cognitive function. *PNAS*, Vol. 112, No. 51, 1531-15736. doi/10.1073/pnas.1511593112

Boeka A. G., & Lokken K. L. **(2008)**. Neuropsychological performance of a clinical sample of extremely obese individuals. Archives of Clinical Neuropsychology, Vol. 23, No. 4, 467–474. Doi:: 10.1016/j.acn.2008.03.003

Bozkurt H., Ozer S., Yilmaz R., Sonmezgoz E., Kazanci O., Erbas O., and Demir O. **(2016)**. Assessment of Neurocognitive Functions in Children and Adolescents with Obesity, Applied neuropsychology: Child, Vol. 6, No. 4, 262-268. doi: 10.1080/21622965.2016.1150184.

Brabilla P., Bedogni G., Moreno L. A., Goran M. I., Gutin B., Fox K. R., Peters D. M. Barbeau P., De Simone M. and Pietrobelli A., **(2006)**. Crossvalidation of anthropometry against magnetic resonance imaging for the assessment of visceral and subcutaneous adipose tissue in children, International Journal of Obesity, Vol. 30, 23-30.

Butterworth R. F., **(2003)**. Thiamin deficiency and brain disorders, Nutrition Research Reviews, Vol. 16, (No. 2), 277-283. doi:: 10.1079/NRR200367.

Cousins R. J., **(1985)**. Absorption, transport, and hepatic metabolism of copper and zinc: special reference to metallothionein and ceruloplasmin, Physiological reviews, Vol. 65, No. 2, 238-309.

Cousins R. J., Liuzzi J. P., and Lichten L. A., **(2006)**. Mammalian zinc transport trafficking and signals, the journal of biological chemistry, Vol. 281, (No. 34), 24085-24089.

Cserjési R., Molnar D., Luminet O., and Lénárd L., **(2007)**. Is there any relationship between obesity and mental flexibility in children?, *Appetite*, Vol. 49 (No. 3), 675-678. doi:10.1016/j.appet.2007.04.001.

Das U. N., **(2001)**. Is obesity and inflammatory condition. *Nutrition*, Vol. 17 No. 11-12, 953-966. /doi.org/10.1016/S0899-9007(01)00672-4.

Doherty C. P., Lawrence T. W. and Prentice A. M., **(2002)**. Micronutrient supplementation and infection: A double-edged sword?, *Journal of pediatric gastroenterology and nutrition*, Vol. 34, No. 4, 346-352.

Doherty G. H., **(2011)**. Obesity and the ageing brain: could leptin play a role in neurodegeneration?. *Current Gerontology and Geriatrics Research*, Vol. 20, doi.org/10.1155/2011/708154.

Duncanson K., Burrows T. and Collins C., **(2014)**. Peer education is a feasible method of disseminating information related to child nutrition and feeding between new mothers, *Biomedical Center Public Health*, Vol. 14, 1262. doi.org/10.1186/1471-2458-14-1262.

EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies, **(2014)**. Scientific Opinion on Dietary Reference Values for zinc. *EFSA Journal* Vol. 12, No. 10, 76 pp. doi:10.2903/j.efsa.2014.3844.

Fleisch A. F., Agarwal N., Roberts M. D., Han J. C., Theim K. R, Vexler A., Troendle J., Yanocski S. Z., and Yanovski J. A., **(2007)**. Influence of serum leptin on weight and body fat growth in children at high risk for adult obesity. *Journal clinical endocrinology metabolism*, Vol. 92, No. 3, 948-954.

Fortunato A. L., Giatti L., Chor D., Azeredo P. V., and Barreto S. M., **(2014)**. Maternal education, anthropometric markers of malnutrition and cognitive function (ELSA-Brasil), *BMC Public Health*, Vol. 14, 673. doi.org/10.1186/1471-2458-14-673.

Francis, H. M., & Stevenson, R. J. **(2011)**. Higher reported saturated fat and refined sugar intake is associated with reduced hippocampal-dependent

memory and sensitivity to interceptive signals. *Behavioral Neuroscience*, Vol. 125, No.6, 943-955. doi: <http://dx.doi.org/10.1037/a0025998>.

Freedman D. S., Kettel L., Dietz W. H., Srinivasan S. R., Berenson G. S., **(2001)**. Relationship of childhood obesity to coronary heart disease risk factors in adulthood: The Bogalusa heart study, *Pediatrics*, Vol. 108, No. 3.

Fuenmayor G., Villasmil Y., **(2008)**. La percepción, la atención y la memoria como procesos cognitivos utilizados para la comprensión textual, *Revista de Artes y Humanidades UNICA*, Vol. 9, No. 22, 187-202. doi:170118859011.

Gao H. L., Zheng W., Xin N., Chi Z. H., Wang Z. Y., Chen J., and Wang Z. Y., **(2009)**. Zinc deficiency reduces neurogenesis accompanied by neuronal apoptosis through caspase-dependent and -independent signaling pathways, *Neurotox Res*, Vol. 16, 416-425. doi:10.1007/s12640-009-9072-7.

García O. P., Ronquillo D., Caamaño M. C., Martínez G., Camacho M., López V., and Rosado J. L., **(2013)**. Zinc, Iron and Vitamins A, C and E are associated with obesity, inflammation, lipid profile and insulin resistance in Mexican school-aged children, *Nutrients*, Vol. 5, No. 12, 5012-5030. doi:10.3390/nu5125012.

García-García E., De la Llata-Romero M., Kaufer-Horwitz M., Tusié-Luna MT., Calzada-León R., Vázquez-Velázquez V., Barquera-Cervera S., Caballero-Romo AJ., Orozco L., Velázquez-Fernández D., Rosas-Peralta M., Barriguete-Meléndez A., Zacarías-Castillo R., Sotelo-Morales J., **(2008)**. La obesidad y el síndrome metabólico como problema de salud pública. Una reflexión. *Acta Pediátrica de México*, Vol. 29, No. 4, 227-246.

Gewa C. A., Weiss R. E., Bwibo N. O., Whaley S., Sigman M., Murphy S. P., Harrison G. and Neumann C. G., **(2009)**. Dietary micronutrients are associated with higher cognitive function gains among primary school children in rural Kenya, *British Journal of Nutrition*, Vol. 101, 1378-1387. doi:10.1017/S0007114508066804.

Gibson R.S., Vanderkooy P. D.S., MacDonald A. C., Goldman A., Ryan B.A., Berry M., **(1989)**. A growthlimiting, mild zinc-deficiency syndrome in some

Southern Ontario boys with low height percentiles. *Am J Clin Nutr.*, 49:1266–1273.

Golub M. S., Keen C. L., Gershwin M. E. and Hendrickx A. G. **(1995)**. Developmental zinc deficiency and behavior, *The journal of nutrition*, Vol. 125, Sup. 8, 2263S-2271S. doi.org/10.1093/jn/125.suppl\_8.2263S.

Groppe K., and Elsner B., **(2015)**. Executive function and weight status in children: A one year longitudinal perspective, *Child Neuropsychology*, 129-147. doi.org/10.1080/09297049.2015.1089981

Groppe K., and Elsner B., **(2015)**. Executive function and weight status in children: A one-year longitudinal perspective, *Child neuropsychology*, Vol. 23, No. 2, 129-147. doi: 10.1080/09297049.2015.1089981.

Gutierrez JP, Rivera-Dommarco J, Shamah-Levy T, Villalpando-Hernandez S, Franco A, Cuevas-Nasu L, Romero-Martinez M, Hernandez-Avila M. **(2012)**. Encuesta Nacional de Salud y Nutricion, Resultados Nacionales. Cuernavaca, México: Instituto Nacional de Salud Pública.

Hackman D. A., Farah M. J., and Meaney M. J., **(2010)**. Socioeconomic status and the brain: mechanistic insights from human and animal research, *Nature Review Neuroscience*, Vol. 11, No. 9, 651-9. doi: 10.1038/nrn2897.

Hambidge KM, Huffer, Raboy V., Grunwald GK, Westcott JL, Lei Sian, Miller LV, Dorsch JA, and Krebs F, (2004). Zinc absorption from low-phytate hybrids of maize and their wild-type isohybrids1–3, *Am J Clin Nutr* 2004;79:1053–9.

Hernández A. G., Guzmán P. S. y Roselló A. M., **(2013)**. La circunferencia abdominal como indicador de riesgo de enfermedad cardiovascular, *Acta Médica Costarricense*, vol. 55, No. 3, pp. 122-127.

Hernández J. D., Aguilar E., and García F., **(2015)**. El hipocampo: neurogénesis y aprendizaje. *Revista Médica de la Universidad Veracruzana*, Vol. 15, No. 1, 20-28.

Hernández M., Dommarco J., Shamah T., Cuevas L., Gomez L., Gaona E., Romero M., Mendez I., Saturno P., Villalpando S., Gutierrez J., Ávila M., Mauricio E., Martínez J., García D., **(2016)**. Instituto Nacional de Salud Pública.

Encuesta Nacional de Salud y Nutrición de Medio Camino Informe Final de Resultados. Disponible es: [http://oment.uanl.mx/wp-content/uploads/2016/12/ensanut\\_mc\\_2016-310oct.pdf](http://oment.uanl.mx/wp-content/uploads/2016/12/ensanut_mc_2016-310oct.pdf).

HubbsTait L., Seacord K. T., Droke E. A., Belanger D. M. and Parker J. R., **(2007)**. Zinc, Iron, and Lead: Relations to Head Start Children's Cognitive Scores and Teachers' Ratings of Behavior, *Journal of the american dietetic association*, Vol. 107, 128-133.

Isquith P. K., Crawford J. S., and Andrews K. E., **(2005)**. Assessment of executive function in preschool-aged children, *Ment Retard Dev Disabil Res Rev*, Vol. 11, No. 3, 209-215. doi:10.1002/mrdd.20075

Jéquier E., **(2002)**. Leptin signaling adiposity, and energy balance. *Annals New York Academy of sciences*, Vol. 967, 379-388. doi:10.1111/j.1749-6632.2002.tb04293.x.

Kar B. R., Rao S. L., and Chandramouli B. A., **(2008)**. Cognitive development in children with chronic protein energy malnutrition, *Behavioral and brain functions*, Vol. 4, No. 31, doi:10.1186/1744-9081-4-31.

Kastin A. J., Pan W., Maness L. m., and Banks W. A., **(1999)**. Peptides crossing the blood-brain barrier:some unusual observations. *Brain research*, Vol. 848, No. 1-2, 96-100. doi.org/10.1016/S0006-8993(99)01961-7

King C. J., **(2011)**. Zinc: an essential but elusive nutrient, *Am J Clin Nutr* Vol. 94, 679S–84S.

King J. C., Brown K. H., Gibson R. S., Krebs N. F., Lowe N. M., Siekmann J. H, Raiten D. J., **(2016)**. Biomarkers of nutrition for development (BOND), zinc reviews, *The journal of nutrition supplement*, Vol. 146, 858S-85S.

Kumanyika S. K., Obarzanek E., Stettler N., Bell R., Field A. E., Fortmann S. P., Franklin B. A., Gillman M. W., Lewis C. E., Poston W. C., Stevens J., Hong Y., **(2008)**. Population-Based prevention of obesity: The Need for Comprehensive Promotion of Healthful Eating, Physical Activity, and Energy Balance. *AHA Scientific statement*, Vol. 118, 428-464. doi:10.1161/CIRCULATIONAHA.108.189702

Lahey B. B., **(2007)**. Introducción a la psicología, Novena edición, Mc Graw-Hill.

Lean M. E. J., Han T. S. and Morrison C. E., **(1995)**. Waist circumference as a measure for indicating need for weight management, *BMJ*, Vol. 311, 158- 61.

Leite L.D, Rocha EDM, Almeida MG, Rezende AA, Silva CA, França MC, Marchini JS, Brandao-Neto J **(2009)**. Sensitivity of zinc kinetics and nutritional assessment of children submitted to venous zinc tolerance test. *J Am Coll Nutr* 28:405–412.

Letourneau N. L., Duffett-Leger L., Levac L., Watson B., Young-Morris C., **(2011)**. Socioeconomic status and child development: A meta-analysis, *Journal of emotional and behavioral disorders*, Vol. 21, No. 3, 211-224. doi.org/10.1177/1063426611421007.

Lobstein T., Baur L., and Uauy R., **(2004)**. Obesity in children and young people: a crisis in public health. *Obesity reviews*, Supple. 1, 4-85.

Lopez-Olmedo N., Carriquiry AL, Rodríguez-Ramírez S., Ramírez-Silva I., Espinosa-Montero J., Hernández-Barrera L., Campirano F, Martínez-Tapia B., Rivera JA., (2016). Usual intake of added sugars and saturated fats is high while dietary fiber is low in the Mexican population, *Journal of Nutrition*;146(Suppl):1856S–65S.

Lozoff B., Beard J., Connor J., Felt B., Georgieff M., and Schallert T., **(2006)**. Long-lasting neural and behavioral effects of iron deficiency in infancy, *Nutrition Reviews*, Vol. 64, (No. 5-2), S34-S91.

Marsland A. L., Gianaros P. j., Abramowitch S. M., Manuck S. B., and Hariri A. R., **(2008)**. Interleukin-6 covaries inversely with hippocampal grey matter volume in middle-aged adults. *Biological psychiatry*, Vol. 64, No. 6, 484-490. doi:10.1016/j.biopsych.2008.04.016.

Martínez C. M., Barceló A. M., Gómez G. R. y Ramírez B. D., **(2015)**. Circunferencia de la cintura, tamaño de la grasa visceral y trastornos metabólicos en la obesidad mórbida, *Revista cubana de alimentación y nutrición*, Vol. 25, No. 1, 28-47.

Mazzanti Di ruggiero M. A., **(2011)**. Declaración de Helsinki, principios y valores bioéticos en juego en la investigación médica con seres humanos, *Revista Colombiana de Bioética*, Vol. 6, No. 1, 125-144.

Meléndez G., **(2008)**. Factores asociados con sobrepeso y obesidad en el ambiente escolar, Ed. Médica Panamericana. Mex. Cap 1. 14-15.

Mercado P., Vilchis G., **(2013)**. La obesidad infantil en México. *Alternativas en Psicología*, Revista semestral, No. 28, 49-57.

Mestas L., Gordillo F., Arana J., Salvador J., **(2012)**. Síntesis y nuevas aportaciones para el estudio de la obesidad. *Revista Mexicana de Trastornos Alimentarios*, Vol. 3, 99-105.

Mocchhegiani E. Bertoni-Freddari C., Marcellini F., and Malavolta M., **(2005)**. Brain, aging and neurodegeneration: Role of zinc ion availability, *Progress in neurobiology*, Vol. 75, 367-390. doi: 0.1016/j.pneurobio.2005.04.005.

Morais J., y Kolinsky R., **(2000)**. Biology and culture in the literate mind, *Brain and cognition*, Vol. 42, 47-49. doi:10.1006/brcg.1999.1158.

Moura J. E., Oliveira de Moura E., N., Alves C. X., Lima Vale S. H., Gomes Dantas M. M., Silva A. A. Almeida M. G., Leite L. D., and Brandão-Neto J., **(2013)**. Oral Zinc supplementation may improve cognitive function in schoolchildren, *Biological trace element res*, Vol. 155, No. 1, pag. 23-8. doi: 10.1007/s12011-013-9766-9.

Munzberg H., Bjornholm M., Bates S. H., and Myers M. G., **(2005)**. Leptin receptor action and mechanisms of leptin resistance. *Cellular and molecular life sciences*, Vol. 62, 642-652. doi: 10.1007/s00018-004-4432-1.

Nilsson L. G., and Nilsson E., **(2009)**. Overweight and cognition. *Scandinavian Journal of Psychology*, Vol. 50, 660-667. Doi: 10.1111/j.1467-9450.2009.00777.x.

Organización Mundial de la Salud, Nota descriptiva. Obesidad y sobrepeso. Octubre 2017. Disponible en: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs311/es/>.

Organización Mundial de la Salud, Cita para valores de referencia de Sobrepeso y Obesidad según la OMS para niños de 5 a 19 años de edad. Disponible en: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs311/es/>.

Osorio E. J., Weisstaub N. G and Castillo D. C. **(2002)**. Development of feeding behavior in childhood and its alterations, *Revista chilena de nutrición*, Vol. 29, No. 3. [doi.org/10.4067/S0717-75182002000300002](https://doi.org/10.4067/S0717-75182002000300002).

Ostrosky-Solís F., Lozano G. A., y Gómez P. M., **(2010)**. Cultura, escolaridad y edad en la valoración neuropsicológica, *Revista Mexicana de Psicología*, Vol. 27, No. 2, 285-291.

Ostrosky-Solís F., and Oberg Gunilla., **(2006)**. Neuropsychological functions across the world, common and different features: from digit span to moral judgment, *International Journal of Psychology*, Vol. 41, No. 5, 321-323. doi:: [10.1080/00207590500345450](https://doi.org/10.1080/00207590500345450).

P. Banyard, A. Cassells, P. Green, J. Hartland, N. Hayes y P. Reddy, **(1995)**. Introducción a los procesos cognitivos, versión española a cargo de Nuria Sebastián y Albert Costa, España, 1ra edición

Pannacciulli N., Parigi A., Chen K., Duc Son N.T. Le, Reiman E. M., and Tataranni P. A., **(2006)**. Brain abnormalities in human obesity: A voxel-based morphometric study, *Neuroimage*, Vol. 31, 1419-1425. doi:[10.1016/j.neuroimage.2006.01.047](https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2006.01.047)

Paredes E. M., Benítez C. A. y Meza M. E., **(2017)**. Escolaridad materna y estrato socioeconómico según el estado nutricional de preescolares evaluados en guarderías, *Pediatría (Asunción)*, Vol. 44, No. 1, 43-48. [doi.org/10.18004/ped.2017.abril.43-48](https://doi.org/10.18004/ped.2017.abril.43-48).

Peiser C., McGregor G. P., and Lang R. E., **(2000)**. Binding and internalization of leptin by porcine choroid plexus cells in culture. *Neuroscience Letters*, Vol. 283, (No. 3), 209-212. [doi.org/10.1016/S0304-3940\(00\)00942-3](https://doi.org/10.1016/S0304-3940(00)00942-3)

Penland J.G., Sandstead H.H., Alcock N.W., **(1997)**. A preliminary report: effects of zinc and micronutrient repletion on growth and neuropsychological function of urban Chinese children. *J Am Coll Nutr*, 16:268–272.

Petterson M. S., and Burke A. A., **(2001)**. Effects of poverty and maternal depression on early child development. *Child development*, Vol. 72, No. 6. Pp1794-1813.

Pharoah P. Buttfield I. H., Hetzel B. S., **(2012)**. Neurological damage to the fetus resulting from severe iodine deficiency during pregnancy, *International Journal Epidemiological*, Vol. 41 (No. 3), 589-92. doi: 10.1093/ije/dys070.

Prado E. L., and Dewey K. G., **(2014)**. Nutrition and brain development in early life, *Nutrition reviews*, Vol. 72, (No. 4), 267-84. doi: 10.1111/nure.12102.

Rivera Dommarco J, Shamah Levy T, Villalpando Hernández S, González de Cossío T, Hernández Prado B, Sepúlveda J., **(1999)**. Encuesta Nacional de Nutrición Estado nutricional de niños y mujeres en México. Cuernavaca, Morelos, Instituto Nacional de Salud Pública.

Rivera J. A., Pedraza L., Aburto T. C., Batis C., Sánchez-Pimienta T. G., González de Cossío T., López-Olmedo N., Pedroza-Tobías A., **(2016)**. Overview of the Dietary Intakes of the Mexican Population: Results from the National Health and Nutrition Survey 2012, *Journal of Nutrition*, Vol. 146, 1851S-5S. doi:10.3945/jn.115.221275.

Romaña L. D., Castillo D. C., Diaz granados D., **(2010)**. El zinc en la salud humana II, *Revista Chilena de Nutrición*, Vol. 37, No. 2.

Romaña L. D., Olivares M., Brito A., **(2015)**. Introduction: Prevalence of micronutrient deficiencies in latin america and the Caribbean, *Food and Nutrition Bulletin*, Vol. 36, (No. 2), 95-97. doi: 10.1177/0379572115585736

Rosado J. L., **(1998)**. Zinc deficiency and its functional implications, *Salud Publica de México*, Vol. 40, No. 2, 181-188.

Rosado L. R, Ronquillo D., Kordas K., Rojas O., Alatorre J., Lopez P., Garcia-Vargas G., Caamaño M. C., Cebrián M. E. y Stoltzfus R. J., **(2007)**. Arsenic Exposure and Cognitive Performance in Mexican Schoolchildren, *Research Children's Health, Environmental Health Perspectives*, Vol. 155.

Rubio C., González W. G., Martín I. R. E., Revert C., Rodríguez I. and Hardisson A., **(2007)**. El zinc: oligoelemento esencial, *Nutrición Hospitalaria*, Vol. 22, No. 1, 101-107.

Sandstrom B., Arvidsson b., Cederblad A., and Bjorn E. R., **(1980)**. Zinc absorption from composite meals I. The significance of wheat extraction rate, zinc, calcium, and protein content in meals based on bread, *The American journal of clinical nutrition*, Vol. 33, No. 4, 739-745. doi.org/10.1093/ajcn/33.4.739

Schipper H. S., Nuboer R., Prop S., Van den Ham H. J., de Boer F. K., Kesmins C., Mommers I. M. H., van Bakkum K. A., Woudstra J., Kieft J. H., Hoefler I. E., Jager W., Prakken B., Van Summeren M., and Kalkhoven E., **(2012)**. Systemic inflammation in childhood obesity: circulating inflammatory mediators and activated CD14<sup>++</sup> monocytes, *Diabetología*, Vol. 55, 2800-2810

Sellbom K. S., and Gunstad J., **(2012)**. Cognitive function and decline in obesity. *Journal of Alzheimer's Disease*, vol. 30, No.2, S89-S95. doi: 10.3233/JAD-2011-111073.

Shamah L. T., Villalpando S., Jáuregui A., and Rivera J. A., **(2012)**. Overview of the nutritional status of selected micronutrients in Mexican children in 2006, *Salud Publica de México*, Vol. 54, No. 2, 146-151.

Soria S. G. y Palacio M. V., **(2014)**. El escenario actual de la alimentación en México. *Textos & Contextos (Porto Alegre)*, Vol. 13, No. 1, 128-142.

Stanco G., **(2010)**. Zinc en la infancia: rompiendo paradigmas, *Revista Gastrohnp*, Vol. 12, No. 1, 10-13

Stanek K. M, Grieve S. M., Brickman A. M., Korgaonkar M. S., Paul R. H., Cohen R. A. and Gunstad J. J. **(2011)**. Obesity is associated with reduced white matter integrity in otherwise healthy adults. *Obesity*, Vol. 19, No. 3, 500-504. doi: 10.1038/oby.2010.312.

Stelzer I., Zelzer S., Raggam R. B., Pruller F., Truschnig M., Meinitzer A., Schnedl W. L., Horejsi R., Moller R., Weghuber D., Reeves G., Postolache T. T., and Mangge H., **(2012)**. Links between leptin and interleukin-6 levels in

the initial phase of obesity related inflammation. *Translational research: the journal of laboratory and clinical medicine*, Vol. 159, No. 2, 118-124. doi:10.1016/j.trsl.2011.10.001.

Warthon M. M., Moran V. H., Stammers A. L., Dillon S., Qualter P., Nissensohn M., Serra M. L., and Lowe N. M., **(2015)**. Zinc intake, status and indices of cognitive function in adults and children: a systematic review and meta-analysis, *European Journal of Clinical Nutrition*, Vol. 69, 649-661. doi:10.1038/ejcn.2015.60.

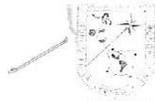
Wechsler D., **(2007)**. WISC-IV: Escala Wechsler de Inteligencia para niños-IV: manual técnico; tr, por Gloria Padilla Sierra. México, Editorial El Manual Moderno, XVIII, 191.

Whitmer R. A., Gunderson E. P., Connor E. B., Quesenberry C. P. and Yaffe K., **(2005)**. Obesity in middle age and future risk of dementia: a 27 year longitudinal population based study, *BJM Papers*, doi:10.1136/bmj.38446.466238.E0

Yaffe K., Kanaya A., Lindquist K., Simonsick E., Harris T., Shorr R., Tylavsky F., and Newman A., **(2004)**. The metabolic syndrome, inflammation, and risk of cognitive decline, *Journal of American Medical Association*, Vol. 292, No. 18, 2237-2242.



## Anexo 2. Cuestionario Nivel Socioeconómico



Código de identificación del sujeto Llénesse rojo con tinta azul

Fecha

No. Registro      Iniciales      dd      mm      aa

Clave del Estudio: 7482

DATOS CLÍNICOS Y SOCIOECONÓMICOS

Escuela/Lugar \_\_\_\_\_

### DATOS SOCIOECONÓMICOS ESTRUCTURA FAMILIAR

1. ¿Cuántas personas viven y duermen en la casa? (incluya si es el caso, tíos, primos, abuelos, etc.)
2. ¿Cuántas personas comen en la casa?

### CONDICIONES DE LA VIVIENDA

3. ¿Cuál es el número total de piezas y/o habitaciones con que cuenta su hogar?, por favor NO incluya baños, medios baños, pasillos, patios ni zotehuelas.
4. ¿Cuántos cuartos utilizan para dormir?
5. ¿Cuántos baños completos con regadera y W.C. (excusado) hay para uso exclusivo de los integrantes de su hogar? Anotar cero si el baño está la aire libre, o es fosa o letrina
6. Contando todos los focos que utiliza para iluminar su hogar, incluyendo los de techos, paredes y lámparas de buró o piso, dígame ¿cuántos focos tiene su hogar?
7. ¿El material de las paredes de la casa es de? 
  - 1 Adobe o piedra (bloques de lodo)
  - 2 Tabique o similares (bloc)
  - 3 Otros (Láminas, cartón, madera, palma)
8. ¿El material de los pisos es de? 
  - 1 Tierra
  - 2 Cemento firme
  - 3 Loseta, mármol, duela, granito
9. ¿El material del techo es de? 
  - 1 Lámina de cartón
  - 2 Lámina de esbesto o teja
  - 3 Madera
  - 4 Cemento o loza
  - 5 Tabique rojo (l'stoncillo)
  - 6 Otros

### PROPIEDAD DE LA VIVIENDA

10. ¿A quién pertenece la vivienda? 
  - 1 Prestada
  - 2 Rentada
  - 3 Es casa propia

### MEDIO DE TRANSPORTE

11. ¿Cuántos automóviles propios, excluyendo taxis, tienen en su hogar?
12. ¿Cuál es el medio de transporte que utiliza con mayor frecuencia? 
  - 1 Bicicleta (solo si es para transportarse como los bici taxis, no la de los niños)
  - 2 Automóvil propio
  - 3 Transporte público (camión, taxi, colectivo, metro, tren ligero, )
  - 4 Otros

### Anexo 3. Frecuencia de consumo



Llénesse sólo con tinta azul

Código de identificación del sujeto      Fecha de Aplicación

ID      Iniciales      Día      Mes      Año

FRECUECIA DE ALIMENTOS

NUTRICION HUMANA

VERDURAS Y FRUTAS							
ALIMENTO	Número de veces al				Nunca	En temporada	CODIGO
	Día	Semana	Mes	Año			
1 Betabel							
2 Brócoli							
3 Calabacitas							
4 Cebolla							
5 Champiñón							
6 Chayote							
7 Chícharo							
8 Chilaca							
9 Chile pobiano							
10 Col							
11 Coliflor							
12 Ejotes							
13 Elote							
14 Huitlacoche							
15 Jitomate							
16 Lechuga							
17 Nopales							
18 Pepino							
19 Pimiento morrón							
20 Rábano							
21 Verdolaga / acelga / quelites/ espinaca							
22 Zanahoria							
23 Salsa verde							
24 Salsa roja							
25 Durozno							
26 Fresa							
27 Garambullo							
28 Guayaba							
29 Jícama							
30 Lima							
31 Limón							
32 Granada							
33 Higos							



## Anexo 5. Escala de Inteligencia de Wechsler WISC-IV



Nombre del niño: \_\_\_\_\_  
 Examinador: \_\_\_\_\_

### Estimación de la edad del niño

	Año	Mes	Día
Fecha de evaluación			
Fecha de nacimiento			
Edad a la evaluación			

### Conversiones de puntuación natural total a puntuación escalar

Subprueba	Puntuación natural	Puntuaciones escalares
Diseño con cubos		
Similitudes		
Retención de dígitos		
Conceptos con dibujos		
Claves		
Vocabulario		
Sucesión de números y letras		
Matrices		
Comprensión		
Búsqueda de símbolos		
(Figuras incompletas)		
(Registros)		
(Información)		
(Aritmética)		
Palabras en contexto (Pistas)		

Suma de puntuaciones escalares	Comprensión verbal	Razonamiento perceptual	Memoria de trabajo	Velocidad de procesamiento	Escala Total
	Todas las 10 subpruebas*		3 de Comprensión verbal	3 de Razonamiento perceptual	
Suma de puntuaciones escalares					
Número de subpruebas	+ 10	+ 3	+ 3		
Puntuación media					

\* La media total se calcula a partir de las 10 subpruebas esenciales.

### Cálculo de puntuaciones índice

Escala	Suma de puntuaciones escalares	Índice compuesto	Rango percentil	Intervalo de confianza de %
Comprensión verbal				
Razonamiento perceptual				
Memoria de trabajo				
Velocidad de procesamiento				
Escala Total				

Manual Moderno®  
 D.R. © 2005 (Estadística)  
 Editorial El Manual Moderno, S.A. de C.V.  
 Av. Sotera 206, Col. Hipódromo, 06190  
 México, D.F.

MMP  
 75-3

Traducción y adaptación con permiso Copyright © 2003 por The Psychological Corporation, U.S.A. Traducción al Español copyright © 2005 por The Psychological Corporation, U.S.A. Elementos originales en Español D.R. © 2007 por Editorial Manual Moderno, S.A. de C.V. México. Todos los derechos reservados.  
 Ninguna parte de esta publicación puede ser reproducida, almacenada en sistema alguno de tarjetas perforadas o transmitida por otro medio —electrónico, mecánico, fotocopia, registrador, etcétera— sin permiso previo por escrito de la Editorial.  
 ISBN 978-729-262-3 (Protocolo de registro)  
 ISBN 978-729-261-X (Pruebas completas)

## Protocolo de registro

### Perfil de puntuaciones escalares de subprueba

	Comprensión verbal					Razonamiento perceptual					Memoria de trabajo					Velocidad de procesamiento				
	SE	YB	CM	(IN)	(PC)	DC	CD	MT	(FI)	RD	NL	(AR)	CL	BS	(RC)					
19																				
18	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•					
17	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•					
16	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•					
15	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•					
14	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•					
13	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•					
12	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•					
11	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•					
10	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•					
9	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•					
8	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•					
7	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•					
6	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•					
5	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•					
4	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•					
3	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•					
2	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•					
1	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•					

### Perfil de puntuaciones compuestas

