



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE HIDALGO

UNIVERSIDAD AUTONOMA DEL ESTADO DE HIDALGO
INSTITUTO DE CIENCIAS DE LA SALUD
AREA ACADEMICA DE MEDICINA
MAESTRIA EN SALUD PÚBLICA

**“EVALUACION DEL NEURO-DESARROLLO EN
NIÑOS EXPUESTOS A PLOMO EN LA ZONA
INDUSTRIAL DE TULA DE ALLENDE, HIDALGO”**

Proyecto terminal de carácter profesional para obtener el grado de:

MAESTRO EN SALUD PÚBLICA

PRESENTA:

SAÚL RODRÍGUEZ RIVERA

DIRECTOR DEL PROYECTO TERMINAL:

D. en C.S.P. JESUS CARLOS RUVALCABA LEDEZMA

CODIRECTORA:

D. en C.A. NADIA AZENET PELALLO MARTINEZ

Pachuca de Soto, Hidalgo; mayo 2017.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

Instituto de Ciencias de la Salud

School of Health Sciences

Área Académica de Medicina

Department of Medicine

Maestría en Salud Pública

Master in Public Health

Oficio No. ICSa/AAM/MSP/097/2017

Asunto: Autorización Impresión de PPT

Pachuca de Soto, Hgo., a 11 de Mayo del 2017

C. SAÚL RODRÍGUEZ RIVERA
ALUMNO DE LA MAESTRÍA EN SALUD PÚBLICA
STUDENT OF THE MASTER IN PUBLIC HEALTH

Comunicamos a usted que el Comité Tutorial de su Proyecto de Producto Terminal denominado *"Evaluación del Neuro-Desarrollo en niños expuestos a plomo en la Zona Industrial de Tula de Allende, Hidalgo"* considera que ha sido concluido satisfactoriamente, por lo que puede proceder a la impresión de dicho trabajo.

Atentamente.
"Amor, Orden y Progreso"

MC.Esp. José Ma. Busto Villarreal
Director del Instituto de Ciencias de la Salud
Dean

MC. Esp. Luis Carlos Romero Quezada
Jefe del Área Académica de Medicina
Chair of the Department of Medicine

M. en S.P. Luis Enrique Díaz Pérez
Coordinador de la Maestría en Salud Pública
Director of Graduate Studies Master in Public Health

LEDPrint™



Eliseo Ramírez Ulfoa Num. 400
Col. Doctores
Pachuca de Soto, Hidalgo, C.P.42090
Teléfono:52(771) 71 720 00 Ext. 2366
maestría.saludpublica@uaeh.edu.mx

Pachuca de Soto, Hgo., Mayo 8 del 2017

M. en S.P. LUIS ENRIQUE DÍAZ PÉREZ
COORDINADOR DE LA MAESTRÍA EN SALUD PÚBLICA
DIRECTOR OF GRADUATE STUDIES MASTER IN PUBLIC HEALTH

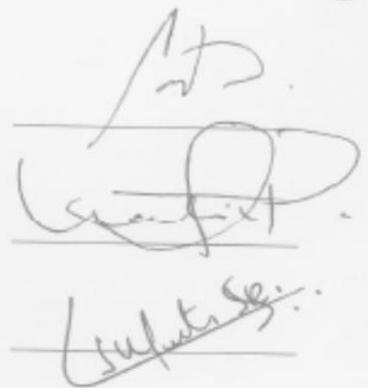
Los integrantes del Comité Tutorial comunicamos a usted que el Proyecto de Producto Terminal denominado "Evaluación del Neuro-Desarrollo en niños expuestos a plomo en la zona Industrial de Tula de Allende, Hidalgo", del alumno **Saúl Rodríguez Rivera**, con número de cuenta X00021, ha sido concluido y se encuentra en condiciones de continuar el proceso administrativo para proceder a la autorización de su impresión.

Atentamente.
"Amor, Orden y Progreso"

D. en C.S.P Jesús Carlos Ruvalcaba Ledezma Director

D. en C.A. Nadia Azonof Pelallo Martínez Codirectora

M. en E. Juan Francisco Martínez Campos Asesor



JAIEH
BIBLIOTECA

AGRADECIMIENTOS

A Gabriela y Daniela, mis compañeras de vida; por su amor.

A mis padres y hermanos, por su ejemplo y experiencias compartidas.

A mis profesores y asesores, por entregar sus conocimientos.

A mi Comité Tutorial, por su apoyo y ardua labor para dirigir éste proyecto.

INDICE

GLOSARIO DE TÉRMINOS	4
ABREVIATURAS	5
CUADROS Y FIGURAS	6
RESUMEN	8
ABSTRACT	9
INTRODUCCIÓN	10
ANTECEDENTES	13
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	18
PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	21
JUSTIFICACION	21
OBJETIVOS	21
OBJETIVO GENERAL.....	21
OBJETIVOS ESPECIFICOS	22
MATERIAL Y METODOS	22
DISEÑO	22
POBLACIÓN DE ESTUDIO.....	22
MUESTRA	23
SITIO DEL ESTUDIO.....	23
FUENTES DE INFORMACIÓN	24
VARIABLES.....	26
<i>Definición conceptual</i>	26
<i>Definición operacional</i>	27
ANÁLISIS DE LOS DATOS	28
CONSIDERACIONES ÉTICAS	29

RESULTADOS	30
<i>Características sociodemográficas de la muestra</i>	30
<i>Exposición a Plomo</i>	34
<i>Hallazgos hematológicos</i>	34
<i>Evaluación del Desarrollo Neurológico</i>	35
ANÁLISIS BIVARIADO	36
<i>Características sociodemográficas de la muestra</i>	36
<i>Alteraciones Hematológicas</i>	42
<i>Evaluación del Desarrollo Neurológico</i>	44
DISCUSIÓN	48
CONCLUSIONES	53
REFERENCIAS	54
ANEXOS	58
Anexo 1. Cuestionario de Factores de Exposición Ambiental.....	58
Anexo 2. Cuestionario Regla AMAI NSE 10X6	61
Anexo 3. Figura Compleja de Rey.....	63
Anexo 4. Consentimiento informado	64

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Asociación epidemiológica: se refiere a la existencia de un vínculo de dependencia entre una variable y otra. En general, la forma de identificar la asociación es a través de la comparación de dos o más grupos, para determinar si la frecuencia, magnitud o la presencia de una de las variables modifica la frecuencia de la otra en algún sentido.

Escenarios de riesgo: corresponden a las demarcaciones geopolíticas asentadas en territorios cercanos a los sitios peligrosos contaminados.

Función Visuo-constructiva: es la capacidad para copiar figuras o formas en dos o tres dimensiones.

Exposición a plomo: ocurre cuando una persona ingiere un objeto de plomo o inhala polvo de plomo, parte del metal puede permanecer en el cuerpo. Depende de la dosis ingerida, se pueden presentar efectos en salud.

Memoria espacial: es la parte de la memoria responsable de registrar la información sobre el entorno y la orientación espacial.

Retraso en el desarrollo: ocurre cuando un sujeto no cumple con los hitos de desarrollo esperados en varios campos del funcionamiento intelectual.

Riesgo en salud: es la probabilidad de que un efecto no deseado o daño a la salud ocurra como resultado de la exposición a agentes causales (tóxicos, xenobióticos, contaminantes).

Ruta de exposición: Referente ruta, vía y punto de exposición a un contaminante o tóxico. Involucra matrices ambientales y depende de las características termodinámicas y la labilidad del compuesto.

Sitios peligrosos contaminados: son aquellos sitios mineros, regiones agrícolas, zonas industriales, campos petroleros, depósitos de residuos o basura, cuerpos de agua contaminados y áreas afectadas por contaminación natural.

Vulnerabilidad al riesgo: se refiere a las diferencias en la condición biológica individual y los estilos de vida.

ABREVIATURAS

ADE: Amplitud de Distribución Eritrocitaria

AMAI NSE 10X6: Índice de Nivel Socioeconómico

ATSDR: Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades

CI: Coeficiente Intelectual

CFE: Comisión Federal de Electricidad

CMHC: Concentración Media de Hemoglobina Corpuscular

DGE: Dirección General de Epidemiología

FCR: Figura Compleja de Rey

Hb: Hemoglobina

HCM: Hemoglobina Corpuscular Media

Hto: Hematocrito

IMC: Índice de Masa Corporal

NMDA: N-Metil-D-Aspartato

NOS: Sintasa del Óxido Nítrico

OMS: Organización Mundial de la Salud

PEMEX: Petróleos Mexicanos

PLT: Plaquetas

RECT: Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes

SEMARNAT: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales

SINAVE: Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica

UNEP: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente

VCM: Volumen Corpuscular Medio

CUADROS Y FIGURAS

Cuadros

Cuadro 1. Características sociodemográficas de los niños incluidos en el estudio que habitan en la zona industrial del municipio de Tula de Allende, Hidalgo.....	35
Cuadro 2. Estado nutricional de los niños incluidos en el estudio que habitan en la zona industrial del municipio de Tula de Allende, Hidalgo.....	37
Cuadro 3. Exposición a Plomo de los niños incluidos en el estudio que habitan en la zona industrial del municipio de Tula de Allende, Hidalgo.....	38
Cuadro 4. Hallazgos hematológicos de los niños incluidos en el estudio que habitan en la zona industrial del municipio de Tula de Allende, Hidalgo.....	39
Cuadro 5. Evaluación del desarrollo neurológico de los niños incluidos en el estudio que habitan en la zona industrial del municipio de Tula de Allende, Hidalgo.....	40
Cuadro 6. Características sociodemográficas de los niños incluidos en el estudio por zona de ubicación en el municipio de Tula de Allende, Hidalgo.....	42
Cuadro 7. Estado nutricional de los niños incluidos en el estudio por zona de ubicación en el municipio de Tula de Allende, Hidalgo.....	44
Cuadro 8. Exposición a Plomo de los niños incluidos en el estudio por zona de ubicación en el municipio de Tula de Allende, Hidalgo.....	45
Cuadro 9. Alteraciones hematológicas de los niños incluidos en el estudio por zona de ubicación en el municipio de Tula de Allende, Hidalgo.....	47
Cuadro 10. Evaluación del desarrollo neurológico de los niños incluidos en el estudio que habitan en la zona industrial del municipio de Tula de Allende, Hidalgo.....	49

Figuras

Figura 1. Trayectoria de las fuentes y efectos de los contaminantes.....	16
Figura 2. Metabolismo del plomo.....	18
Figura 3. Efectos neurotóxicos de metales pesados.....	20
Figura 4. El Llano 2da sección.....	22
Figura 5. San Miguel Vindhó.....	23
Figura 6. Emisiones de contaminantes por industrias.....	23
Figura 7. Figura Compleja de Rey-Osterrieth (FCR).....	28

Figura 8. Distribución por sexo de los niños que habitan en la zona industrial del municipio de Tula de Allende, Hidalgo 2015.....	34
Figura 9. Distribución por edad de los niños que habitan en la zona industrial del municipio de Tula de Allende, Hidalgo 2015.....	36
Figura 10. Escolaridad de la madre de los niños que habitan en la zona industrial del municipio de Tula de Allende, Hidalgo 2015.....	36
Figura 11. Distribución por nivel socioeconómico de los niños que habitan en la zona industrial del municipio de Tula de Allende, Hidalgo 2015.....	37
Figura 12. Distribución por sexo de los niños incluidos en el estudio por zona de ubicación en el municipio de Tula de Allende, Hidalgo 2015.....	41
Figura 13. Escolaridad de la madre de los niños incluidos en el estudio por zona de ubicación en el municipio de Tula de Allende, Hidalgo 2015.....	43
Figura 14. Estado nutricional de los niños incluidos en el estudio por zona de ubicación en el municipio de Tula de Allende, Hidalgo.....	44
Figura 15. Exposición a Plomo de los niños incluidos en el estudio por zona de ubicación en el municipio de Tula de Allende, Hidalgo.....	45
Figura 16. Saturación de Oxígeno de los niños incluidos en el estudio por zona de ubicación en el municipio de Tula de Allende, Hidalgo.....	46
Figura 17. Desarrollo de la función Visuo-Constructiva de los niños incluidos en el estudio que habitan en la zona industrial del municipio de Tula de Allende, Hidalgo.....	49
Figura 18. Desarrollo de la función Memoria Espacial de los niños incluidos en el estudio que habitan en la zona industrial del municipio de Tula de Allende, Hidalgo.....	50
Figura 19. Correlación de la Función Visuo-Constructiva y los niveles de Plomo en sangre de los niños que habitan en la zona industrial del municipio de Tula de Allende, Hidalgo.....	50
Figura 20. Correlación de la Memoria Espacial y los niveles de Plomo en sangre de los niños que habitan en la zona industrial del municipio de Tula de Allende, Hidalgo.....	51

RESUMEN

Objetivo: Determinar la asociación de los niveles de plomo en sangre y su efecto en el desarrollo neurológico en niños de edad escolar residentes de dos zonas del área industrial de Tula de Allende en el estado de Hidalgo durante el 2015.

Material y Métodos: Estudio observacional, transversal, descriptivo que incluyó a 43 niños entre 8 y 11 años de edad que residían en la zona industrial del municipio de Tula de Allende el estado de Hidalgo. Se evaluaron las alteraciones del desarrollo neurológico por medio de la prueba de Figura Compleja de Rey y las concentraciones de plomo a través de muestras de sangre por punción venosa. Se incluyeron como variables explicativas las características de los niños, escolaridad de la madre, nivel socioeconómico y estado nutricional. El análisis de datos se realizó por comparación de medias y proporciones de las diferentes zonas cercas al área industrial y se estimaron correlaciones de los niveles de plomo en sangre y funciones del desarrollo neurológico.

Resultados: La concentración promedio de plomo en sangre fue de $4.57 \mu\text{g/dL} \pm 1.97$; la media aritmética y $4.22 \mu\text{g/dL}$ IC 95%: 3.59-4.941 en la media geométrica. Los mayores niveles de plomo se encontraron en la Zona 2 de San Miguel Vindhó, donde se reportó una mayor proporción de niñas (66.67%), cuyas madres presentaron un mayor nivel de escolaridad. No se encontraron alteraciones hematológicas de relevancia clínica. Se observó que el puntaje de memoria espacial de los niños de la Zona 2 fue menor (37.6 ± 10.09), sin embargo, no se encontró una correlación lineal entre los niveles de plomo en sangre y el retraso en la memoria espacial ($Rho=-0.14$, $p= 0.9$).

Conclusiones: Aun cuando los resultados no fueron concluyentes para determinar la asociación del plomo con las alteraciones neurológicas de los niños de la Zona Industrial de Tula de Allende, esta asociación se ha documentado en la literatura. Por lo que es imprescindible que se realicen estudios epidemiológicos y ambientales, de mayor escala y de larga duración, para dar seguimiento a esta investigación.

Palabras clave: Exposición a plomo, desarrollo infantil, síndromes de Neurotoxicidad, industrias.

ABSTRACT

Objective: To determine the association of blood lead levels and their effect on neurodevelopmental development in school-aged children living in two areas of the industrial zone of Tula de Allende in the state of Hidalgo during 2015.

Material and Methods: A observational, cross-sectional, descriptive study involving 43 children aged 8 to 11 years old residing in the industrial zone of the municipality of Tula de Allende in the state of Hidalgo. Neurodevelopmental disturbances were evaluated by means of the Rey Complex Figure test and lead concentrations through venipuncture blood samples. The characteristics of the children, mother's educational level, socioeconomic status and nutritional status were included as explanatory variables. Data analysis was performed by comparing the means and proportions of the different fence zones in the industrial area and correlations of blood lead levels and neurodevelopmental functions were estimated.

Results: The mean blood lead concentration was $4.57 \mu\text{g} / \text{dL} \pm 1.97$ in the arithmetic mean and $4.22 \mu\text{g} / \text{dL}$ 95% CI: 3.59-4.941 in the geometric mean. The highest levels of lead were found in Zone 2 of San Miguel Vindhó, where a higher proportion of girls (66.67%) were reported, whose mothers had a higher level of schooling. There were no hematological alterations of clinical relevance. It was observed that the spatial memory score of children in Zone 2 was lower (37.6 ± 10.09), however, a linear correlation was not found between blood lead levels and spatial memory delay ($\text{Rho} = 0.14, p = 0.9$).

Conclusions: Although the results were not conclusive to determine the association of lead with the neurological alterations of children in the Industrial Zone of Tula de Allende, this association has been documented in the literature. Therefore, it is imperative to carry out larger-scale, long-term epidemiological and environmental studies to follow up on this research.

Key words: Lead exposure, child development, neurotoxicity syndromes, industries.

INTRODUCCIÓN

En el estudio de los determinantes de la salud de una población se incluye a las condiciones ambientales del entorno y la vulnerabilidad biológica de los seres humanos vinculada a los estilos de vida, así como a las condiciones sociales que se traducen significativamente en el lugar en el que ocurre el fenómeno salud – enfermedad (Lalonde, 1974) .

Estas condiciones ambientales propiciadas por las necesidades del hombre en las poblaciones permiten identificar la probabilidad de que un efecto no deseado o daño a la salud ocurra como resultado de la exposición a agentes causales (tóxicos, xenobióticos, contaminantes), a ésta probabilidad en términos de salud ambiental se le denomina **riesgo en salud**. En este sentido podemos señalar que ciertos riesgos a la salud se hacen presentes ante la exposición a agentes causales de enfermedad que amenazan la salud de las poblaciones. (Ilizaliturri, 2009)

En nuestro país, los **sitios peligrosos contaminados** con sustancias tóxicas son aquellos sitios mineros, regiones agrícolas, zonas industriales, campos petroleros, depósitos de residuos o basura, cuerpos de agua contaminados y áreas afectadas por contaminación natural (Díaz-Barriga, 1996). Al respecto las demarcaciones geopolíticas asentadas en territorios cercanos a éstos sitios peligrosos contaminados se definen como **escenarios de riesgo** para la salud de la población.

Cuando una sustancia se libera, entra al medio ambiente como emisión química. Esta emisión no siempre causa una exposición. La exposición a una sustancia química en el medio ambiente se produce únicamente cuando el individuo entra en contacto con ésta al respirar, consumir o beber sustancias que contienen la sustancia química, o al tocar la sustancia con la piel y a éste contacto se le denomina **ruta o vía de exposición**. (ATSDR, 1995)

Los individuos pueden estar expuestos, a una sustancia o mezcla de sustancias, por más de una ruta o vía de exposición, ésta condición en un **escenario de riesgo** produce que dicha mezcla de sustancias químicas sume los riesgos por la exposición a cada sustancia individual y puede resultar en efectos adversos para la salud por la exposición, aunque la concentración de cada una de ellas esté por abajo de los niveles de tolerancia.

El modelaje del movimiento de mezclas en el ambiente es difícil, dado que es probable que los diferentes componentes de la mezcla se comporten en forma diferente y, la mezcla vaya cambiando de composición a medida que se mueve a lo largo de la ruta de exposición (Peña, 2001); estas características definen a ésta pluralidad de sustancias y características en una **mezcla compleja**.

Si bien es cierto, que factores como la dosis, la duración, la ruta o vía de exposición de la mezcla compleja, determinan en cierta medida la presencia de efectos, los tipos de efectos y la gravedad de los mismos, al encontrarse con las diferencias en la condición biológica individual y los estilos de vida definen el concepto de **vulnerabilidad al riesgo**, lo que se traduce en que existen personas o grupos de personas en el escenario de riesgo más susceptibles que otras de presentar daños a su salud.

Según publicaciones del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP por sus siglas en inglés) la calidad ambiental es uno de los factores clave en la determinación de si un niño sobrevive los primeros años de vida y fuertemente influye en su desarrollo físico y mental. (UNEP, 2002)

Una marcada diferencia existe entre la vulnerabilidad al riesgo que tiene un adulto a la que los niños enfrentan, los niños son más susceptibles a las amenazas medioambientales durante diferentes etapas de la vida - desde la concepción y hasta la adolescencia - por su inmadurez anatómica, fisiológica y dependencia psicosocial, éste hecho se fundamenta en que son más susceptibles por la etapa de crecimiento y desarrollo (de los diferentes órganos y sistemas) en la que se encuentran; están más expuestos ya que proporcionalmente comen más

alimentos por kilogramo de peso, beben más líquidos y respiran más aire que los adultos, además de ser más vulnerables por su inexperiencia de autoprotección, (Zayas Mujica & Cabrera Cárdenas, 2007) el crecimiento rápido y los procesos de desarrollo que se producen pueden ser interrumpidos por la exposición a sustancias químicas ambientales; las vías de exposición también pueden ser diferentes; los niños también tienen más años de vida futura y por lo tanto, más tiempo para desarrollar enfermedades crónicas que aparecen décadas después de la exposición temprana. (IPCS, 2006) (EPA, 2006)

El grupo etario con mayor descenso es el de niños y niñas menores de cinco años, que en 1980 representó el 28.9% de las defunciones totales, en tanto que en 2010 solo representa el 5.9%. En ese mismo periodo la tasa de mortalidad infantil disminuyó en más de 60%, al caer de 39.9 a 15.2 por mil nacimientos estimados. (SINAVE/DGE/SALUD, 2012). A pesar de la disminución de la mortalidad en los niños, las estimaciones sugieren que hasta un tercio de la carga global de enfermedad en los expuestos a amenazas ambientales puede ser atribuida a indicadores negativos, tales como el agua y el aire contaminado.

La contaminación del aire constituye un riesgo medioambiental para la salud, la OMS estima que causa mundialmente alrededor de dos millones de muertes prematuras al año. La exposición a los contaminantes atmosféricos está, en gran medida, fuera del control de las personas expuestas a pesar de ser, en gran medida, prevenibles mediante la adopción de acciones decisivas ya que requiere medidas objetivas de las autoridades públicas a nivel local, regional, nacional e internacional. (OMS, 2011)

ANTECEDENTES

El municipio de Tula de Allende, (20° 03' N, 99° 17' O) se encuentra ubicado a 60 km de la ciudad de Pachuca de Soto y a 70 km de la ciudad de México, en la zona suroeste del estado de Hidalgo y a una altitud de 2,060 metros sobre el nivel del mar.

La región es semiplana, presentando llanos y colinas en la zona, y uno de los elementos hidrográficos del municipio, de importancia ambiental, es el Río Tula, el cual recibe en gran mayoría aguas residuales del centro del país. En una revisión realizada por Cabrera (2008) indica que los vientos predominantes durante los años 2000-2004 provienen del norte-noreste en la mayoría de los meses del año.

En 1989, Tula de Allende fue clasificada dentro de la región Tula-Vito–Apasco (municipios de Tula de Allende, Tepeji de Ocampo, Tlahuelilpan, Atitalaquia, Atotonilco de Tula, Tlaxcoapan y Apaxco) como zona crítica basada en la actividad industrial por los tipos y cantidad de fuentes emisoras de contaminantes atmosféricos (INE, 2013). La zona industrial se ubica a 5 km al este de la ciudad y en ésta se encuentran las principales industrias emisoras de contaminantes en el municipio.

Durante 2012, en el Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes (RECT) reportaron en el municipio: La Central Termoeléctrica “Francisco Pérez Ríos” y “Ciclo Combinado Tula” de la Comisión Federal de Electricidad (CFE), teniendo como actividad principal la generación, transmisión y distribución de energía eléctrica; La Refinería “Miguel Hidalgo” de Petróleos Mexicanos (PEMEX) dedicada a la refinación del petróleo; y Cooperativa la Cruz Azul, dedicada a la fabricación de cemento. (SEMARNAT, 2012)

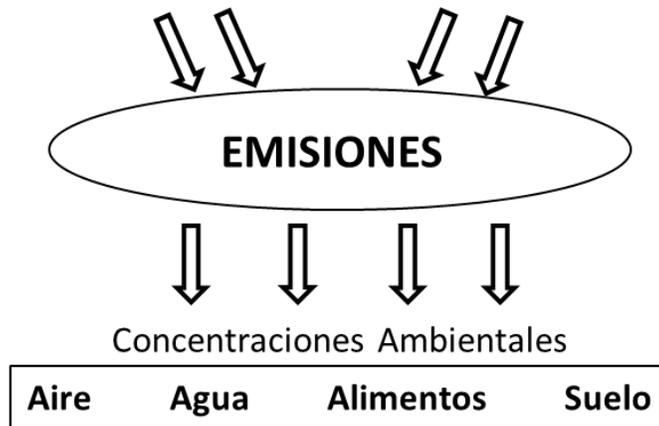


Figura 1. Trayectoria de las fuentes y efectos de los contaminantes

Al respecto, el RECT reportó emisión de Arsénico, Benceno, Cadmio, Cianuro, Cromo, Mercurio, Níquel, Plomo y Dioxinas al ambiente por las industrias mencionadas anteriormente en 2012 (SEMARNAT, 2012).

La población que habita en la zona puede estar potencialmente expuesta a éstos compuestos por varias rutas y de ello como se comentó previamente los niños son los más vulnerables a los efectos de los mismos. Los efectos adversos ante la exposición pueden manifestarse mucho tiempo después, incluso en la vida adulta (EPA, 2006). De la lista de compuestos reportados en el RECT para el municipio de Tula en 2012 la industria petroquímica ubicada en la localidad “El Llano 2° sección”, registró emisión de plomo al aire y agua.

El plomo es considerado por la Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR por sus siglas en inglés), como potencial neurotóxico y hematotóxico (ATSDR, Reseña Toxicológica del Plomo, 2007). Los efectos del plomo son los mismos si se ingiere o inhala, ya que puede afectar a casi todos los órganos y sistemas en el cuerpo. El más sensible es el sistema nervioso, tanto en niños como en adultos. La exposición a niveles altos de plomo puede dañar seriamente el cerebro y los riñones de niños y adultos y causar la muerte.

El plomo es uno de los metales más usados, ubicuos conocidos por los humanos, es detectable en prácticamente todas las fases del medio ambiente y los sistemas biológicos. Los niveles medio ambientales de plomo han sido incrementados al menos más de 1,000 veces en los últimos tres siglos como resultado de la actividad humana, el gran incremento ocurrió entre 1950 y 2000. El plomo es un elemento natural que se encuentra en el grupo 14 (IV-A) de la tabla periódica, con un peso atómico de 207.2, es de color gris-azulado usualmente combinado con dos o más elementos para formar componentes de plomo. (ATSDR, Toxicological Profile for Lead, 2005)

El plomo entra al cuerpo a través de la absorción intestinal por medio de la ingestión; a los pulmones ingresa a través de la inhalación y en la piel por adsorción; el plomo que ha ingresado al organismo es transportado por medio del torrente sanguíneo a todos los órganos y tejidos. Una vez que el plomo ha sido absorbido puede acumularse en huesos, dientes, hígado, pulmón, riñón, cerebro y bazo; asimismo, es capaz de atravesar la barrera hemato-encefálica y placentaria. (Nava-Ruiz, 2011)

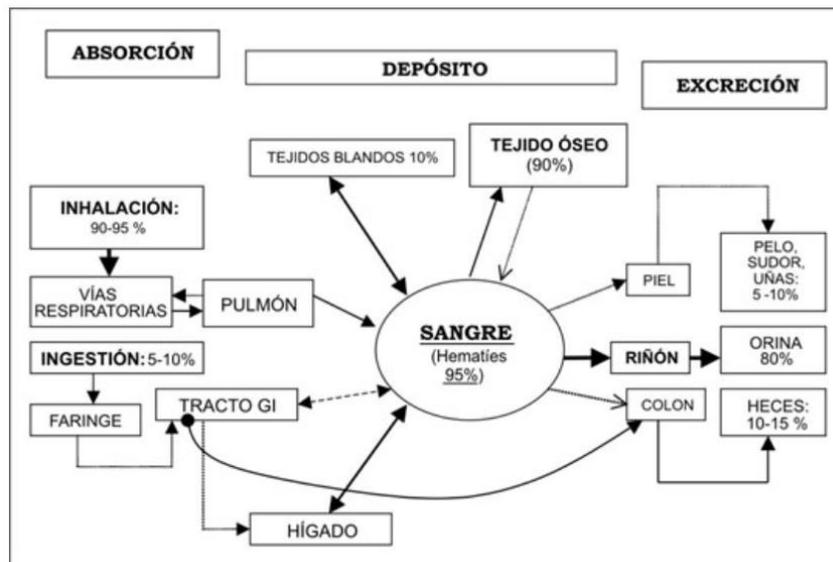


Figura 2. Metabolismo del plomo

Los niños son más sensibles que los adultos a la intoxicación con plomo debido a que pueden exponerse al ingerir trozos de pintura seca con plomo, chupando objetos pintados con pintura con plomo e inhalando o tragando polvo o tierra que contienen plomo. Un niño que traga cantidades altas de plomo puede desarrollar anemia y sufrir serios dolores de estómago, debilidad muscular y daño cerebral. Si un niño traga cantidades de plomo más bajas, los efectos sobre el sistema nervioso y la sangre serán de menor gravedad. Aun a niveles de exposición mucho más bajos, el plomo puede afectar el desarrollo mental y físico de un niño.

La exposición al plomo es más peligrosa para niños y el feto que para adultos. El feto puede estar expuesto al plomo a través de la madre y producirle efectos dañinos que van desde nacimientos prematuros, bebés de menor tamaño, disminución de la capacidad mental del niño, dificultades de aprendizaje y retardo del crecimiento en niños pequeños. Estos efectos son más comunes si la madre o el bebé estuvieron expuestos a niveles altos de plomo. Algunos efectos pueden durar más allá de la infancia. (ATSDR, Reseña Toxicológica del Plomo, 2007)

Clínicamente los síntomas más importantes que se observan en la intoxicación por plomo son: dolor de cabeza, irritabilidad, dolor abdominal y otros relacionados con el sistema nervioso central en intoxicaciones agudas. Mientras que en la intoxicación crónica por plomo en humanos con frecuencia desarrolla torpeza, irritabilidad, falta de atención, constipación epigástrica, vómito y convulsiones, en ocasiones muerte; asimismo, una de las manifestaciones clásicas de esta intoxicación es la neuropatía periférica observada principalmente en adultos laboralmente expuestos al plomo. Por otro lado, los niños expuestos a plomo que son afectados por encefalopatía presentan letargo, torpeza, vómito, irritabilidad y anorexia, en casos graves la prolongada exposición puede ocasionar disminución en la función cognitiva, memoria y aprendizaje disminuido, con un incremento en los desórdenes de desarrollo, en especial agresividad, psicosis confusión y déficit mental. (Nava-Ruiz, 2011)

El plomo tiene múltiples efectos hematológicos induciendo anemia, glóbulos rojos microcíticos e hipocrómicos, deficiencia de hierro e inusual incremento en el número de reticulocitos (Papanikolaou, 2005); la anemia resulta de dos defectos básicos: disminución del tiempo de vida del eritrocito y daño en la síntesis del grupo *hemo*.

Entre los principales mecanismos de acción de la neurotoxicidad de plomo se encuentra el incremento en la peroxidación de lípidos y una disminución en la actividad de las enzimas antioxidantes en animales expuestos a diferentes concentraciones de plomo, sin embargo, existen tres mecanismos de suma importancia en la neurotoxicidad del plomo por sus implicaciones en la salud pública: 1) el efecto que ejerce en la liberación de glutamato, 2) la función de los receptores tipo N-Metil-D-Aspartato (NMDA) los cuales son afectados produciendo elevada excitotoxicidad; y 3) el efecto que tiene el plomo en la producción de óxido nítrico vía la activación de la Sintasa del Óxido Nítrico (NOS). Estos tres mecanismos son esenciales para la inducción de la potenciación a largo plazo en el hipocampo, lo que lleva a la formación y consolidación de la memoria y el aprendizaje, proceso que se ve afectado severa y principalmente en niños que han sufrido exposición a este metal (Toscano, 2005).

	Disminución	Incremento
Casos graves con exposición prolongada	Función Cognitiva	Agresividad
	<i>Memoria</i>	Psicosis, confusión
	<i>Aprendizaje</i>	Déficit Mental

Figura 3. Efectos neurotóxicos de metales pesados

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Aun cuando el municipio de Tula de Allende se encuentra expuesto a diferentes fuentes de contaminantes, existen zonas dentro del municipio que resultan ser más afectadas que el resto debido a que se encuentran en la proximidad de las fuentes contaminantes, entre las que encontramos El Llano 2ª sección y San Miguel Vindhó.

La colonia El Llano 2ª Sección se localiza en el municipio de Tula de Allende. Longitud (dec): -99.318056, Latitud (dec): 20.057222, a una mediana altura de 2060 metros sobre el nivel del mar. Su clima es templado y frío, con una temperatura promedio anual de 17.6° C.

En el Llano existe un total de 3,284 hogares. La población total es de 12,671 personas, de cuales 6,181 son hombres y 6,490 mujeres. De acuerdo con el grupo etario encontramos que habitan 4,789 menores de edad y 7,882 adultos, de cuales 747 tienen más de 60 años.

Cerca de El Llano 2ª Sección se encuentran ubicadas la Central Termoeléctrica “Francisco Pérez Ríos” y “Ciclo Combinado Tula” de la Comisión Federal de Electricidad (CFE), así como La Refinería “Miguel Hidalgo” de Petróleos Mexicanos (PEMEX) (Figura 4).

Por lo que, la población que vive en esta zona se encuentra expuesta a una gran cantidad de contaminantes diversos generados de dos fuentes contaminantes y que son emitidos al aire, lo que podría estar afectando las condiciones de vida de los habitantes, en especial de los niños.



Figura 4. El Llano 2da sección

Por otro lado, San Miguel Vindhó se localiza a una Longitud (dec): -99.325556, Latitud (dec): 19.989167, a una mediana altura de 2100 metros sobre el nivel del mar. En San Miguel Vindhó existe un total de 2,805 hogares. La población total es de 10,737 personas, de los cuales 5,193 son hombres y 5,544 mujeres. De acuerdo con el grupo etario encontramos que habitan 3,446 menores de edad y 7,291 adultos, de los cuales 973 tienen más de 60 años.

Cerca de San Miguel Vindhó se ubica la Cooperativa la Cruz Azul, dedicada a la fabricación de cemento, donde su proceso de elaboración emite ciertos contaminantes que son liberados al aire poniendo en riesgo la salud de la población (figura 5).



Figura 5. San Miguel Vindhó

Las Centrales Termoeléctricas “Francisco Pérez Ríos” y “Ciclo Combinado Tula” de la Comisión Federal de Electricidad (CFE), así como La Refinería “Miguel Hidalgo” de Petróleos Mexicanos (PEMEX) y la Cooperativa la Cruz Azul son responsables de la emisión de Arsénico, Benceno, Cadmio, Cianuro, Cromo, Mercurio, Níquel, Plomo y Dioxinas al ambiente, de acuerdo con los reportes del RECT en 2012 (Figura 6).

Industria	Emisión reportada
CFE	Arsénico, Mercurio, Níquel
PEMEX	Benceno, Cromo, Plomo , Cadmio
Cruz Azul	Cianuro, Dioxinas

Figura 6. Emisiones de contaminantes por industrias

PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

Por lo anterior, la presente investigación se centró en resolver la siguiente pregunta de investigación. ¿Existe asociación entre la presencia de niveles de plomo en sangre y alteraciones en el desarrollo neurológico en niños de edad escolar residentes de la Zona Industrial de Tula de Allende en el Estado de Hidalgo, México?

JUSTIFICACION

La presencia de plomo en la región de Tula de Allende por la emisión de contaminantes ambientales secundario a la actividad industrial, podría estar ocasionando alteraciones en el desarrollo neurológico de los niños residentes de esa zona cuya condición no se encuentra evaluada a través de la valoración del buen desarrollo de las funciones mentales superiores.

Este escenario representa un problema prioritario de Salud Pública que aún no se encuentra estudiado, por lo que significó un área de oportunidad para realizar dicho proyecto de investigación y generar evidencia científica que respalda la implementación de acciones preventivas que eviten el daño y deterioro en el desarrollo de los niños de esta región.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Determinar la asociación entre los niveles de plomo en sangre y su efecto en el desarrollo neurológico en niños de edad escolar residentes de dos zonas del área industrial de Tula de Allende en el estado de Hidalgo durante el 2015.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

1. Determinar la exposición a plomo en niños de zonas impactadas ambientalmente con el compuesto a través de la medición del metal en sangre.
2. Identificar las alteraciones en el desarrollo normal de las funciones mentales en la población infantil que habita alrededor del área industrial, mediante la aplicación de prueba neuropsicológica de evaluación de la función visuo-constructiva y consolidación de la memoria (Figura Compleja de Rey).
3. Establecer la correlación entre la exposición a plomo con las alteraciones del desarrollo de las funciones mentales Visuo-constructiva y consolidación de la memoria espacial.

MATERIAL Y METODOS

DISEÑO

Se realizó un estudio epidemiológico, observacional descriptivo de carácter transversal en niños entre 8 y 11 años de edad que residían en dos zonas del área industrial del municipio de Tula de Allende el estado de Hidalgo.

POBLACIÓN DE ESTUDIO

Los niños de entre 8 y 11 años de edad que habitaran en el área de estudio y que se encontraran expuestos a varias fuentes de emisión de contaminantes de las industrias presentes alrededor.

CRITERIOS DE ELEGIBILIDAD

Criterios de Inclusión:

- 1) Edad comprendida entre 8 y 11 años
- 2) Ser residentes de la zona de estudio por un tiempo mínimo de 3 años
- 3) Sin antecedentes de problemas neurológicos reportados por la madre o tutor.
- 4) Acepten participar en el estudio

Criterios de Exclusión:

- 1) Muestras ilegibles
- 2) Padres o tutores que soliciten abandonar la participación del niño en el estudio.

MUESTRA

Se realizó un muestreo no probabilístico a conveniencia. Se seleccionaron dos escuelas públicas, una para la zona de El Llano 2ª sección y otra para San Miguel Vindhó y en cada escuela se seleccionaron al azar a niños que cumplieran con los criterios de elegibilidad. El total de la muestra analítica fue de 42 niños.

SITIO DEL ESTUDIO

Se seleccionaron 2 sitios: El Llano 2ª Sección y San Miguel Vindhó del Municipio de Tula de Allende Hidalgo, basados en la cercanía con las industrias de la región, el tipo, concentración y ruta de exposición de las emisiones de contaminantes reportados por la SEMARNAT así como la dinámica de los mismos en el aire dados por la rosa de vientos regular en la zona.

FUENTES DE INFORMACIÓN

Cuestionarios

Se aplicó un cuestionario estructurado mediante interrogatorio dirigido con la finalidad de obtener información general y antecedentes del estado de salud y nutricional del niño. Asimismo, se obtuvo información sobre las condiciones de riesgo por exposición a contaminantes ambientales. (Anexo 1)

Para la obtención de información sobre el estado socioeconómico se utilizó el cuestionario de la Regla de la Asociación Mexicana AMAI NSE 10X6. Este instrumento es un índice que clasifica a los hogares en seis niveles, considerando nueve características o posesiones en el hogar y la escolaridad del jefe de familia o integrante que más aporta al gasto. Consta de 10 ítems con respuestas polinómicas cada una con distinto valor y la sumatoria de estas permite acceder al estrato del integrante con mayor ingreso en la familia. (Anexo 2)

Muestras de sangre

En condiciones adecuadas y por personal capacitado para el procedimiento, se tomaron muestras de sangre por punción venosa en tubo BD Vacutainer con EDTA K₂, 13 x 75 mm, 4 ml., realizando de 8 a 10 inversiones para una adecuada mezcla del anticoagulante con los componentes sanguíneos. A partir de la sangre total obtenida se analizaron los *Niveles de Plomo en Sangre (PbS)* por el método descrito por Subramanian (Subramanian, 1987). Se tomó 100 µL de sangre completa y se mezcló con 400 µL de solución tritón modificador (Tritón-X 100 al 0.5%, fosfato de amonio al 0.5% y HNO₃ al 0.2%). La cuantificación de Pb se realizó con Espectrofotómetro de Absorción Atómica con horno de grafito Perkin-Elmer modelo 3110. Asimismo, se realizó un análisis hematológico por citometría de flujo con equipo ADVIA 120 Hematology System marca SIEMENS.

Evaluación del perfil neuropsicológico

Se aplicó la prueba de Figura Compleja de Rey (FCR) por profesionales de la salud en el campo de la psicología. La FCR fue creada en 1941 por André Rey, esta prueba está compuesta por 9 unidades perceptuales que el niño debe integrar dentro de una sola unidad.

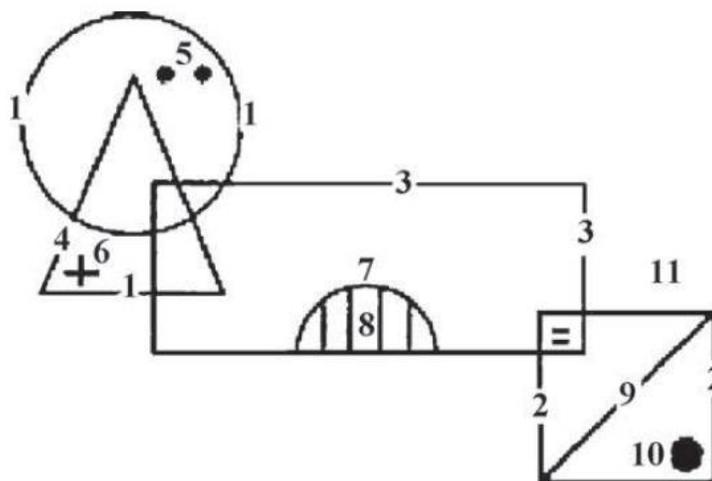


Figura 7. Figura Compleja de Rey-Osterrieth (FCR)

Se obtuvieron 2 mediciones de la ejecución del niño; la primera que es la copia de la figura, la cual refleja el grado de precisión de la función Visuo-constructiva y la segunda que es la realización de la figura de memoria (tres minutos después), evalúa la cantidad y calidad de la información original retenida en la memoria espacial. (Anexo 3)

Evaluación del estado nutricional

Se obtuvieron datos de talla y peso para la edad con equipo Báscula pesa-persona digital de piso modelo SECA 869 y Tallímetro modelo SECA 217, a partir de los cuales se calcularon los índices de masa corporal como indicador de estado nutricional del niño.

VARIABLES

Definición conceptual

Variable dependiente:

Retraso en el desarrollo neurológico: consiste en la afectación en el desarrollo de las funciones Visuo-constructiva y la memoria espacial de los niños obtenida a través de la aplicación de la Figura Compleja de Rey (FCR).

Variable Independiente:

Plomo en sangre: se refiere a la presencia de este metal pesado en la sangre y que circula por todo el organismo ocasionando daños neurológicos irreversibles al llegar al cerebro.

Co-variables:

- **Zona de ubicación:** Se refiere al lugar donde habitan los niños de 8 a 11 años en el municipio de Tula de Allende y que están expuestos a los contaminantes ambientales.
- **Edad:** Tiempo transcurrido a partir del nacimiento de un individuo.
- **Sexo:** Características físicas y genéticas que diferencian a un individuo como masculino o femenino.
- **Escolaridad de la madre:** Período de tiempo en el que la madre asistió a la escuela para estudiar y aprender.
- **Nivel socioeconómico:** es una medida total económica y sociológica combinada de la preparación laboral de una persona y de la posición económica y social, individual o familiar en relación a otras personas, basada en sus ingresos, educación, y empleo.
- **Peso:** es la cantidad de masa que alberga el cuerpo de una persona.
- **Talla:** es la altura de un individuo.

- **Índice de Masa Corporal:** es una medida de asociación entre la masa y la talla de un individuo.
- **Saturación de oxígeno:** es la medida de la cantidad de oxígeno disponible en el torrente sanguíneo
- **Biometría hemática:** fórmula sanguínea en el que se expresan el número, proporción y variaciones de los elementos sanguíneos. Otorga datos de: 1) Número de hematíes, hematocrito, hemoglobina e índices eritrocitarios, 2) Recuento y fórmula leucocitaria y 3) Número de plaquetas.

Definición operacional

Variable	Definición Operacional	Escala de Medición
Retraso en el desarrollo neurológico 1) Función Visuo-Constructiva 2) Memoria Espacial	1. Extremadamente bajo	Cualitativa ordinal
	2. Bajo	
	3. Promedio bajo	
	4. Promedio	
	5. Por arriba del promedio	
Plomo en sangre	µg/dL	Cuantitativa continua
Zona de ubicación	1. El llano 2ª sección	Cualitativa dicotómica
	2. San Miguel Vindhó	
Edad	Número de años cumplidos	Cuantitativa discreta
Sexo	1. Hombre	Cualitativa dicotómica
	2. Mujer	
Escolaridad de la Madre	1. Primaria	Cualitativa ordinal
	2. Secundaria	
	3. Bachillerato/Medio Superior	
	4. Profesional	
Nivel Socioeconómico	1. E	Cualitativa ordinal
	2. D	
	3. D+	
	4. C	
	5. C+	
	6. A/B	

Variable	Definición Operacional	Escala de Medición
Peso	Kg	Cuantitativa continua
Talla	m	Cuantitativa continua
IMC	1. Bajo peso	Cualitativa ordinal
	2. Normal	
	3. Sobrepeso	
	4. Obesidad	
Saturación de Oxígeno	% O ₂	Cuantitativa discreta
Biometría hemática	Cuenta eritrocitaria: 10 ⁶ /uL	Cuantitativa continua
	Hemoglobina: g/dL	
	Hematocrito: %	
	Indices eritrocitarios:	
	VCM: fL	
	HCM: pg	
	CMHC:g/dL	
	Cuenta plaquetaria: 10 ³ /uL	
Cuenta leucocitaria: cel/uL		

ANÁLISIS DE LOS DATOS

Para las variables cuantitativas se estimaron medidas de resumen (media, desviación estándar, mínimo-máximo y pruebas de normalidad) de las variables sociodemográficas, nutricionales, plomo en sangre y evaluación del desarrollo neurológico. Se aplicó la prueba de *Shapiro Wilk* para comprobar la normalidad de las variables y aquellas que mostraron una distribución normal se aplicó la *prueba t de Student* para varianzas iguales con la finalidad de comparar las medias de ambos grupos. Las variables que no tuvieron una distribución normal se aplicó la prueba no paramétrica *U de Mann Whitney* para muestras independientes. Las asociaciones por debajo de un alfa de 0.05 fueron consideradas estadísticamente significativas.

En el caso de las variables cualitativas se realizaron tablas de contingencia según la zona donde habitan los niños con cada variable independiente. Se estimaron las probabilidades condicionales y se aplicó una prueba de independencia tipo χ^2 de Pearson o prueba exacta de Fisher, según el caso. Las asociaciones por debajo de un alfa de 0.05 fueron consideradas estadísticamente significativas.

Se estimaron correlaciones de Pearson de los puntajes de las funciones Visuo-constructiva y de la memoria espacial, dado que muestran una distribución normal, con los niveles de plomo en sangre encontrados en los niños. La variable de la concentración de plomo en sangre se transformó al logaritmo natural. Las asociaciones por debajo de un alfa de 0.05 fueron consideradas estadísticamente significativas. Para el análisis estadístico se utilizó el paquete Stata versión 14.

CONSIDERACIONES ÉTICAS

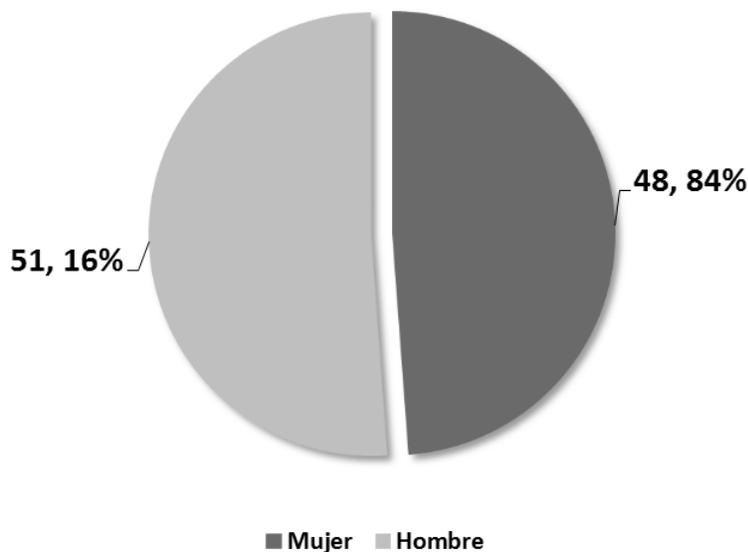
El presente proyecto se desarrolló bajo las consideraciones éticas, declaraciones, leyes y normativas aplicables para el mismo. Se trata de una *investigación con riesgo mínimo* debido a que emplea exámenes físicos y psicológicos de diagnósticos, entre los que se consideran: pesar y medir a los niños, extracción de sangre por punción venosa, pruebas psicológicas en los que no se manipulará la conducta del sujeto. Se solicitó la colaboración a las autoridades escolares de dos primarias en cada zona seleccionada para emitir convocatoria, se realizó una reunión previa con padres de familia y/o tutores para presentar de manera clara y entendible el objetivo del estudio, alcances, riesgo y beneficios de su participación. Ante la aceptación voluntaria de que sus hijos sean incluidos en el estudio, se les solicitó firmar documento de consentimiento informado. (Anexo 4)

RESULTADOS

Características sociodemográficas de la muestra

En el cuadro 1, se resumen las características sociodemográficas de la población de estudio. La muestra total fue de 43 niños, de los cuales 51.16% correspondieron a niños del sexo masculino (Figura 8) y una proporción mayor de éstos se ubicó en la edad de 9 años (41.86%) (Figura 9).

Figura 8. Distribución por sexo de los niños que habitan en la zona industrial del municipio de Tula de Allende, Hidalgo 2015



Fuente: Directa, aplicación de encuesta en el contexto socio-ambiental de Tula, 2015

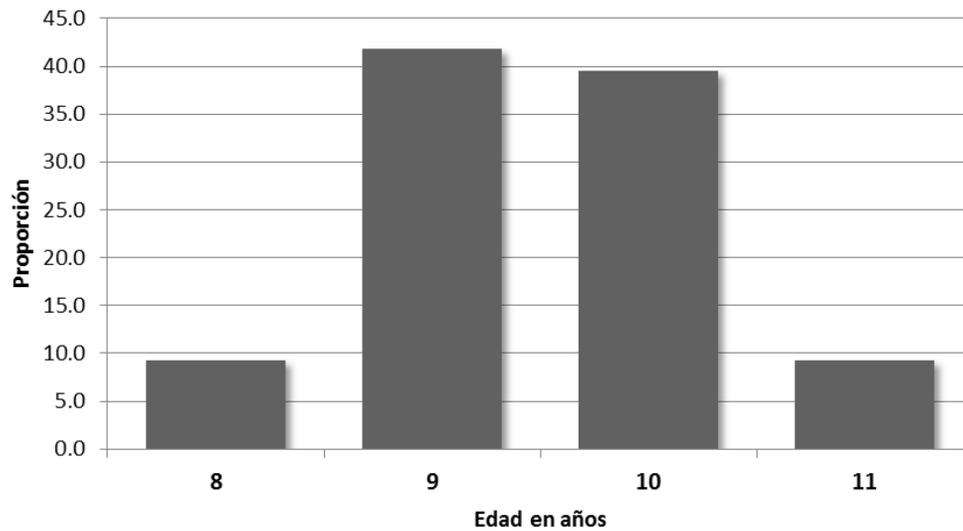
Además, la mayoría de las madres de estos niños realizaron estudios de nivel secundaria (44.19%) (Figura 10), la familia pertenece al nivel socioeconómico D+ (53.49%) (Figura 11) y residían en San Miguel Vindhó (55.81%), mientras que el 44.19% provenía de El Llano 2ª sección (Cuadro 1).

Cuadro 1. Características sociodemográficas de los niños incluidos en el estudio que habitan en la zona industrial del municipio de Tula de Allende, Hidalgo

Variabes	n	Frecuencia
Sexo		
Masculino	22	51.16%
Femenino	21	48.84%
Edad		
8 años	4	9.30%
9 años	18	41.86%
10 años	17	39.53%
11 años	4	9.30%
Escolaridad de la Madre		
Primaria	6	13.95%
Secundaria	19	44.19%
Bachillerato/Medio Superior	13	30.23%
Profesional	5	11.63%
Nivel socioeconómico		
E (Nivel Bajo)	1	2.33%
D	9	20.93%
D+	23	53.49%
C	6	13.95%
C+	3	6.98%
A/B (Nivel Alto)	1	2.33%
Zona de ubicación		
El Llano 2ª Sección	19	44.19%
San Miguel Vindhó	24	55.81%

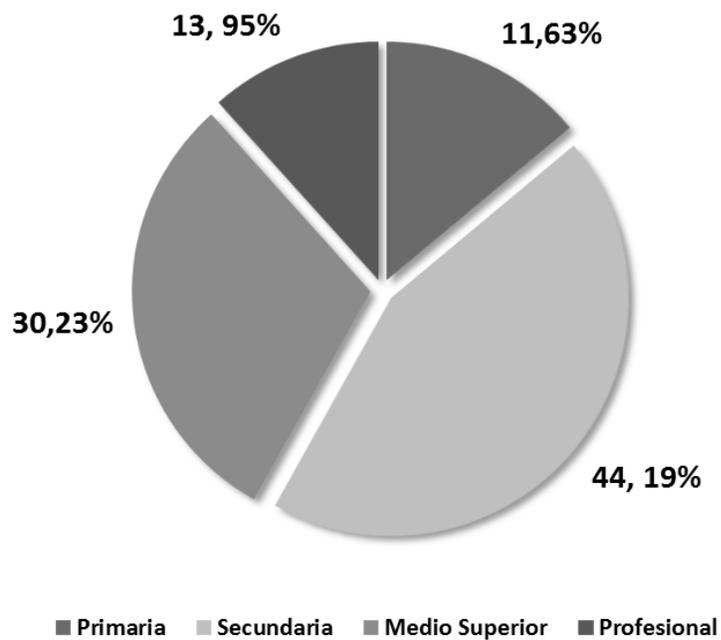
Fuente: Directa, aplicación de encuesta en el contexto socio-ambiental de Tula, 2015

Figura 9. Distribución por edad de los niños que habitan en la zona industrial del municipio de Tula de Allende, Hidalgo 2015



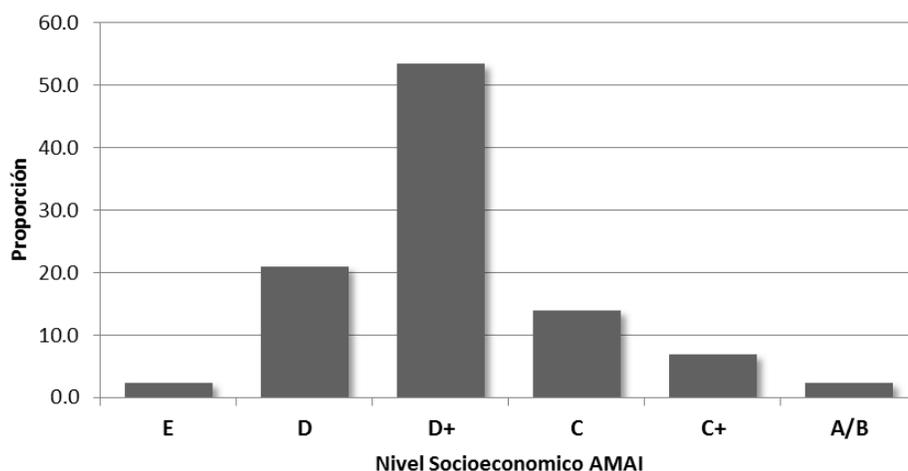
Fuente: Directa, aplicación de encuesta en el contexto socio-ambiental de Tula, 2015

Figura 10. Escolaridad de la madre de los niños que habitan en la zona industrial del municipio de Tula de Allende, Hidalgo 2015



Fuente: Directa, aplicación de encuesta en el contexto socio-ambiental de Tula, 2015

Figura 11. Distribución por Nivel Socioeconómico de los niños que habitan en la zona industrial del municipio de Tula de Allende, Hidalgo 2015



Fuente: Directa, aplicación de encuesta en el contexto socio-ambiental de Tula, 2015

Evaluación nutricional de los niños

El promedio del peso de los niños fue de 34.59 kg \pm 9.75, y una estatura de 1.08 m \pm 0.52, dando un IMC promedio de 19.13 \pm 4.06. Lo que corresponde a que una mayor proporción de niños presentó un peso bajo (57.14%) (Cuadro 2).

Cuadro 2. Estado nutricional de los niños incluidos en el estudio que habitan en la zona industrial del municipio de Tula de Allende, Hidalgo

Variables	n	Media \pm DE*
Peso	35	34.58 kg \pm 9.75
Talla	43	1.08 m \pm 0.52
IMC (Promedio)	35	19.13 \pm 4.06
IMC	n	Frecuencia
Bajo peso	20	57.14%
Normal	12	34.29%
Sobrepeso	2	5.71%
Obesidad	1	2.86%

Fuente: Directa, aplicación de encuesta en el contexto socio-ambiental de Tula, 2015

* DE: Desviación Estándar

Exposición a Plomo

Los resultados de las muestras de sangre mostraron que el nivel promedio de Plomo en sangre (PbS) de los niños en estudio fue de 4.57 $\mu\text{g/dL} \pm 1.97$. Asimismo, mantuvieron una Saturación de Oxígeno de 90.73 % ± 4.79 (Cuadro 3).

Cuadro 3. Exposición a Plomo de los niños incluidos en el estudio que habitan en la zona industrial del municipio de Tula de Allende, Hidalgo

Variables	n	Media \pm DE*
Plomo en sangre (PbS)	27	4.57 $\mu\text{g/dL} \pm 1.97$ 4.22 $\mu\text{g/dL}$ IC 95%: 3.59-4.94 ¹
Saturación de Oxígeno	30	90.73 % ± 4.79

* DE: Desviación Estándar

¹: Media Geométrica

Fuente: Directa, análisis de laboratorio, 2015

Hallazgos hematológicos

Los estudios hematológicos de los niños en estudio mostraron que en promedio presentaron una cuenta de glóbulos rojos de $5.08 \times 10^6 /\mu\text{l} \pm 0.29$, con una Hb de $14.37 \text{ g/dL} \pm 0.72$, Hto 43.24 % ± 2.29 , MCV $85.04 \text{ fL} \pm 2.44$, MCH $28.3 \text{ pg} \pm 1.03$, MCHC $33.24 \text{ g/dL} \pm 0.93$, RDW-SD $2.96 \text{ g/dL} \pm 0.21$, RDW 12.53 % ± 0.45 y PLT $317.2 \times 10^9 /\mu\text{l} \pm 81.78$ (Cuadro 4).

Mientras que en la fórmula blanca se encontró una cuenta de glóbulos blancos de $7.91 \times 10^3 /\mu\text{l} \pm 3.01$, porcentaje de Linfocitos de 37.44 % ± 10.75 , Monocitos 4.49 % ± 1.18 , Eosinófilos 2.81 % ± 1.53 , Basófilos 0.56 % ± 0.30 y Neutrófilos 52.27 % ± 11.74 . En el conteo celular se encontraron Linfocitos $2.77 \times 10^3 /\mu\text{l} \pm 0.79$, Monocitos $0.34 \times 10^3 /\mu\text{l} \pm 0.11$, Eosinófilos $0.22 \times 10^3 /\mu\text{l} \pm 0.15$, Basófilos $0.04 \times 10^3 /\mu\text{l} \pm 0.02$ y Neutrófilos $4.35 \times 10^3 /\mu\text{l} \pm 2.62$ (Cuadro 4).

Cuadro 4. Hallazgos hematológicos de los niños incluidos en el estudio que habitan en la zona industrial del municipio de Tula de Allende, Hidalgo

Variables	n	Media \pm DE*
Formula roja		
Eritrocitos	30	5.08 x 10 ⁶ / μ l \pm 0.29
Hb	30	14.37 g/dL \pm 0.72
Hto	30	43.24 % \pm 2.29
VCM	30	85.04 fL \pm 2.44
HCM	30	28.3 pg \pm 1.03
CMHC	30	33.24 g/dL \pm 0.93
RDW-SD	30	2.96 g/dL \pm 0.21
ADE	30	12.53 % \pm 0.45
PLT	30	317.2 x 10 ⁹ / μ l \pm 81.78
Fórmula blanca		
Leucocitos	30	7.91 x 10 ³ / μ l \pm 3.01
Linfocitos %	30	37.44 % \pm 10.75
Monocitos %	30	4.49 % \pm 1.18
Eosinófilos %	30	2.81 % \pm 1.53
Basófilos %	30	0.56 % \pm 0.30
Neutrófilos %	30	52.27 % \pm 11.74
Linfocitos #	30	2.77 x 10 ³ / μ l \pm 0.79
Monocitos #	30	0.34 x 10 ³ / μ l \pm 0.11
Eosinófilos #	30	0.22 x 10 ³ / μ l \pm 0.15
Basófilos #	30	0.04 x 10 ³ / μ l \pm 0.02
Neutrófilos #	30	4.35 x 10 ³ / μ l \pm 2.62

* DE: Desviación Estándar

Fuente: Directa, análisis de laboratorio, 2015

Evaluación del Desarrollo Neurológico

De acuerdo con la aplicación de las pruebas psicológicas se encontró que para la función Visuo-constructiva y de Memoria Espacial la mayor proporción de los niños se ubicaron en un desarrollo promedio (50.0% y 43.48%, respectivamente). Sin embargo, es importante resaltar que la proporción de niños con un desarrollo promedio para el caso de la función de memoria espacial fue menor en comparación con el desarrollo de la función Visuo-Constructiva (Cuadro 5).

Cuadro 5. Evaluación del desarrollo neurológico de los niños incluidos en el estudio que habitan en la zona industrial del municipio de Tula de Allende, Hidalgo

Variabes	n	Frecuencia
Función Visuo-Constructiva		
Extremadamente bajo	4	16.67%
Bajo	3	12.50%
Promedio bajo	0	0.00%
Promedio	12	50.00%
Por arriba del promedio	5	20.83%
Memoria Espacial		
Extremadamente bajo	5	21.74%
Bajo	2	8.70%
Promedio bajo	3	13.04%
Promedio	10	43.48%
Por arriba del promedio	3	13.04%

Fuente: Directa, análisis de laboratorio, 2015

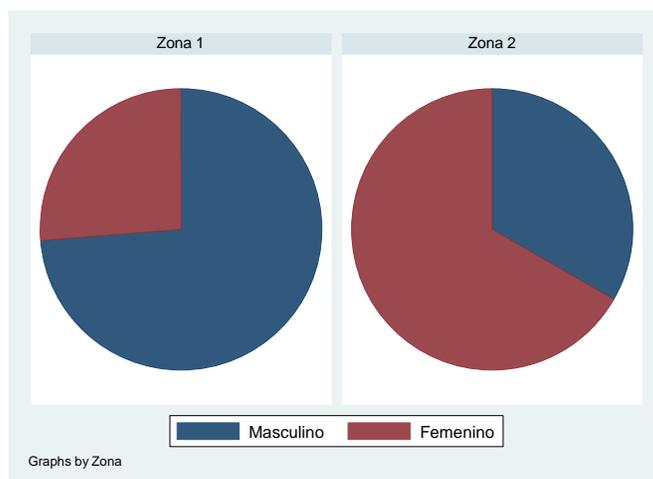
ANÁLISIS BIVARIADO

Características sociodemográficas de la muestra

En el cuadro 6, se resumen las características sociodemográficas de la población de estudio por zona de ubicación y exposición a contaminantes ambientes de los niños que habitan en la zona industrial del municipio de Tula de Allende, Hidalgo. En él se puede apreciar que en la Zona 1 (El Llano 2ª Sección) presentó una mayor proporción de niños del sexo masculino (73.68%) comparado con la Zona 2 (San Miguel Vindhó) la cual tuvo una mayor proporción de niñas (66.67%) estadísticamente significativa (Cuadro 6) (Figura 12).

En relación con la edad, se detectó que en la Zona 1 la mayor proporción de niños se ubicaron en la edad de 10 años (52.63%), mientras que en la Zona 2 la mayoría de los niños tenían 9 años (54.17%), esta diferencia no fue estadísticamente significativa (Cuadro 6).

Figura 12. Distribución por sexo de los niños incluidos en el estudio por zona de ubicación en el municipio de Tula de Allende, Hidalgo 2015



Fuente: Directa, 2015

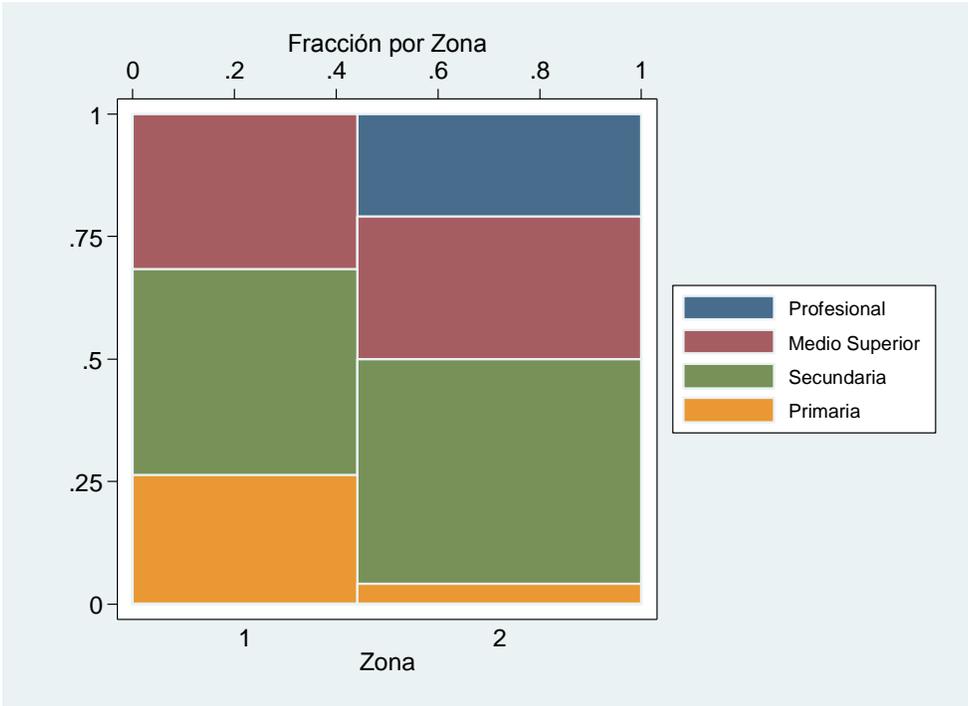
Cuadro 6. Características sociodemográficas de los niños incluidos en el estudio por zona de ubicación en el municipio de Tula de Allende, Hidalgo

Variables	Zona 1		Zona 2		Valor <i>p</i>
	n	Frecuencia	n	Frecuencia	
Sexo					
Masculino	14	73.68%	8	33.33%	0.009^a
Femenino	5	26.32%	16	66.67%	
Edad					
8 años	2	10.53%	2	8.33%	0.30 ^b
9 años	5	26.32%	13	54.17%	
10 años	10	52.63%	7	29.17%	
11 años	2	10.53%	2	8.33%	
Escolaridad de la Madre					
Primaria	5	26.32%	1	4.17%	0.05^b
Secundaria	8	42.115	11	45.83%	
Bachillerato/Medio Superior	6	31.59%	7	29.17%	
Profesional	0	0.00%	5	20.83%	
Nivel socioeconómico					
E (Nivel Bajo)	0	0.00%	1	4.17%	0.08 ^b
D	5	26.32%	4	16.67%	
D+	12	63.16%	11	45.83%	
C	0	0.00%	6	25.00%	
C+	1	5.26%	2	8.33%	
A/B (Nivel Alto)	1	5.26%	0	0.00%	

Fuente: Directa 2015; a: Prueba χ^2 de Pearson; b: Prueba exacta de Fisher; * $P \leq 0.05$

Por otro lado, con respecto a la escolaridad de la madre se encontró que en la Zona 1 la mayor proporción de las madres contaron con una menor escolaridad en comparación con las madres de la Zona 2 quienes tienen un mayor nivel de estudios, esta diferencia fue estadísticamente significativa (Figura 13).

Figura 13. Escolaridad de la madre de los niños incluidos en el estudio por zona de ubicación en el municipio de Tula de Allende, Hidalgo 2015



Fuente: Directa 2015.

En cuanto al nivel socioeconómico se encontró que la mayoría de los niños de la Zona 1 cuentan con un nivel socioeconómico medio-alto en comparación con los niños de la Zona 2 quienes se ubicaron en los niveles bajo-medio, sin embargo, esta diferencia no fue estadísticamente significativa (Cuadro 6).

Evaluación nutricional de los niños

El promedio del peso de los niños fue menor en la Zona 2 (33.32 kg \pm 7.41) en comparación con los niños de la Zona 1. No obstante, con respecto a la estatura los niños de la Zona 1 tuvieron una mayor talla (1.13 m \pm 0.51) en relación con los niños de la Zona 2, estas diferencias no fueron estadísticamente significativas. Para el caso del Índice de Masa Corporal (IMC) encontramos que los niños de la Zona 1 tuvieron un menor IMC (19.53 \pm 5.01) en comparación con los niños de la Zona 2. No obstante, en ambos grupos los niños presentan un bajo peso (56.25% y 57.89%, respectivamente) (Cuadro 7) (Figura 14).

Cuadro 7. Estado nutricional de los niños incluidos en el estudio por zona de ubicación en el municipio de Tula de Allende, Hidalgo

Variables	Zona 1		Zona 2		Valor <i>p</i>
	n	Media \pm DE*	n	Media \pm DE*	
Peso	16	36.08 kg \pm 12.06	19	33.32 kg \pm 7.41	0.9 ^a
Talla	19	1.13 m \pm 0.51	24	1.05 m \pm 0.55	0.3 ^a
IMC (Promedio)	16	19.53 \pm 5.01	19	18.78 \pm 3.18	0.8 ^a
IMC	n	Frecuencia	n	Frecuencia	
Bajo peso	9	56.25%	11	57.89%	0.8 ^b
Normal	5	31.25%	7	36.84%	
Sobrepeso	1	6.25%	1	5.26%	
Obesidad	1	6.25%	0	0.00%	

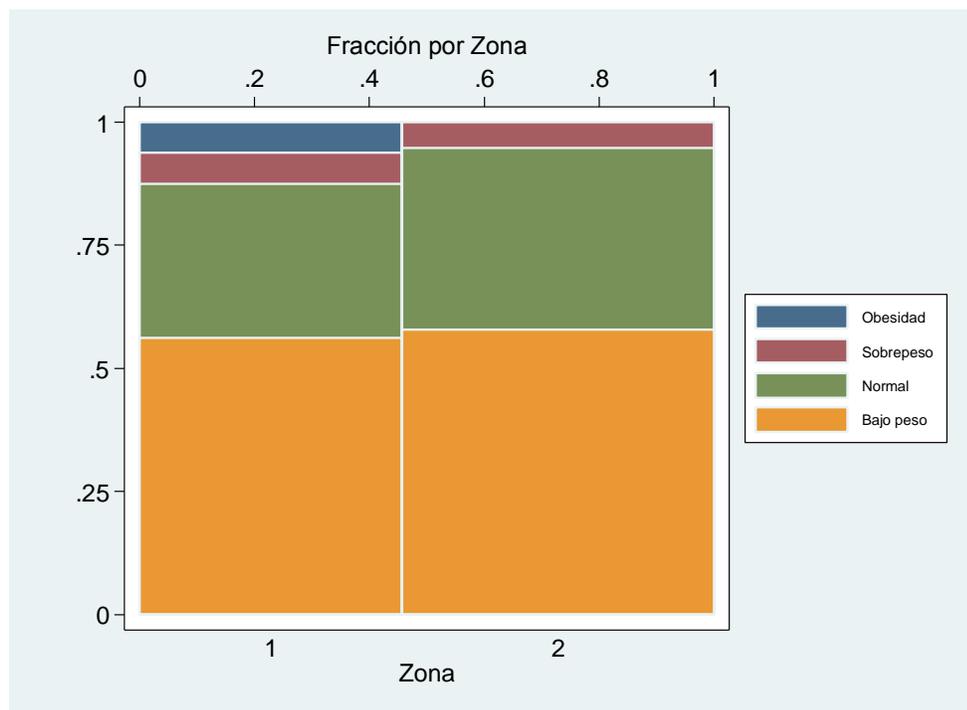
*Desviación Estándar

a: Prueba U de Mann Withney

b: Prueba exacta de Fisher

Fuente: Directa, 2015

Figura 14. Estado nutricional de los niños incluidos en el estudio por zona de ubicación en el municipio de Tula de Allende, Hidalgo



Fuente: Directa 2015

Exposición a Plomo

El promedio de Plomo en sangre detectado en los niños del estudio fue mayor en aquellos que habitaban en la Zona 2 junto a la cementera ($4.88 \mu\text{g/dL} \pm 2.60$) en comparación con los niños que vivían en la Zona 1 próxima a las Plantas Termoeléctricas de la CFE y la Refinería de PEMEX, estas diferencias no fueron estadísticamente significativas (Figura 15). Así mismo, la saturación de oxígenos de los niños en estudio fue menor en la Zona 2 ($89.57 \% \pm 4.98$) comparada con la de los niños que habitaban en la Zona 1 (Cuadro 8) (Figura 16).

Cuadro 8. Exposición a Plomo de los niños incluidos en el estudio por zona de ubicación en el municipio de Tula de Allende, Hidalgo

Variables	Zona 1		Zona 2		Valor <i>p</i>
	n	Media \pm DE*	n	Media \pm DE*	
Plomo en sangre (PbS)	15	4.32 μ g/dL \pm 1.32	12	4.88 μ g/dL \pm 2.60	0.9 ^a
		4.13 μ g/dL ¹ IC 95%: 3.45-4.93		4.33 μ g/dL ¹ IC 95% 3.15-5.95	
Saturación de Oxígeno	16	91.75% \pm 4.53	14	89.57 % \pm 4.98	0.2 ^b

Fuente: Directa, 2015.

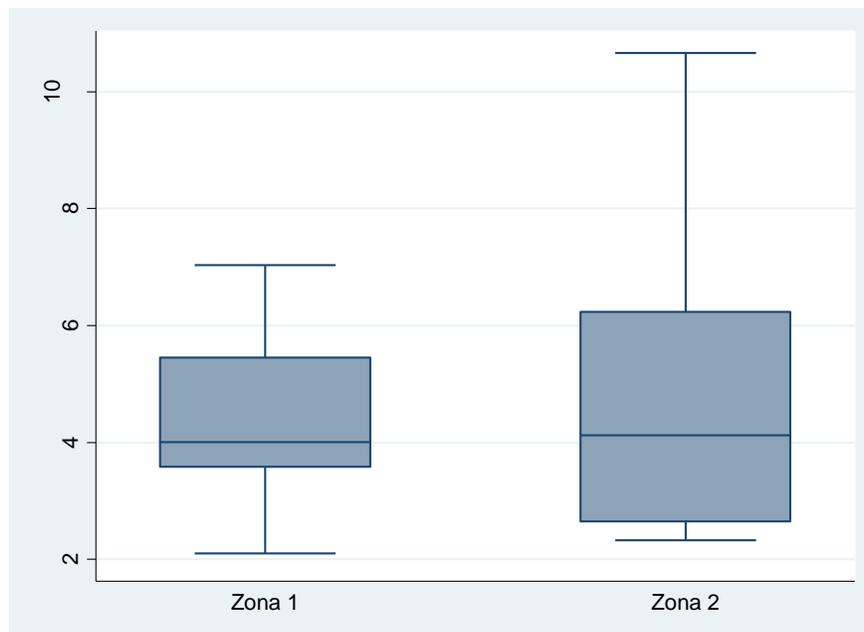
*Desviación Estándar

¹: Media Geométrica

a: Prueba U de Mann Withney

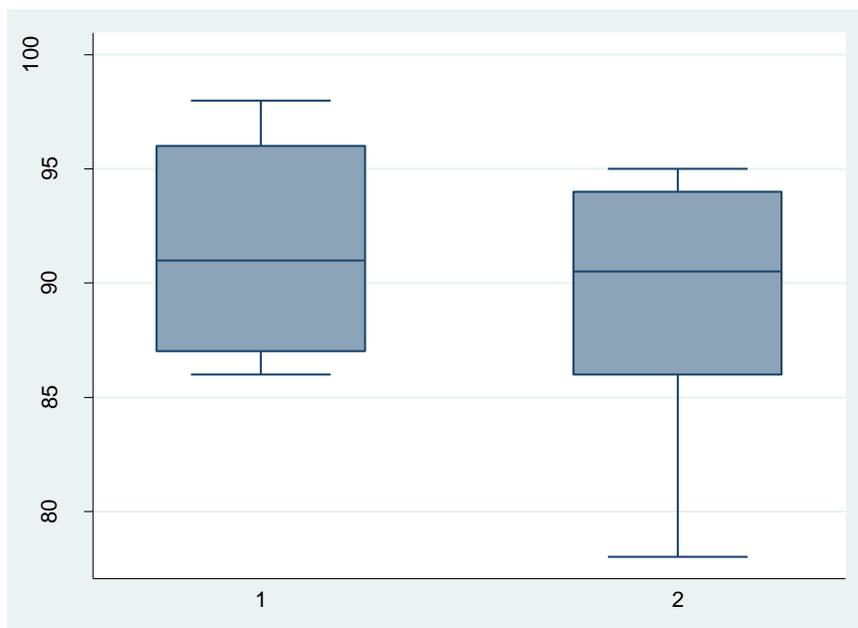
b: Prueba t de Student para varianzas iguales

Figura 15. Exposición a Plomo de los niños incluidos en el estudio por zona de ubicación en el municipio de Tula de Allende, Hidalgo



Fuente: Directa 2015

Figura 16. Saturación de Oxígeno de los niños incluidos en el estudio por zona de ubicación en el municipio de Tula de Allende, Hidalgo



Fuente: Directa 2015

Alteraciones Hematológicas

Los valores promedio obtenidos en las Biometrías Hemáticas de los niños de las dos zonas del área industrial en el Municipio de Tula Allende, Hidalgo, mostraron pocas diferencias estadísticamente significativas entre las que encontramos una Hemoglobina Corpuscular Media (MCV) ($28.69 \text{ pg} + 0.88$) y Concentración de la Hemoglobina Corpuscular Media (MCHC) ($33.92 \text{ g/dL} + 0.54$) mayor en los niños de la Zona 1 comparados con los que habitaban en la Zona 2. Por otro lado, los niños de la Zona 2 presentaron una mayor cantidad de Basófilos tanto en porcentaje ($0.74 \% + 0.33$) como en el conteo diferencial ($0.06 \times 10^3 /\mu\text{l} + 0.03$) y un mayor número de Monocitos ($0.38 \times 10^3 /\mu\text{l} + 0.10$) en relación con los niños de la Zona 1 (Cuadro 9).

Cuadro 9. Alteraciones hematológicas de los niños incluidos en el estudio por zona de ubicación en el municipio de Tula de Allende, Hidalgo

Variables	Zona 1		Zona 2		Valor p^a
	n	Media \pm DE*	n	Media \pm DE*	
Formula roja					
Eritrocitos	16	5.03 x 10 ⁶ / μ l \pm 0.26	14	5.14 x 10 ⁶ / μ l \pm 0.33	0.3
Hb	16	14.45 g/dL \pm 0.78	14	14.28 g/dL \pm 0.66	0.5
Hto	16	42.55 % \pm 2.16	14	44.02 % \pm 2.26	0.08
VCM	16	84.48 fL \pm 2.49	14	85.68 fL \pm 2.29	0.1
HCM	16	28.69 pg \pm 0.88	14	27.85 pg \pm 1.03	0.02
CMHC	16	33.92 g/dL \pm 0.54	14	32.47 g/dL \pm 0.62	<0.001
RDW-SD	16	2.99 g/dL \pm 0.19	14	2.92 g/dL \pm 0.24	0.4 ^b
ADE	16	12.51 % \pm 0.35	14	12.54 % \pm 0.56	0.8
PLT	16	301.93 x 10 ⁹ \pm 79.03	14	334.64 x 10 ⁹ \pm 84.26	0.2
Fórmula blanca					
Leucocitos	16	7.82 x 10 ³ / μ l \pm 3.59	14	8.01 x 10 ³ / μ l \pm 2.29	0.5 ^b
Linfocitos %	16	36.13 % \pm 12.58	14	38.92 % \pm 8.40	0.4
Monocitos %	16	4.16 % \pm 0.91	14	4.86 % \pm 1.37	0.2 ^b
Eosinófilos %	16	2.41 % \pm 1.08	14	3.25 % \pm 1.85	0.4 ^b
Basófilos %	16	0.40 % \pm 0.16	14	0.74 % \pm 0.33	0.002^b
Neutrófilos %	16	54.36 % \pm 13.85	14	49.88 % \pm 8.64	0.3
Linfocitos #	16	2.54 x 10 ³ / μ l \pm 0.75	14	3.04 x 10 ³ / μ l \pm 0.77	0.08
Monocitos #	16	0.31 x 10 ³ / μ l \pm 0.10	14	0.38 x 10 ³ / μ l \pm 0.10	0.05
Eosinófilos #	16	0.18 x 10 ³ / μ l \pm 0.10	14	0.27 x 10 ³ / μ l \pm 0.19	0.3 ^b
Basófilos #	16	0.02 x 10 ³ / μ l \pm 0.01	14	0.06 x 10 ³ / μ l \pm 0.03	0.0009^b
Neutrófilos #	16	4.59 x 10 ³ / μ l \pm 3.27	14	4.08 x 10 ³ / μ l \pm 1.66	0.5 ^b

Fuente: Directa, 2015

*Desviación Estándar

a: Prueba t de Student para varianzas iguales

b: Prueba U de Mann Withney

*P \leq 0.05

** Valores de referencia: García-Miranda L.A., Contreras I. y Estrada J.A., 2014

Evaluación del Desarrollo Neurológico

De acuerdo con la evaluación del desarrollo neurológico encontramos que los niños que habitan en la zona 2 presentaron un menor desarrollo de la función Visuo-constructiva comparados con los niños de la Zona 1, esta diferencia no fue estadísticamente significativa. Sin embargo, esta misma relación se encontró en el puntaje promedio obtenido en la prueba psicológica donde los niños de la Zona 2 tuvieron un menor puntaje (44.8 ± 14.31) en comparación con la zona 1, marginalmente significativo ($p=0.07$) (Cuadro 10) (Figura 17).

Además, se encontró que en relación con la evaluación de la Memoria Espacial los niños de la Zona 2 presentaron un menor desarrollo comparados con los niños de la Zona 1, esta diferencia no fue estadísticamente significativa. No obstante, cuando analizamos el puntaje de esta función mental se observó que de igual forma los niños de la Zona 2 (37.6 ± 10.09) tuvieron un menor desarrollo en comparación con los de la Zona 1, estadísticamente significativo ($p=0.04$) (Cuadro 10) (Figura 18).

Correlaciones

Al correlacionar los niveles de plomo en sangre de los niños que habitan en la zona industrial de Tula de Allende con el puntaje promedio del desarrollo de la función Visuo-constructiva, no resultó asociación lineal clínicamente significativa entre las variables. (Coeficiente de correlación de Pearson=-0.15, $p= 0.9$) (Figura 19). De la misma manera, en la correlación de los niveles de plomo en sangre de los niños del estudio con el puntaje promedio del desarrollo de la función de memoria espacial, tampoco denota asociación lineal clínicamente significativa entre las variables. (Coeficiente de correlación de Pearson=-0.14, $p= 0.9$) (Figura 20).

Cuadro 10. Evaluación del desarrollo neurológico de los niños incluidos en el estudio que habitan en la zona industrial del municipio de Tula de Allende, Hidalgo

Variables	Zona 1		Zona 2		Valor p^a
	n	Frecuencia	n	Frecuencia	
Función Visuo-Constructiva					
Extremadamente bajo	0	0.00%	4	3.33%	0.09
Bajo	1	8.33%	2	16.67%	
Promedio bajo	0	0.00%	0	0.00%	
Promedio	7	58.33%	5	41.67%	
Por arriba del promedio	4	33.33%	1	8.33%	
Puntaje (Promedio)	12	53.91 ± 7.73	10	44.8 ± 14.31	0.07 ^b
Memoria Espacial					
Extremadamente bajo	1	8.33%	4	36.36%	0.06
Bajo	0	0.00%	2	18.18%	
Promedio bajo	1	8.33%	2	18.18%	
Promedio	7	58.33%	3	27.27%	
Por arriba del promedio	3	25.00%	0	0.00%	
Puntaje (Promedio)	12	49.41 ± 14.33	10	37.6 ± 10.09	0.04^b

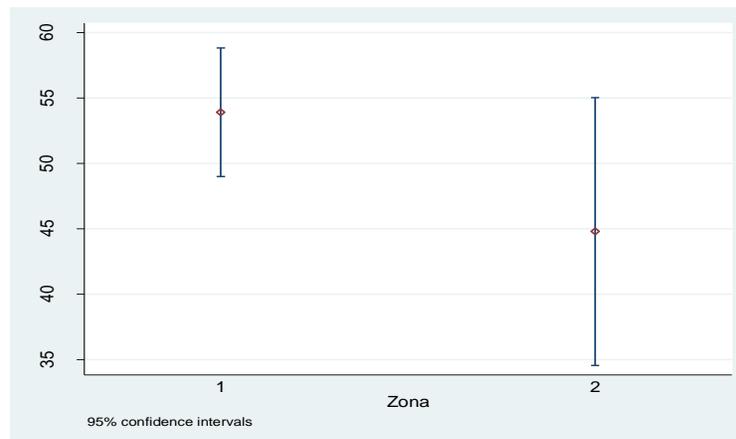
Fuente: Directa, 2015

a: Prueba exacta de Fisher

b: Prueba t de Student para varianzas iguales

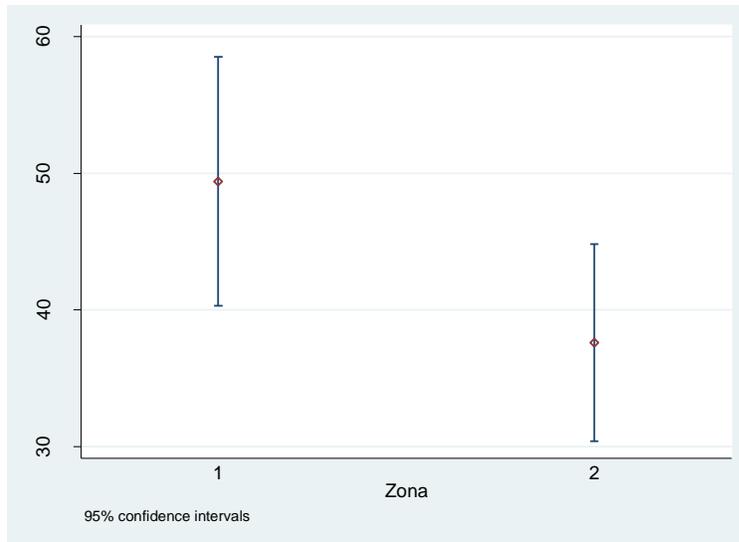
* $P \leq 0.05$

Figura 17. Desarrollo de la función Visuo-Constructiva de los niños incluidos en el estudio que habitan en la zona industrial del municipio de Tula de Allende, Hidalgo



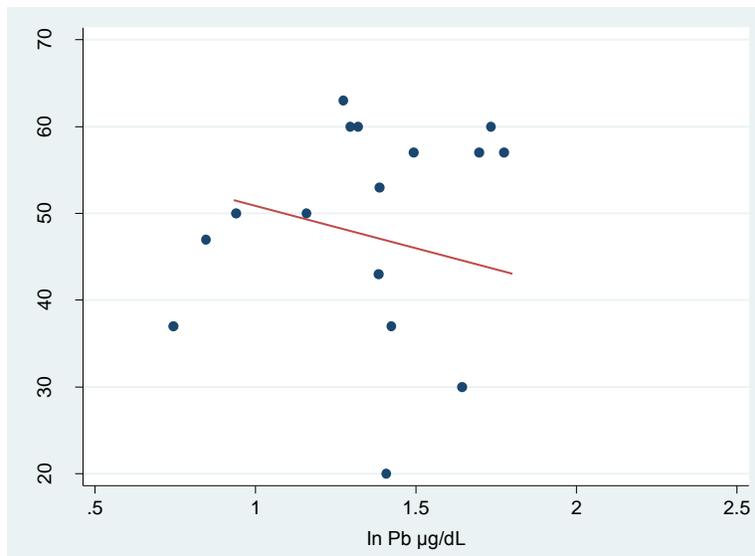
Fuente: Directa, 2015

Figura 18. Desarrollo de la función Memoria Espacial de los niños incluidos en el estudio que habitan en la zona industrial del municipio de Tula de Allende, Hidalgo



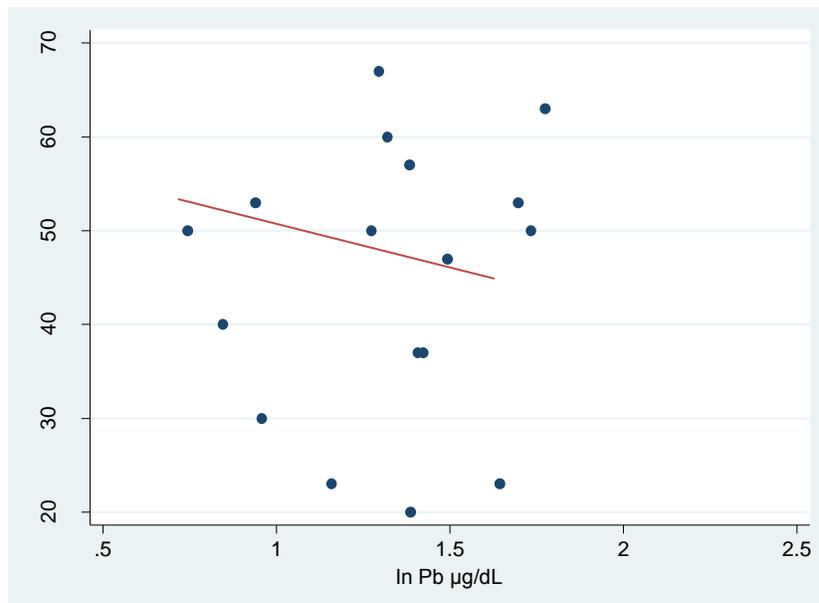
Fuente: Directa, 2015.

Figura 19. Correlación de la Función Visuo-Constructiva y los niveles de Plomo en sangre de los niños que habitan en la zona industrial del municipio de Tula de Allende, Hidalgo



Fuente: Directa, 2015
 Coeficiente de correlación de Pearson= -0.15, p= 0.9

Figura 20. Correlación de la Memoria Espacial y los niveles de Plomo en sangre de los niños que habitan en la zona industrial del municipio de Tula de Allende, Hidalgo



Fuente: Directa, 2015

Coefficiente de correlación de Pearson: -0.14, $p=0.9$

DISCUSIÓN

A pesar de los esfuerzos realizados en los últimos años para reducir de manera importante las fuentes de exposición al plomo, entre las que destacan la regulación de la gasolina, así como la de latas de conserva de alimentos, pinturas y juguetes, entre otros. Aún persiste el riesgo de exposición por inhalación de partículas de plomo generadas por la combustión de materiales que contienen este metal (por ejemplo, durante actividades de fundición, reciclaje en condiciones no seguras, las industrias, entre otros) (OMS, 2016).

Los niños de corta edad son particularmente vulnerables, según la fuente de contaminación de que se trate, llegan a absorber una cantidad de plomo entre 4 y 5 veces mayor que los adultos (OMS, 2016). La principal contribución de este estudio es proporcionar evidencia de las concentraciones de plomo en sangre en los niños que viven en zonas cercanas a un área industrial y su relación con los efectos en el desarrollo neurológico. Además, se visibilizan los cambios hematológicos que se presentan en estos niños expuestos a este metal pesado, aspecto que poco es tomado en cuenta en otros estudios.

La concentración promedio de plomo encontrada en la población infantil de esta investigación fue $4.57 \mu\text{g/dL} \pm 1.97$ en la media aritmética y $4.22 \mu\text{g/dL}$ IC 95%: 3.59-4.941 en la media geométrica. Esta concentración fue menor a la reportada por Muñoz (1993), Calderón-Salinas (1996), Jiménez-Gutiérrez (1999) y Meneses-González (2003). Sin embargo, aun cuando la media de plomo en sangre fue baja, el 3.27% de los niños rebasaron los $10 \mu\text{g/dL}$ de plomo en sangre como se observa en la Figura 15, lo que de acuerdo con el Centro de Control de Enfermedades (CDC, por sus siglas en inglés) y la Academia Americana de Pediatría, ubican a esta población en riesgo a los efectos del plomo que han sido reportados en diversos estudios. (Meneses-González, 2003).

Por otro lado, este estudio encontró que 37.04% de los niños reportaron una concentración de plomo por arriba de 5 µg/dL. No obstante, incluso las concentraciones en sangre que no superan los 5 µg/dl pueden ocasionar una disminución de la inteligencia del niño, así como problemas de comportamiento y dificultades de aprendizaje, de acuerdo con la Organización Mundial de la Salud. (OMS, 2016). Como puede observarse estas concentraciones mayores de plomo en sangre se observaron en los niños que habitan en la zona 2 cercana a la Cementera Cruz Azul, en contraste con lo reportado por el Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes quien documenta que la Refinería de PEMEX cercana a la zona 1 es la mayor emisora de plomo en la región de Tula de Allende (SEMARNAT, 2012).

Pocock y colaboradores, hacen mención de las diferencias por sexo en la intoxicación por plomo. En los resultados del presente estudio se observa que las concentraciones mayores de plomo en sangre se presentaron en las niñas, ya que ellas representan la mayor proporción de la población de estudio de la zona 2 donde se encontró más plomo. Estos resultados coinciden con lo reportado por Olaiz y colaboradores (1996), quienes también reportaron mayor concentración de plomo en las niñas en su estudio. Sin embargo, contrastan con los resultados de Jiménez y colaboradores (1999) quienes encontraron mayor concentración de plomo en niños y argumentan que se debe a que son más toscos en sus actividades y manejan todo tipo de objetos sin importarles que tan limpios están, así como tampoco les interesa la pulcritud del medio ambiente.

Respecto a la escolaridad de la madre, los resultados encontrados en este estudio coinciden con los hallazgos de Olaiz (1996) que indican que las madres de niños que asisten a escuelas públicas presentaron un incremento en las concentraciones de plomo en sangre en la medida en que el nivel escolar de la madre se eleva, tal y como se observa en la madres de los niños de la zona 2 quienes presentaron un mayor nivel educativo en comparación con las madres de los niños de la zona 1. Sin embargo, contrastan con lo reportado por Sepúlveda y colaboradores (2000), quienes refieren que un nivel educativo de la madre más

elevado podría proteger al niño de la intoxicación por plomo por varias razones. Por un lado puede significar un mejor ingreso económico, que implique una mejor alimentación, vivienda más nueva y de mejor calidad, mayor vigilancia del comportamiento y hábitos de los niños, aumento de las posibilidades de acceso oportuno a la atención médica y exámenes de laboratorio. Este contraste podría deberse a la falta de información de la escolaridad del padre quien podría brindarnos un mejor panorama de la situación en la que viven los niños.

En relación con las alteraciones hematológicas derivadas por la exposición a plomo, en este estudio no se encontró anemia o alguna otra alteración de importancia clínica como se han documentado sobre la concentración de hemoglobina y el tamaño de los glóbulos rojos (Martínez y López, 1997). Sin embargo, esta falta de cambios hematológicos podría deberse a la cantidad de plomo encontrada en la sangre de la población de estudio, ya que se estima que un nivel de plomo en sangre de 40 $\mu\text{g/dL}$ en niños, representan el umbral de anemia, aunque otros estudios en niños sugieren un umbral más bajo (25 $\mu\text{g/dL}$) (ATSDR, 2007). No obstante, se encontró una Concentración Media de Hemoglobina Corpuscular (CMHC) por debajo de los rangos normales en los niños de la Zona 2, esto podría deberse a las deficiencias vitamínicas y nutricionales dado que los niños presentaron bajo peso y no a la presencia de plomo en sangre. Por otro lado, los niños con desnutrición son más vulnerables al plomo porque sus organismos tienden a absorber mayores cantidades de este metal en caso de carencia de otros nutrientes, como el calcio (OMS, 2016). Además de que se ha documentado la existencia de un sinergismo entre el plomo y la deficiencia de hierro en la patogénesis de la microcitosis (Martínez y López, 1997).

La Basofilia encontrada en la población de estudio de la Zona 2 no tiene correlación con las manifestaciones clínicas o algún dato de importancia en la intoxicación por plomo. Sin embargo, algunos estudios han reportado la presencia de un punteado basófilo que si bien no es patognomónico es muy característico del saturnismo (Infantas, 2005), pero este punteado se presenta en los glóbulos

rojo y no está asociado con el incremento del conteo celular de los basófilos. (Infantas, 2005)

En cuanto al retraso en el desarrollo neurológico, se encontró que los niños expuestos a una mayor concentración de plomo (Zona 2) presentaron una menor memoria espacial, aun cuando no se encontró una correlación entre ambas variables. Esta falta de asociación pudo deberse a la cantidad de plomo en sangre, ya que algunos estudios reportan que al doblar la concentración de plomo en sangre de 10 a 20 $\mu\text{g}/\text{dl}$ se perdería en promedio de 1 a 2 puntos en el Coeficiente Intelectual (CI) (Needleman y Gatsonis, 1990). No obstante, otros modelos experimentales apoyan el rol causal del plomo en los déficits neuropsicológicos a dosis bajas (Carpenter y colaboradores, 1994). Estos efectos podrían mantenerse a largo plazo, ya que se ha documentado la toxicidad de la exposición crónica a plomo en dosis bajas en niños, donde numerosos estudios muestran una relación inversa entre los niveles de plomo en sangre y el desarrollo mental y motor temprano, encontrándose un efecto máximo en el CI en la edad preescolar (Bellinger, Stiles y Needleman, 1992; Needleman y colaboradores, 1990)

El no haber detectado asociación podría deberse también a que por sí solo el plomo no fue capaz de causar las alteraciones neurológicas que se han reportado, sino que en combinación con la mezcla compleja de metales pesados es que podría ocasionar estos y otros daños, ya que en el ambiente es difícil encontrar un metal aislado, la mayoría se encuentra entremezclado (Carpenter, Arcaro y Spink, 2002). Por lo que además de estudiar la intoxicación por plomo, es necesario medir el Cromo, Cobalto, Níquel y Mercurio, entre otros metales y sus interacciones, que se han relacionado con diferentes problemas de salud y éstos podrían estar asociados con la exposición a varios contaminantes químicos en mezclas complejas que provienen de actividades antropogénicas como la minería de oro y la fundición de metales, la producción química, la manufactura de cemento, los residuos industriales, municipales y hospitalarios, las emisiones de

los rellenos sanitarios, la agricultura y algunas prácticas forestales. (Carpenter, Arcaro y Spink, 2002)

También podría pensarse que las alteraciones en el desarrollo neurológico podrían deberse a la disminución de los niveles de oxígeno en la sangre en los niños expuestos a mayores concentraciones de plomo (Zona 2), quienes presentaron mayores niveles de hipoxia como se observa en la figura 16. Estos resultados se han reportado en otros estudios donde la exposición a metales pesados causada por las emisiones de las actividades industriales se relaciona con menores niveles de oxígeno en sangre (Pelallo-Martínez y colaboradores, 2013), esto debido a que los procesos industriales demandan oxígeno para llevar a cabo el procesamiento de los residuos, lo que disminuye la concentración de oxígeno disponible para la población que vive en un área cercana poniendo en riesgo el neurodesarrollo de los niños (Pacheco, 2011). Esto se reportó en algunos estudios que resaltan al ambiente con un papel preponderante en el desarrollo del niño en edades tempranas y su repercusión en el futuro desarrollo humano (Cánovas, 2010; Pinto, 2008) Resulta trascendente señalar que, en la literatura se ha documentado esta asociación. Por lo que es imprescindible que se realicen estudios epidemiológicos y ambientales, de mayor escala y de larga duración, para dar seguimiento a esta investigación, donde un elemento adicional resultaría de la implementación de investigaciones con una muestra calculada mayor a la que conformo este estudio, esto podría explicar por un lado la necesidad de evitar la exposición a plomo en niños y su asociación con su trastorno neurológico.

CONCLUSIONES

Finalmente, se concluye que existe una proporción de niños que presenta niveles más elevados de plomo que los recomendados para su edad y este mismo grupo presentó un retraso en su desarrollo neurológico. Sin embargo, estos resultados no fueron concluyentes para determinar la asociación del plomo con las alteraciones neurológicas de los niños de la Zona Industrial de Tula de Allende,

Además, es de suma importancia la necesidad de establecer programas comunitarios de educación para prevenir la intoxicación por plomo, ya que los resultados de este tipo de medidas serían muy beneficiosos al no ser ya necesaria la educación especial para individuos que presenten problemas neuro-conductuales como la deficiencia cognitiva, las dificultades en el aprendizaje y los problemas de conducta derivados por la intoxicación por este metal.

El que existan niños impactados por exposición a plomo, aunque no fue posible la medición de asociación epidemiológica, hace necesario que se emita informe al respecto a las autoridades en materia de mantener la supervisión de la emisiones, vigilancia o monitoreo ambiental de las industrias a fin de proveer un entorno ambiental donde el impacto en los niños y las personas que cotidianamente viven en este entorno con exposición a plomo e interacciones por agentes químicos disminuya o mitigue los riesgos para la salud.

La no detección de asociación epidemiológica entre exposición a plomo e impacto neurológico, no exime a diseñar estrategias tendientes a disminuir los riesgos en la salud de la población infantil, ni a realizar un análisis en lo concerniente a legislación ambiental y/o la generación de políticas públicas.

REFERENCIAS

- ATSDR. (1995). *Reseña toxicológica de los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP)*. Atlanta, GA: Departamento de Salud y Servicios Humanos de los EE.UU., Servicio de Salud Pública.
- ATSDR. (2005). *Toxicological Profile for Lead*. Atlanta, GA.: Department of Health and Humans Services, Public Health Service, Centers for Diseases Control.
- ATSDR. (2007). *Reseña Toxicológica del Benceno*. Atlanta, GA: Departamento de Salud y Servicios Humanos de EE. UU., Servicio de Salud Pública.
- ATSDR. (2007). *Reseña Toxicológica del Plomo*. Atlanta, GA: Departamento de Salud y Servicios Humanos de EE. UU., Servicio de Salud Pública.
- Bellinger, D. C., Stiles, K. M., & Needleman, H. L. (1992). *Low-level lead exposure, intelligence and academic achievement: a long-term follow-up study*. *Pediatrics*, 90(6), 855-861.
- Calderón-Salinas, J. V., Valdez-Anaya, B., Mazúñiga-Charles, & Albores-Medina, A. (1996). *Lead exposure in a population of Mexican children*. *Human & experimental toxicology*, 15(4), 305-311.
- Cánovas R. (201) *Retraso Mental y Psicomotor en la Primera Infancia: Revisión de la literatura y propuesta de un protocolo de valoración neuropsicológica y otros*. *Cuad. Neuropsicol.* 4(2):162-185
- Carpenter, D. O., Arcaro, K., & Spink, D. C. (2002). *Understanding the human health effects of chemical mixtures*. *Environmental Health Perspectives*, 110(Suppl 1), 25.
- Carpenter, D. O., Matthews, M. R., Parsons, P. J., & Hori, N. (1994). *Long-term potentiation in the piriform cortex is blocked by lead*. *Cellular and molecular neurobiology*, 14(6), 723-733.
- Díaz-Barriga, F. (1996). Los residuos peligrosos en México. Evaluación del Riesgo para la Salud. *Salud Pública de México*, 280 - 291.
- EPA. (2006). *A Framework for Assessing Health Risks of Environmental Exposures to Children*. U.S. Washington, DC, EEUU: National Center for Environmental Assessment.
- EPA, U. E. (2006). *A framework for assessing health risks of environmental exposures to children*. National Center for Environmental Assessment.

Washington, DC: Available from the National Technical Information Service, Springfield, VA, and online at <http://www.epa.gov/ncea>.

García-Miranda, L. A., Contreras, I., & Estrada, J. A. (2014). *Valores de referencia del hemograma completo en escolares de 8 a 12 años de edad residentes a 2.760 m sobre el nivel del mar*. In *Anales de Pediatría* (Vol. 80, No. 4, pp. 221-228). Elsevier Doyma.

Ilizaliturri, C. A. (2009). Revisión de las metodologías sobre evaluación de riesgos en salud para el estudio de comunidades vulnerables en América Latina. *Interciencia*.

INE. (2013). *Red Hidalguense de Monitoreo Atmosférico del estado de Hidalgo*.

Infantas, M. M. V. (2005). *Intoxicación por plomo*. *Rev Soc Per Med Inter*, 18, 22-27.

IPCS. (2006). *Principles for evaluating health risk in children associated with exposure to chemicals*. Geneva: International Programme on Chemical Safety.

Jiménez-Gutiérrez, C., Romieu, I., & Ramírez-Sánchez, A. L. (1999). *Exposición a plomo en niños de 6 a 12 años de edad*. *salud pública de México*, 41.

Lalonde, M. (1974). *A new perspective on Health of the Canadians*. Minister of National Health and Welfare. Ottawa: Government of Canada.

Martínez, O., & López, M. (1997). *Prevalencia de alteraciones hematológicas en intoxicación ocupacional por plomo*. *Acta Médica Colombiana*, 22, 133-9.

Meneses-González, F., Richardson, V., Lino-González, M., & Vidal, M. T. (2003). *Niveles de plomo en sangre y factores de exposición en niños del estado de Morelos, México*. *salud pública de México*, 45, 203-208.

Muñoz, H., Romieu, I., Palazuelos, E., Mancilla-Sanchez, T., Meneses-Gonzalez, F., & Hernandez-Avila, M. (1993). Blood lead level and neurobehavioral development among children living in Mexico City. *Archives of Environmental Health: An International Journal*, 48(3), 132-139.

Nava-Ruiz, C. (2011). Efectos neurotóxicos de metales pesados (cadmio, plomo, arsénico y talio). *Arch Neurocién*, 140-147.

NEEDLEMAN HL, GATSONIS CA. *Low-level lead exposure and the IQ of children. A meta-analysis of modern studies*. *JAMA* 1990; 263: 673-8.

- Needleman, H. L., Schell, A., Bellinger, D., Leviton, A., & Allred, E. N. (1990). *The long-term effects of exposure to low doses of lead in childhood: an 11-year follow-up report*. *New England journal of medicine*, 322(2), 83-88.
- Neri, M. (2005). Baseline Micronuclei Frequency in Children: Estimates from Meta-and. *Environmental Health Perspectives*, 1226 - 1229.
- Olaiz, G., Fortoul, T. I., Rojas, R., Doyer, M., Palazuelos, E., & Tapia, C. R. (1996). *Risk factors for high levels of lead in blood of schoolchildren in Mexico City*. *Archives of Environmental Health: An International Journal*, 51(2), 122-126.
- OMS. (2011). *Calidad del Aire y Salud. Nota descriptiva N° 313*.
- OMS (2016). *Intoxicación por plomo y salud. Nota descriptiva*.
- Pacheco Luque, J.A. (2011) *Contaminantes Industriales y Salud. Incidencia en la Salud de los Moradores del Barrio 15 de Marzo, de los Contaminantes Gaseosos, emitidos por la Refinería de Petróleos y Termoesmeraldas, en el periodo 2005-2010*. Quito, IAEN.
- Papanikolaou, N. C. (2005). Lead toxicity update. A brief review. *Med Sci Monit*, RA329-336.
- Pelallo-Martinez N.A., Rodríguez-Rivera S, Pérez-Rodríguez R.Y., Castro-Larragoitia J. (2013) *Heavy Metals Exposure and Oxygen Blood Level in Children from Mexican Industrial Area*.
- Peña, C. E.-F. (2001). *Toxicología Ambiental: Evaluación de Riesgos y*. Arizona: Distributed on the Internet via the Southwest Hazardous Waste Program website at <http://superfund.pharmacy.arizona.edu/toxamb/>.
- Pinto LF. (2008). *Lo maravilloso y mágico del neurodesarrollo humano*. *Rev. chil. pediatr.*[revista en la Internet] 2008. Disponible en: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-41062008000700003&lng=es . doi: 10.4067/S0370-41062008000700003 doi: 10.4067/S0370-41062008000700003
- POCOCK, S. J., ASHBY, D., & SMITH, M. A. (1987). *Lead exposure and children's intellectual performance*. *International journal of epidemiology*, 16(1), 57-67.
- SEMARNAT. (2012). *Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes RETC*.

- Sepúlveda, V., Vega, J., & Delgado, I. (2000). *Exposición severa a plomo ambiental en una población infantil de Antofagasta, Chile*. *Revista médica de Chile*, 128(2), 221-232.
- SINAVE/DGE/SALUD. (2012). *Panorama Epidemiológico y Estadístico de la Mortalidad en México*. México DF: IEPSA.
- Subramanian, K. (1987). Determination of lead in blood: comparison of two GFAAS methods. *Atomic Spectros*, 8:7–14.
- Toscano, C. (2005). Lead neurotoxicity: from exposure to molecular effects. *Brain Res Rev*, 49:529-54.
- UNEP, U. &. (2002). *Children in the New Millennium: Environmental Impact on Health*. Republic of Malta.
- Zayas Mujica, R. D., & Cabrera Cárdenas, U. D. (2007). Los tóxicos ambientales y su impacto en la salud de los niños. *Revista Cubana Pediatría*.

ANEXOS

Anexo 1. Cuestionario de Factores de Exposición Ambiental



Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo
Instituto de Ciencias de la Salud
Maestría en Salud Pública

"Neurotoxicidad asociada a plomo en niños que habitan la zona Industrial de Tula de Allende, Hidalgo."

I CUESTIONARIO DE FACTORES DE RIESGO

I.- FACTORES DE EXPOSICIÓN

1.- Fuente de agua de su hogar

1. Entubada ___ 2.-Pozo ___ 3. Río ___ 4.-Otra _____

2.- ¿De dónde obtienen el agua para beber o cocinar?

1. Entubada ___ 2. Pozo ___ 3. Río ___ 4. Camión (pipa) 5. Garrafón ___
6. Otra, especifique por favor _____

3.- ¿Qué tratamiento acostumbra dar al agua para beber o cocinar?

1. Ninguno ___ 2. La hierven ___ 3. Cloro ___ 4. Purificador ___
5. Otra _____

4.- ¿Para cocinar usa ollas o cazuelas de barro?

1. Sí ___ 2. No ___ 3. No sé ___

5.- Guarda sus alimentos o el agua de beber en ollas o cazuelas de barro

1. Sí ___ 2. No ___ 3. No sé ___

6.- ¿Con que cocina?

1.- Gas ___ 2.- Carbón ___ 3.- Petróleo ___ 4.- Leña 5.-otro _____

7.- ¿Su hijo (a) ha sufrido de intoxicaciones?

1. Sí ___ 2. No ___ 3. No sé ___

Si la respuesta es No pase a la pregunta 10.

8.- Si sufrió alguna ¿Con qué? (especifique el producto)

1. Medicamentos ___ 2. Productos de limpieza ___ 3. Insecticidas ___
4. Plaguicidas ___ 5. Otro _____

9.- ¿Cómo la trató? 1. Hospitalización ___ 2. Remedio casero ___

3. Tratamiento médico ___ 4. Curandero ___ 5. Otra _____

10.- Vive cerca

1. Una gasolinera ___ 2. Un taller de hojalatería y pintura ___
3. Una tintorería ___ 4. Una ferretería ___

11.- Actualmente ¿Vive cerca de alguna avenida principal?

1. Sí ___ 2. No ___ 3. No sé ___

12.- En caso de ser sí, ¿Cuál es la avenida (Nombre)? _____ Y
¿A cuántas calles queda de su casa? _____

13.- ¿Por lo general mantiene las ventanas abiertas?

1. Sí ___ 2. No ___ 3. No sé ___



14.- ¿Consumes jugos o alimentos procesados? (Sabritas, Gansitos, Galletas, Jugos JUMEX, Refrescos)
 Sí _____ No _____

15.- En las últimas 24 horas ¿Consumió algún alimento procesado?
 Sí _____ No _____

16.- En caso de respuesta afirmativa ¿Cuáles?

II.- ¿Con qué frecuencia realiza las siguientes actividades?

Actividad	Nunca	Menos de una vez al mes	Veces al mes	Veces a la semana			Veces al día				
			1 a 3	1	2 a 4	5 a 6	1	2 a 3	4 a 5	6 a 7	
¿Cocinar con leña?											
¿Come carne a la parrilla/asada?											
¿Quemar basura fuera de la casa?											

III.- ¿Con qué frecuencia realiza las siguientes actividades fuera de casa?

Actividad	Nunca	Menos de media hora al día	De media hora a 2 horas	De 2 a 4 horas	De 4 a 6 horas
Caminar					
Jugar con sus amigos en la calle					
Trabajar					
En caso de trabajar, ¿en que trabaja?					
Alguna otra actividad					



IV.- EXPOSICIÓN PASIVA DEL NIÑO(A) AL HUMO DE TABACO

En caso de que ningún familiar del menor fume actualmente, termine el cuestionario

17.- ¿La mamá o papá fuma?

Padre: 1. Sí ____ 2. No ____ 77. No sé ____

Madre: 1. Sí ____ 2. No ____ 77. No sé ____

18.- En caso de ser sí, ¿Fuman al interior de la casa?

Padre: 1. Sí ____ 2. No ____ 77. No sé ____

Madre: 1. Sí ____ 2. No ____ 77. No sé ____

19.- ¿Alguien más fuma al interior de la casa?

1. Sí ____ 2. No ____ 77. No sé ____

20.- En caso de ser sí, quien lo hace

Hermanos ____ Materno ____ Paterno ____

Abuelos ____ Materno ____ Paterno ____

Tíos ____ Materno ____ Paterno ____

Primos ____ Materno ____ Paterno ____

Otro ____ ¿Quién? ____ Materno ____ Paterno ____

21.- Número total de personas que fuman al interior de la casa _____

22.- El menor se encuentra cerca de alguien cuando éste último está fumando

1. Sí ____ 2. No ____ 3. No sé ____

23.- De todas las personas que fuman al interior de la casa, ¿cuántos cigarros se fuman diariamente dentro de la casa? _____

24.- ¿En el caso de la mamá, fumó durante el embarazo?

1. Sí ____ 2. No ____ 77. No sé ____ No. De cigarros por día ____

Anexo 2. Cuestionario Regla AMAI NSE 10X6



Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo
Instituto de Ciencias de la Salud
Maestría en Salud Pública

"Neurotoxicidad asociada a plomo en niños que habitan la zona Industrial de Tula de Allende, Hidalgo."

CUESTIONARIO REGLA AMAI NSE 10X6

1. ¿Cuál es el total de cuartos, piezas o habitaciones con que cuenta su hogar?, por favor no incluya baños, medios baños, pasillos, patios y zotahuellas. **(Si el entrevistado pregunta específicamente si cierto tipo de pieza pueda incluirlo o no, debe consultarse la referencia que se anexa)**

RESPUESTA	
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7 o más	

PUNTOS	
0	
0	
0	
0	
8	
8	
14	

2. ¿Cuántos baños completos con regadera y W.C. (excusado) hay para uso exclusivo de los integrantes de su hogar?

RESPUESTA	
0	
1	
2	
3	
4 o más	

PUNTOS	
0	
13	
13	
31	
48	

3. ¿En hogar cuenta con regadera funcionando en alguno de los baños?

RESPUESTA	
No tiene	
Si tiene	

PUNTOS	
0	
10	

4. 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 vivienda?

RESPUESTA	
0 a 5	
6 a 10	
11 a 15	
16 a 20	
21 o más	

PUNTOS	
0	
15	
27	
32	
46	

5. ¿El piso de su hogar es predominantemente de tierra, o de cemento, o de algún otro tipo de acabado?

RESPUESTA	
Tierra o cemento	
Otro material o acabado	

PUNTOS	
0	
11	



6. ¿Cuántos automóviles propios, excluyendo taxis, tienen en su hogar?

RESPUESTA	
1	
1	
2	
3 o más	

PUNTOS	
0	
22	
41	
59	

7. ¿Cuántas televisiones a color funcionando tienen en este hogar?

RESPUESTA	
0	
1	
2	
3 o más	

PUNTOS	
0	
26	
44	
59	

8. ¿Cuántas computadoras personales, ya sea de escritorio o lap top, tiene funcionando en este hogar?

RESPUESTA	
0	
1	
2 o más	

PUNTOS	
0	
17	
29	

9. ¿En este hogar cuentan con estufa de gas o eléctrica?

RESPUESTA	
No tiene	
Si tiene	

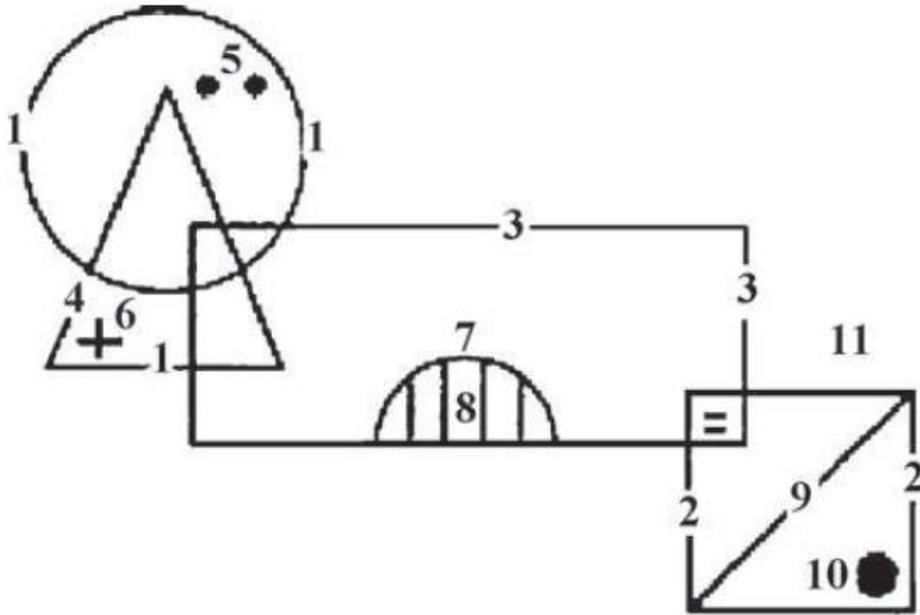
PUNTOS	
0	
20	

10. Pensando en la persona que aporta la mayor parte del ingreso en este hogar, ¿cuál fue el último año de estudios que completó? (espere respuesta, y pregunte) ¿Realizó otros estudios? (reclasificar en caso necesario).

RESPUESTA	
No estudio	
Primaria incompleta	
Primaria completa	
Secundaria incompleta	
Secundaria completa	
Carrera comercial	
Carrera técnica	
Preparatoria incompleta	
Preparatoria completa	
Licenciatura incompleta	
Licenciatura completa	
Diplomado o Maestría	
Doctorado	
No sabe / no contestó	

PUNTOS	
0	
0	
22	
22	
22	
38	
38	
38	
38	
52	
52	
72	
72	
0	

Anexo 3. Figura Compleja de Rey



Anexo 4. Consentimiento informado



Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo
Instituto de Ciencias de la Salud
Maestría en Salud Pública

"Neurotoxicidad asociada a plomo en niños que habitan la zona industrial de Tula de Allende, Hidalgo."

CARTA DE CONSENTIMIENTO INFORMADO

El que suscribe, padre, madre o tutor del niño(a): _____
_____, de _____ años de edad, declaro que autorizo y
consiento voluntariamente que mi hijo(a) participe en el proyecto de investigación:
**"Neurotoxicidad asociada a plomo en niños que habitan la zona industrial de Tula de Allende,
Hidalgo"**, el cual se lleva a cabo bajo la responsabilidad del M.C. Saúl Rodríguez Rivera y la
dirección del Dr. en Salud Pública Jesús Carlos Ruvalcaba Ledezma. También declaro que he
sido ampliamente informado en un lenguaje que entiendo claramente sobre los objetivos de
este estudio, los cuales consisten en: Determinar la asociación entre la exposición a plomo y el
efecto neurotóxico que pudiera causar en los niños.

La participación de mi hijo(a) consiste en donar una muestra de sangre y orina; ser
sometido a una prueba neuropsicológica de evaluación de la función visual-constructiva y
consolidación de la memoria; y se evaluará el estado nutricional con base a peso y talla. Como
padre, madre o tutor, contestare un cuestionario dirigido para obtener información sobre
factores de riesgo y condición socioeconómica.

He sido informado sobre los beneficios que representa participar en el estudio, entre
éstos: los análisis que se practicarán en sangre y orina, los resultados de la prueba
neuropsicológica y de la evaluación del estado nutricional, los cuales no representan ningún
costo.

**He sido informado y acepto los riesgos a los que se someterá mi hijo(a) al participar en
el estudio**, éstos son clasificados como mínimos y podría presentar incomodidad y dolor en el
sitio de inserción de la aguja para la obtención de la muestra de sangre; así como sangrado
excesivo, hematomas, infecciones del sitio de punción, mareo, náusea y desmayos.

He sido informado que recibiré reportes por escrito de los resultados que se le
practiquen a mi hijo(a) los cuales pueden ser útiles para su expediente médico.

Se me ha informado que durante el curso del trabajo será tratado con decoro, dignidad
y discreción. **Los resultados serán confidenciales y empleados solo para fines de
investigación; y que tengo el derecho de retirar a mi hijo(a) del estudio cuando así lo decida
sin ser sujeto a alguna medida de presión.**

Tula de Allende, Hgo., a ____ de enero, de 2015.

Padre, madre o tutor(a)

Investigador responsable

Testigo

Testigo