



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Programa Universitario de Investigación Interdisciplinario de Salud (PUIS)

nombre del programa universitario de investigación de la Digi

Intoxicación por plomo y su relación con la psicosis y el trastorno por déficit de atención e hiperactividad en menores de 18 años.

nombre del proyecto de investigación

4 .8.63.1.94.

número de partida presupuestaria

unidad académica o centro no adscrito a unidad académica que avaló el proyecto

Virginia María Ortiz Paredes

nombre del coordinador del proyecto y equipo de investigación contratado por la Digi

Guatemala, 28/02/2025

lugar y fecha de presentación del informe final dd/mm/año



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Contraportada

Autoridades de la Dirección General de Investigación

Dra. Alice Burgos Paniagua

Directora General de Investigación

MARN Ing. Agr. Julio Rufino Salazar

Coordinador General de Programas

Licda. Sucely Orozco M.A.

Coordinador(a) del Programa Universitario de Investigación

Autores

Coordinador(a) del proyecto: Virginia María Ortiz Paredes

No. Registro de Personal 20060971

Investigador profesional:

Miriam Carolina Guzmán Quilo; Registro de Personal: 930124

Mónica Ninet Rodas González; Registro de Personal: 20180429

Cinthya Paola Rivera Ruiz; Registro de Personal: 20140161

Mirna Margarita Ramírez Rivera; Registro de Personal: 20181295

Carlos Eduardo Gramajo Arriola; Registro de Personal: 20241338

Auxiliar de investigación II: José Gerardo Sazo Valdez; No. Registro de Personal: 20241324

Colaboradores: Werner Gustavo González Tul; Departamento de Toxicología, Escuela de Química Farmacéutica, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala. Karen Marisa Ureta Barrera, Clínica de Psiquiatría Infanto-juvenil, Departamento de Pediatría, Hospital General San Juan de Dios.

Esta investigación fue cofinanciada con recursos del Fondo de Investigación de la DIGI de la Universidad de San Carlos de Guatemala a través de la partida presupuestaria número: 4863.1.94. en el Programa Universitario de Investigación Programa Universitario de Investigación Interdisciplinario de Salu (PUIIS). Los autores son responsables del contenido, de las condiciones éticas y legales de la investigación desarrollada.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Índice general

Resumen	4
Palabras clave	¡Error! Marcador no definido.
Abstract	5
Keywords	5
Introducción	¡Error! Marcador no definido.
Contexto de la investigación	7
Revisión de literatura	7
Planteamiento del problema	18
Objetivos	¡Error! Marcador no definido.
Hipótesis	¡Error! Marcador no definido.
Método	¡Error! Marcador no definido.
Aspectos éticos y legales	¡Error! Marcador no definido.
Resultados y discusión	¡Error! Marcador no definido.
Propiedad intelectual	¡Error! Marcador no definido.
Beneficiarios directos e indirectos	¡Error! Marcador no definido.
Estrategia de divulgación y difusión de los resultados	¡Error! Marcador no definido.
Contribución a las Prioridades Nacionales de Desarrollo (PND) .	¡Error! Marcador no definido.
Contribución al desarrollo de iniciativas de ley	¡Error! Marcador no definido.
Vinculación	¡Error! Marcador no definido.
Conclusiones	43
Recomendaciones	¡Error! Marcador no definido.
REFERENCIAS	¡Error! Marcador no definido.
Apéndice	¡Error! Marcador no definido.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Resumen

Introducción: La exposición a plomo es un problema de salud pública global, particularmente en países de bajos y medianos ingresos. En Guatemala, a pesar de los riesgos conocidos, asociados al uso de plomo y la falta de legislación, existen pocos estudios sobre su impacto en la salud mental de niños y adolescentes. Esta investigación explora la relación entre la intoxicación por plomo y los trastornos psiquiátricos en esta población vulnerable. **Objetivos:** Determinar la frecuencia de psicosis y Trastorno por Déficit de Atención e Hiperactividad (TDAH) en pacientes de 6 a 18 años atendidos en la clínica de Psiquiatría Infanto-juvenil del Hospital General San Juan de Dios (HGSJDD). **Hipótesis:** Existe una relación entre la intoxicación por plomo y la presencia de psicosis y TDAH en niños y adolescentes que asisten a la clínica de psiquiatría infanto-juvenil del HGSJDD. **Métodos:** Se realizó un estudio básico, cuantitativo y transversal durante septiembre y octubre de 2024 en el HGSJDD. Se analizaron datos de pacientes de 6 a 18 años, incluyendo características generales (edad, género, escolaridad, etc.), frecuencia de psicosis y TDAH, y niveles de plomo en sangre. La selección de la muestra se basó en los casos atendidos en la Unidad de Psiquiatría Infanto-juvenil del hospital. **Discusión:** Del total de pacientes estudiados, el 90 % presentó niveles detectables, lo que evidencia la necesidad de tomar decisiones en la prevención y atención de la intoxicación por plomo.

Palabras clave

1. Psicosis	2. TDAH	3. Salud Mental	4. Intoxicación por plomo	5. Salud Pública
-------------	---------	-----------------	---------------------------	------------------



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Abstract

Introduction: In Guatemala, despite known risks and a lack of comprehensive legislation regarding lead usage, research on its impact on children's mental health remains limited. This study investigates the relationship between lead poisoning and psychiatric disorders in Guatemalan children and adolescents, a population with significant lead exposure risk factors, including leaded crystal dishware and informal recycling activities. **Objectives:** This study aimed to: 1) Determine the frequency of psychosis and Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder (ADHD) in patients aged 6-18 years attending the Child and Adolescent Psychiatry Clinic at Hospital General San Juan de Dios (HGSJDD); 2) Estimate lead levels in the study population using graphite furnace atomic absorption spectrophotometry; 3) Determine the relationship between lead levels, psychosis, and ADHD; and 4) Assess differences in lead levels by geographic area and gender. **Hypothesis:** There is a significant association between lead poisoning and the presence of psychosis and ADHD in children and adolescents. **Methods:** A basic, quantitative, cross-sectional study was conducted at HGSJDD between September and October 2024. Data were collected from patients aged 6-18 years, encompassing demographics, frequency of psychosis and ADHD diagnoses, and blood lead levels. The sample selection was based on cases at the hospital's Child and Adolescent Psychiatry Unit. **Results:** 90% of the patients studied had lead levels. **Discussion:** The study's findings highlight a critical need for preventive and interventional strategies targeting lead poisoning in Guatemala. The elevated lead levels observed emphasize the urgent need for public health interventions and policy changes to mitigate lead exposure in this vulnerable population.

Keywords

1. Psicosis	2. ADHD	3. Mental Health	4. Lead poisoning	5. Public Health
-------------	---------	------------------	-------------------	------------------



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

1. Introducción

Según datos de la Organización Mundial de la Salud, una quinta parte de los adolescentes menores de 18 años padece de algún problema de desarrollo, emocional o de conducta. Uno de cada ocho tiene un trastorno mental; entre los niños en desventaja, la proporción es uno de cada cinco. Las estimaciones de trastornos de conducta en jóvenes evidencian una prevalencia entre 2 y 10% siendo mayor en el sexo masculino, los trastornos de ansiedad representan el trastorno psiquiátrico más común en niños, con una prevalencia entre 5.7 y 17.7% (OPS, 2004). En diversos estudios también se han descrito hasta tasas del 17%, este aumento principalmente en EE.UU., genera la duda si es posible que exista un sobrediagnóstico de estos trastornos en el resto de países. En España, utilizando los criterios diagnósticos del DSM-IV, dos estudios relativamente recientes se hallaron prevalencias entre el 4.7% y el 6.6%; también en una revisión sistemática y metaanálisis (14 estudios incluyeron a 13,023 niños y adolescentes) se estimó una prevalencia global del 6.8%. (Rodríguez González CT, 2017)

Desde 1960 la intoxicación por plomo empezó a considerarse un problema de salud pública dado que los niños lo ingerían a través de la ingestión de residuos de pintura de juguetes, a través del uso de platos que tienen cristal emplomado, muy común en el área rural de Guatemala. En niños, la sintomatología inicial incluye vómitos, anorexia, apatía, irritabilidad, agresividad y trastornos de conducta. Estos últimos, especialmente en adolescentes.

Uno de los elementos a resaltar también y descrito entre los factores para una mayor exposición al plomo, es la deficiencia de elementos esenciales como el calcio y hierro, ya que su deficiencia se ha relacionado con el incremento en la absorción y retención de plomo, por lo que la intoxicación neuronal por plomo resulta más grave. (Disalvo, L; 2011), sin embargo, en Guatemala los estudios son escasos sobre el peligroso metal.

De acuerdo a la Agencia para el Registro de Sustancias Tóxicas y Enfermedades (ASTDR, por sus siglas en inglés) la exposición al plomo en la infancia puede influir en el crecimiento, comportamiento y desarrollo cognitivo, con consecuencias a lo largo de la vida (ATSDR, 2007). Comparado con los adultos, la exposición al plomo es mayor en los niños por la frecuencia de comportamientos “mano-boca”, lo que genera altos niveles de absorción de plomo por el tracto gastrointestinal.

En el estudio de Disalvo L, Plumbemia y factores de riesgo en población pediátrica, una de las conclusiones es que el factor de riesgo más importante asociado a plumbemias $\geq 10 \mu\text{g/dl}$ fue el desarrollo en el hogar de actividades contaminantes, como recolección de metales para la venta, desarme de baterías, fundición y quema de cables, situación muy similar en Guatemala y resto de países de América Latina, y no por exposición a pintura como sucede en EE.UU. Además, de la deficiencia por hierro. (Disalvo L, 2011)



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Marshall y colaboradores encontraron en un estudio realizado en los Estados Unidos, que los niños de familias de bajo nivel socioeconómico son más vulnerables a insultos ambientales como la exposición a altos niveles de plomo, sin embargo, es de hacer notar que no hay un consenso con relación a cuál es el nivel mínimo tóxico. (Marshall, A. T., Betts, S., Kan, E. C., McConnell, R., Lanphear, B. P., & Sowell, E. R.; 2020) En investigaciones realizadas en España, Estados Unidos, Taiwan y Johannesburgo, los niveles de plomo en sangre se encontraron entre 1.1 µg/dl a 11.90 µg/dl.

Realizar el diagnóstico de intoxicación por plomo es difícil a pesar de que actualmente contamos con los métodos y técnicas necesarias para llevarlo a cabo. La dificultad radica en la poca atención que se le presta al problema. El clínico no considera aún el plomo como causa de los síntomas descritos anteriormente, por lo que, es importante que se considere como tal, de manera que, al realizar el examen físico y la historia clínica, se investiguen probables fuentes de exposición para realizar las mediciones de plomo en sangre, como parte de la evaluación rutinaria, en los casos en los que se sospeche la intoxicación por este metal.

La comunidad de la Salud Pública no ha tenido éxito en la eliminación de esta amenaza para la salud y el desarrollo de nuestros niños. El envenenamiento infantil por plomo es una enfermedad prevenible y representa un reto importante para los programas de salud pública a lo largo de América Latina y El Caribe. (Markowitz ME, 2003), (Naciones Unidas, 2021)

2. Contexto de la investigación

Estudio que se realizó de septiembre a octubre del año 2024, en pacientes menores de 18 años atendidos en la Clínica Infanto-juvenil de Psiquiatría y consulta general del Hospital General San Juan de Dios, Guatemala.

3. Revisión de literatura

Generalidades del Plomo

El plomo es un metal tóxico que se encuentra de manera natural en la corteza terrestre. Su uso extendido ha dado lugar a una significativa contaminación ambiental, poniendo en riesgo la salud humana y generando serios problemas de salud pública en diversas regiones del mundo.

Las principales fuentes de contaminación por plomo incluyen la minería, la metalurgia, la fabricación industrial, el reciclaje y su adición en numerosos productos. La mayor parte del plomo que se utiliza a nivel mundial se destina a la fabricación de baterías de plomo-ácido



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

para vehículos. Sin embargo, este metal también se encuentra en una variedad de otros productos, incluyendo:

- Pinturas con plomo en casas, ventanas, puertas y otras superficies con soldaduras
- Suelo contaminado por emisiones de carros o raspaduras de pintura
- Juguetes, joyería y muebles pintados con tintes o esmaltes de plomo
- Artículos de plomería, tuberías y grifos.
- Vajillas de cristal o cerámica
- Alimentos cocinados o guardados en utensilios de alfarería glaseada o cristal emplomado
- Bebidas alcohólicas destiladas en serpentines de plomo
- Productos cosméticos étnicos
- Productos herbales importados
- Municiones

Los niños pequeños son especialmente susceptibles a los efectos tóxicos del plomo, que pueden tener consecuencias graves y duraderas en su salud, afectando especialmente el desarrollo del sistema nervioso central. En los adultos, la exposición a este metal también puede causar daños persistentes, como un mayor riesgo de hipertensión, enfermedades cardiovasculares y daños renales. Además, la exposición prenatal puede ser perjudicial para el crecimiento intrauterino del feto e incluso provocar un parto prematuro (Center for Disease Control and Prevention, 2023; Guo et al., 2022).

La exposición al plomo puede ocurrir tanto en el entorno laboral como en el hogar, principalmente a través de dos vías:

- La inhalación de partículas de plomo que se liberan al quemar materiales que lo contienen. Esto es común en actividades como la fundición, el reciclaje, el decapado de cables plásticos, la pintura a base de plomo y el uso de combustibles con plomo en la aviación.
- La ingestión de polvo, tierra, agua o alimentos contaminados (Organización Mundial de la Salud: OMS, 2024).

Es un elemento tóxico no esencial que se acumula en el cuerpo. En su interacción con la materia viva, tiene características comunes a otros metales pesados y algunas peculiaridades. Como este metal afecta prácticamente a todos los órganos y sistemas del organismo, los mecanismos de toxicidad propuestos involucran procesos bioquímicos fundamentales, que incluyen la capacidad del plomo para inhibir o imitar la acción del calcio e interactuar con



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

las proteínas. A niveles de exposición moderada (ambiental y laboral), un aspecto importante de los efectos tóxicos del plomo es la reversibilidad de los cambios bioquímicos y funcionales inducidos. Los efectos biológicos del plomo son los mismos independientemente de la ruta de entrada (inhalación o ingestión), ya que hay interferencia en el funcionamiento normal de la célula y en numerosos procesos fisiológicos (Moreira & Moreira, 2004).

Los niños pequeños pueden absorber de cuatro a cinco veces más de este metal que los adultos. Su naturaleza curiosa y el hábito de llevarse objetos a la boca aumentan su riesgo de exposición a tierras, polvos o escamas de pintura que contienen plomo. Un grupo de especial atención son aquellos niños que sufren de pica, una condición que los lleva a ingerir compulsivamente objetos no alimenticios y que, por ende, incrementa aún más su riesgo. En algunos países, la exposición a tierras y polvos contaminados por plomo, resultado de actividades como el reciclaje de baterías y la minería, ha ocasionado intoxicaciones masivas y la muerte de numerosos niños. Una vez que el plomo entra en el cuerpo, se distribuye y se concentra en órganos vitales como el cerebro, el hígado, los riñones y los huesos. Además, se deposita en los dientes y huesos, donde puede acumularse con el tiempo y reingresar al torrente sanguíneo durante el embarazo, lo que representa un riesgo significativo para el feto. Los niños desnutridos son particularmente susceptibles a los efectos del plomo, ya que tienden a absorberlo en mayor cantidad si su dieta carece de nutrientes esenciales, especialmente calcio y hierro (Organización Panamericana de la Salud: OPS, 2024)

Se ha demostrado que las partículas de plomo más pequeñas (<1 μm) tienen mayores tasas de deposición y absorción en los pulmones que las partículas más grandes. En hombres adultos, aproximadamente el 30-50% del plomo en el aire inhalado se deposita en el tracto respiratorio, dependiendo del tamaño de las partículas y la tasa de ventilación del individuo. La proporción de plomo depositada es independiente de la carga absoluta de plomo en el aire. La vida media para la retención de plomo en los pulmones es de aproximadamente 15 horas. Una vez depositado en el tracto respiratorio inferior, el plomo en partículas se absorbe casi por completo, y las diferentes formas químicas de plomo inorgánico parece absorberse por igual (IARC, 2006). Los adultos que ingresan a la mediana edad y estuvieron expuestos a altos niveles de plomo cuando eran niños, desarrollan una neurotoxina que afecta su desarrollo mental. La exposición al plomo en la infancia se ha relacionado con un desarrollo conductual interrumpido. Se asocia con una mayor psicopatología a lo largo de la vida y con los rasgos difíciles de la personalidad adulta. La exposición al plomo en la infancia puede tener consecuencias a largo plazo para la salud mental y la personalidad del adulto (Reuben et al., 2019).



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Mientras el cuerpo humano esté expuesto al plomo y sea absorbido, afectará la salud de varios sistemas del cuerpo, incluidos el sistema nervioso, el sistema digestivo y el sistema reproductivo. Los estudios han demostrado que la exposición al plomo en poblaciones ocupacionales y generales puede causar riesgo de enfermedad cardiovascular, lesión nerviosa, lesión renal, cáncer, diabetes mellitus y otras enfermedades sistémicas. Se ha reportado que la exposición a largo plazo al plomo aumenta el riesgo de tumores cerebrales y es probable que los tumores cerebrales tengan secuelas funcionales (Meng et al., 2020).

El diagnóstico de intoxicación por plomo se fundamenta en la historia clínica del paciente, una cuidadosa exploración y los resultados de diversas pruebas, como la medición de la concentración de plomo en sangre y los biomarcadores que indican su efecto (Organización Mundial de la Salud: OMS, 2024).

La exposición al plomo puede ser de corta duración, lo que se conoce como intoxicación aguda, o más prolongada, en el caso de la intoxicación crónica. Hasta la fecha, no se ha establecido un nivel de exposición al plomo que sea completamente seguro para la salud. Por esta razón, ciertas autoridades de salud definen la exposición excesiva como una concentración sanguínea que supera los valores de referencia establecidos para la población general. Estos valores suelen corresponder al 2,5% o al 5% de los individuos más expuestos, es decir, el percentil 97,5 o 95, respectivamente. Sin embargo, estos valores son propensos a modificarse. En octubre de 2021, los Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades de los Estados Unidos actualizaron su valor de referencia de plomo en sangre, estableciéndolo en 3,5 µg/dl para niños de 1 a 5 años, basándose en el percentil 97,5 (Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2021; Centers for Disease Control and Prevention: CDC, 2024; Organización Mundial de la Salud: OMS, 2024)

La exposición al plomo representa un grave riesgo para la salud de los niños. Aquellos niños que logran sobrevivir a una intoxicación severa pueden enfrentar secuelas permanentes, incluyendo discapacidad intelectual y trastornos del comportamiento. Es importante destacar que incluso niveles de exposición más bajos, que no generan síntomas evidentes, pueden ocasionar daños significativos en diversos sistemas del cuerpo. En el caso de los niños, el plomo puede impactar de manera especialmente negativa su desarrollo cerebral, lo que puede traducirse en una disminución en la capacidad cognitiva, el cociente intelectual y en alteraciones conductuales como dificultades para concentrarse, un aumento en comportamientos antisociales y un bajo rendimiento académico. Además, la exposición al plomo puede dar lugar a problemas de salud adicionales, como anemia, hipertensión, insuficiencia renal, inmunotoxicidad y toxicidad en los órganos reproductivos (Organización Mundial de la Salud, 2022).



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Los primeros indicadores de intoxicación incluyen vómitos ocasionales, pérdida de apetito, alteraciones en el comportamiento como agresividad, irritabilidad y agitación; dolores de cabeza, torpeza y episodios de apatía. En casos graves, la intoxicación puede resultar en coma, convulsiones e incluso la muerte. Los niños que logran sobrevivir a una intoxicación severa por plomo pueden sufrir daños neurológicos permanentes, tales como sordera, discapacidades intelectuales y trastornos del comportamiento. Es importante destacar que el plomo también puede atravesar la placenta, generando complicaciones perinatales que incluyen muerte prenatal, bajo peso al nacer, parto prematuro y aborto espontáneo (Center for Disease Control and Prevention, 2023; Organización Mundial de la Salud, 2022).

En 2021 se reportó que la exposición al plomo fue responsable de más de 1,5 millones de muertes a nivel mundial, principalmente por sus efectos adversos en el sistema cardiovascular. Se estima que, en 2011, los costos económicos relacionados con los efectos de la exposición al plomo en el desarrollo neurológico infantil alcanzaron el 1,2% del producto interior bruto mundial. Estos efectos tuvieron un impacto aún más significativo a nivel regional, con una pérdida del PIB del 4% en África, del 2% en América Latina y el Caribe, y del 1,9% en Asia. (Instituto de Sanimetría y Evaluación Sanitaria., 2021)

La OMS ha incluido al plomo en la lista de las diez sustancias químicas más peligrosas para la salud pública, subrayando la necesidad de intervención para salvaguardar la salud de trabajadores, niños y mujeres en edad reproductiva. Con este fin, la OMS ha publicado una serie de documentos sobre el plomo que incluyen orientaciones para entidades normativas, recomendaciones técnicas, materiales de capacitación y recursos destinados a la concientización. En 2021, la OMS emitió directrices relacionadas con el tratamiento clínico de la exposición al plomo, sugiriendo que si una persona presenta una concentración sanguínea de plomo igual o superior a 3.5 µg/dl, es crucial identificar la fuente de exposición y adoptar las medidas necesarias para mitigar y prevenirla (Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2021; Centers for Disease Control and Prevention: CDC, 2024).

La pintura con plomo representa una de las principales fuentes de exposición a nivel mundial. Para abordar esta problemática, la OMS, junto con el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), lidera la Alianza Mundial para Eliminar el Uso del Plomo en la Pintura. El objetivo de esta iniciativa es que todos los países implementen legislación obligatoria respecto al uso de pinturas que contengan plomo. Sin embargo, en enero de 2024, solo el 48% de los países había establecido controles legislativos sobre estos productos. Adicionalmente, la OMS se encuentra desarrollando directrices enfocadas en la prevención de la exposición al plomo. Estas orientaciones proporcionarán a las entidades normativas, autoridades de salud pública y profesionales de la salud, información basada en evidencia sobre las acciones que pueden llevar a cabo para proteger la salud de niños y



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

adultos contra los riesgos asociados al plomo (Organización Mundial de la Salud: OMS, 2024).

La CDC sugiere que se realicen pruebas de detección específicas en niños que presenten factores de riesgo sociodemográficos, así como en aquellos que residen en viviendas construidas antes de 1978. Es fundamental que los profesionales de la salud pública y los clínicos trabajen juntos para crear planes de detección que se adapten a las necesidades y condiciones locales, basándose en datos pertinentes. En ausencia de estos planes específicos, lo recomendable es llevar a cabo pruebas de detección de plomo en sangre de manera universal. Se ha observado que los niveles más altos de plomo en sangre son más comunes en niños de minorías raciales y étnicas, así como en aquellos que provienen de familias con bajos ingresos y que viven en viviendas antiguas. Adicionalmente, los niños de minorías suelen estar más expuestos a entornos desfavorables que incrementan el riesgo de contaminación. Entre estas situaciones se incluyen viviendas en mal estado y la exposición a contaminantes ambientales, como el plomo presente en el aire, el suelo y el agua (Centers for Disease Control and Prevention: CDC, 2024).

Efectos del plomo en embarazo y en niños

Durante el embarazo, el plomo se moviliza de las reservas óseas maternas a un ritmo acelerado y se transfiere al feto, lo que hace que el feto quede expuesto al plomo endógeno acumulado en el cuerpo de la madre antes del embarazo y al plomo exógeno en el medio ambiente. La barrera hematoencefálica es inmadura, por lo que el sistema nervioso central del feto es más vulnerable a la exposición al plomo (Guo et al., 2022).

Los fetos y los niños pequeños son especialmente vulnerables a los efectos neurológicos del plomo, ya que el sistema nervioso en desarrollo absorbe una mayor proporción de plomo. La proporción de plomo que circula en el sistema y que llega al cerebro de los niños es significativamente mayor en comparación con los adultos. Incluso con una baja exposición al plomo, los niños pueden padecer síntomas como inatención, hiperactividad e irritabilidad (Donzelli et al., 2019).

Fuerte evidencia ha vinculado la exposición a plomo en el desarrollo y la desregulación de los receptos NMDA. La hipofunción de estos receptores durante el neurodesarrollo en el útero influye en la plasticidad sináptica, proliferación y migración celular durante el periodo prenatal. Se han detectado niveles más altos de ácido deltaaminolevulínico (como marcador de plomo) en madres cuyos hijos desarrollaron posteriormente cuadros psicóticos (Modabbernia et al., 2016).



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

En las últimas cinco décadas se ha reducido el umbral de niveles de plomo considerado como tolerable en niños. A inicios de 1960 el umbral tóxico se estableció en 60 $\mu\text{g}/\text{dL}$, en 1970 se redujo a 40 $\mu\text{g}/\text{dL}$, en 1975 a 30 $\mu\text{g}/\text{dL}$, en 1985 a 25 $\mu\text{g}/\text{dL}$, en 1991 a 10 $\mu\text{g}/\text{dL}$ y finalmente a 3.5 $\mu\text{g}/\text{dL}$ en el 2021. El efecto más perjudicial del plomo en los niños es la neurotoxicidad, por lo que realmente no existe un nivel “seguro” en sangre (Vorvolakos et al., 2016).

Existe evidencia que sugiere que la exposición al plomo aún en niveles bajos afecta significativamente el coeficiente intelectual, el comportamiento, la capacidad de concentración y la atención del niño (Flora et al., 2012).

Métodos analíticos para determinar concentraciones de plomo

Espectrofotometría de absorción atómica

La espectroscopia atómica incluye una serie de técnicas analíticas utilizadas para determinar la composición elemental de una muestra (puede ser gaseosa, líquida o sólida) observando su espectro electromagnético o su espectro de masas. Se pueden detectar concentraciones de elementos de una millonésima parte (ppm) o una billonésima parte (ppb) de la muestra. Existen distintas variaciones de espectroscopia de absorción atómica: emisión, absorción, fluorescencia y espectroscopia de masas (Şahin et al., 2020).

Los metales trazados en muestras de agua contaminada suelen ser determinados mediante una técnica de múltiples elementos, como la espectroscopia de emisión atómica de plasma acoplado inductivamente ICP. También se utilizan técnicas de un solo elemento, como la espectrometría de absorción atómica AA (Ferreira et al., 2018).

La Espectroscopia de absorción atómica con detector de llama (AA de flama) ofrece un medio sensible para la determinación de entre 60 y 70 elementos. Debido a que se requiere de una lámpara de cátodo hueco para cada elemento, solo se puede determinar un elemento a la vez, lo cual es su mayor desventaja (Skoog et al., 2013).

Se ha desarrollado y aplicado en el campo de la espectrofotometría de absorción atómica (AA) con llama para la determinación de metales pesados a niveles de mg/L mediante el uso de un tubo capilar como sistema de introducción de muestra y un tubo metálico como sistema de atomización. Una de las variantes y aplicaciones de la AA con llama ha sido la digestión en línea, transporte e introducción de muestras biológicas para la determinación de Cd, Cu y Pb a niveles de $\mu\text{g}/\text{L}$ (Illera et al., 2004).

Otra técnica importante es la espectroscopia de absorción atómica con horno de grafito, también conocida como espectroscopia de absorción atómica electrotérmica (ETAAS), es



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

un tipo de espectrometría con un horno revestido de grafito para evaporar la muestra. Esta es una de las técnicas que se han encontrado relevantes en la aplicación de la química analítica para la determinación de trazas de metales pesados. El horno de grafito presenta un límite de detección de Pb (Martínez Guijarro, 2020).

Tratamiento

La clave del tratamiento ante una intoxicación por plomo radica en identificar y eliminar la fuente de plomo en el entorno del paciente. Es crucial evitar que la persona afectada vuelva a estar en contacto con esta sustancia. En ocasiones, al identificar la fuente de contaminación, sucede que esta no se puede evitar. Los tratamientos aplicables son los siguientes:

- **Evacuante-neutralizante:** Este enfoque está justificado únicamente en casos de intoxicación aguda y consiste en la administración de vomitivos o la realización de un lavado gástrico para eliminar el tóxico.
- **Tratamiento antidoto:** El antidoto más adecuado es el EDTA cálcico disódico, un quelato cálcico de la sal disódica del ácido etilen-diamino-tetraacético. Esta sustancia intercambia el ión calcio por el ión plomo, formando un quelato interno, hidrosoluble y no iónico, que ayuda a remover el metal de sus depósitos y facilita su eliminación a través de la orina. Sin duda, es el agente terapéutico de elección tanto para intoxicaciones agudas como crónicas por plomo. Otros quelantes que se pueden utilizar son la d-penicilamina y el dimercaprol.
- **Tratamiento sintomático:** En casos de intoxicación aguda, es fundamental mantener el funcionamiento del sistema cardiocirculatorio, supervisar la función renal y promover la diuresis mediante la administración de líquidos. Para las intoxicaciones crónicas, las medidas sintomáticas son diversas e incluyen: vitaminoterapia (B12, B1 y ácido nicotínico), regulación del tránsito intestinal, ejercicio físico y masajes, así como la prevención de la insuficiencia hepática y el alivio de cólicos. En caso de encefalopatía, se pueden usar neurolépticos y tranquilizantes; si se presentan convulsiones, se deben aplicar fármacos anticomiciales.
- **Tratamiento profiláctico:** Para los trabajadores expuestos al riesgo del plomo, son esenciales las medidas de higiene en los lugares de trabajo, asegurando una limpieza meticulosa de las manos antes de las comidas y una alimentación equilibrada, rica en ácidos y baja en grasas (Agra Romero, 2001).



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

TRASTORNOS PSIQUIÁTRICOS

Desde los inicios de la psiquiatría, el ambiente ha sido un factor clave en el estudio y la comprensión de las enfermedades mentales. Se puede observar una evolución en esta perspectiva, que ha pasado de una visión ambientalista genérica a una más contemporánea, donde se reconoce el impacto del ambiente y otros factores físicos y químicos sobre las patologías afectivas y las enfermedades cerebrales. Además, un campo de investigación todavía poco explorado, que analiza la relación entre la contaminación y la salud mental, está ganando relevancia, a medida que se acumulan evidencias de que los contaminantes ambientales afectan negativamente a todos los órganos de nuestro cuerpo, incluido el cerebro (Ordóñez-Iriarte, 2020).

Una considerable cantidad de contaminantes puede infiltrarse en el agua potable, el suelo y el aire. Entre estos se encuentran patógenos, pesticidas, fertilizantes y metales pesados como el arsénico, el mercurio y el plomo. Estos pueden provocar efectos agudos o crónicos. Investigaciones recientes están poniendo de manifiesto el impacto del plomo en la salud mental. La exposición a este metal en la infancia se ha identificado como un factor de riesgo significativo para el desarrollo de trastornos psiquiátricos, entre los que se incluyen la ansiedad, la depresión y los trastornos obsesivo-compulsivos, así como trastornos del neurodesarrollo, como el autismo y el síndrome de Tourette. (A Poma, 2013)

El avance en la investigación acerca de los vínculos entre los contaminantes y la salud mental es un proceso que se desarrolla de manera lenta y laboriosa. Dado que este campo es relativamente nuevo, acceder a los datos relevantes representa un desafío adicional. Los científicos se han visto en la necesidad de recurrir a la información sobre salud mental de estudios previos o de sistemas de información sanitaria, y luego cruzar esa información con los datos de contaminación para identificar posibles relaciones.

Trastorno por Déficit de Atención e Hiperactividad

El Trastorno por Déficit de Atención e Hiperactividad, (TDAH,) conceptualizado así desde 1980 en el Manual Estadístico de la Asociación Psiquiátrica Americana III-R (DSM-R-III,) es uno de los trastornos que, según las estadísticas, presenta la mayor prevalencia, aproximadamente el 5% para menores de 18 años. Es un trastorno del neurodesarrollo que afecta entre el 2 y 7% de niños a nivel global. El Manual Diagnóstico y Estadístico de Trastornos Mentales, en su 5a edición (DSM-5 por sus siglas en inglés) especifica que para hacer diagnóstico de TDAH deben estar presentes síntomas de hiperactividad y/o inatención, así como impulsividad, acompañadas de mal funcionamiento social. Pueden asociarse otros síntomas tales como olvidos, dificultad para concentrarse, cambios de ánimo erráticos, cambios de comportamiento y otras alteraciones cognitivas. Se han identificado alteraciones en las funciones ejecutivas y en el control inhibitorio, asociadas anatómicamente con el



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

circuito tálamo-córtico-estriatal. La actividad en estos es mediada por el GABA y modulada por dopamina y norepinefrina, y en lo que respecta a las dificultades de la atención, se ha evidenciado un retraso en la maduración de la corteza lateral prefrontal (Moriyama et al., 2017).

Los niveles de plomo en sangre por encima de 10 $\mu\text{g/dL}$ se han asociado fuertemente con el TDAH. La exposición al plomo es un candidato neurobiológico plausible para la participación del TDAH porque altera los circuitos de dopamina y otros sistemas neurotransmisores implicados en el TDAH. Se ha observado que niños con niveles más altos de plomo en sangre presentan más comportamientos del tipo TDAH, específicamente el componente de inatención (da Silva et al., 2023).

Una variedad de estudios ha demostrado la asociación entre la exposición a plomo y el riesgo de padecer TDAH. Se reportó un estudio en China donde se concluye que los niños con niveles de plomo elevados ($\geq 10 \mu\text{g/dL}$) tenían un riesgo 2.4 veces mayor de TDAH que los niños con niveles bajos (Zhang et al., 2015).

En Estados Unidos se realizó un estudio con niños diagnosticados con TDAH analizando niveles de plomo en sangre, identificándose que a mayores niveles de plomo mayor riesgo de TDAH (Kim et al., 2013). Así mismo, en el 2015 se analizaron niveles de plomo en dientes de niños de 11 a 13 años donde se concluyó que los niveles de plomo estaban significativamente asociados a mayor riesgo de hiperactividad, impulsividad e inatención (Chan et al., 2015). Un estudio realizado en Boston en el 2018, reportó que los niños con niveles de plomo de 5–10 $\mu\text{g/dL}$ tenían un 66 % más de probabilidades de tener un diagnóstico de TDAH en comparación con los niños con niveles menores a 5 $\mu\text{g/dL}$. En México se analizaron muestras de sangre y orina para detectar niveles de plomo en niños con TDAH, encontrando que en el 49% de los participantes se encontraron niveles de plomo superiores a 10 $\mu\text{g/dL}$, lo que demostró una relación significativa entre los niveles de plomo y la expresión clínica del trastorno por déficit de atención e hiperactividad. Los niveles de exposición al plomo durante la infancia temprana han demostrado ser inversamente proporcionales al desarrollo neurológico en los primeros siete años de vida (SánchezVillegas et al., 2014).

En una población de niños mexicanos, se midieron niveles de plomo en sangre y se realizó una escala de síntomas de TDAH, los resultados demostraron que un nivel de plomo en sangre $\leq 5 \mu\text{g/dL}$ se asoció positivamente con conductas hiperactivas/impulsivas, pero no con falta de atención. Estos resultados se suman a la evidencia existente de deficiencias en el neurodesarrollo asociadas con el plomo aún a niveles bajos de exposición (Huang et al., 2016).



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Otros estudios reportaron que también niveles muy bajos de plomo se asociaban a TDAH y de manera más confiable a la hiperactividad que a la inatención (Vorvolakos et al., 2016).

Psicosis de inicio temprano

La esquizofrenia es extremadamente rara antes de los 10 años, aunque no imposible que se presente, y su incidencia empieza a aumentar en la adolescencia alcanzado su pico más alto en el adulto joven, con un cúmulo de evidencia de que los síntomas, el curso clínico y la neurobiología, son un continuo entre el inicio temprano de ésta y la vida adulta. Una tercera parte de los pacientes con esquizofrenia inicia el padecimiento antes de los 18 años y un 6% antes de los 16 años. Se presenta mayor número de casos entre el sexo masculino, con una relación 2:1 (Ulloa Flores, Rosa Elena, 2011).

Antes de los 13 años presenta una prevalencia menor de 1 en 10,000 y aumenta la prevalencia a 1 en 500 a los 18 años. Niños que inician con síntomas psicóticos y desarrollan posteriormente esquizofrenia, presentan problemas sociales, emocionales y del comportamiento desde la infancia, sin embargo, llama la atención que en niños no psicóticos las alucinaciones auditivas pueden presentarse en aquellos que asisten a servicios de psiquiatría infantil (Rutter et al., 2006; Starling & Feijo, 2017).

En tanto que muchos de los que presentan la sintomatología psicótica se recuperan, un subgrupo de estos desarrolla un cuadro psicótico teniendo así que 1/3 de los adultos con trastornos psicóticos reportan que su enfermedad inició antes de los 20 años. En este sentido, debemos entender que la expresión “brote psicótico” no significa el desencadenamiento de una psicosis sino la revelación de una psicosis latente. Las alucinaciones persisten en aquellos niños que presentan ansiedad, depresión o trastornos disociativos asociados, en tanto que en la adolescencia su inicio se presenta con síntomas inespecíficos que incluyen ánimo bajo y deterioro cognitivo funcional. El paso a la psicosis en este grupo es fácil cuando han presentado pobre funcionamiento asociado a síntomas psicóticos, depresión y síntomas prodrómicos de larga duración (Starling & Feijo, 2017).

La evidencia sugiere fuertemente que la psicosis es un trastorno del neurodesarrollo que comienza en el útero, pero permanece latente hasta la adolescencia tardía o la adultez temprana. Según el modelo del neurodesarrollo, la psicosis es la manifestación conductual del desarrollo anormal del cerebro y ocurre como resultado de una combinación de factores genéticos y ambientales (Modabbernia et al., 2016).

En el neurodesarrollo de los niños los metales pueden actuar como nutrientes esenciales o como neurotóxicos. El plomo interfiere con la transcripción de genes intraneuronales, provoca defectos en la neurogénesis del hipocampo y de la glía del cerebro en desarrollo.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Se ha demostrado que el plomo causa alteraciones en los neurotransmisores de manera similar a la que ocurre en pacientes con esquizofrenia (Modabbernia et al., 2016; Rutter et al., 2006) La conexión más prometedora que se ha encontrado entre la psicosis y la exposición a plomo en el desarrollo es que en ambas se encuentra una hipoactividad de receptores NMDA. La hipofunción de estos receptores durante los períodos críticos del neurodesarrollo puede provocar alteraciones en los procesos neurobiológicos del crecimiento y sinapsis del cerebro, resultados cognitivos y conductuales asociados a trastornos con características tempranas de la esquizofrenia (Guilarte et al., 2012).

Algunos estudios recientes han hecho una recolección de datos de estudios más antiguos donde se recopilan evidencias de asociación entre intoxicación por plomo y trastornos psiquiátricos. En el año 2002, un estudio nigeriano midió trazas de metales tóxicos en pacientes con enfermedades mentales, se encontró que los niveles de plomo estaban aumentados en pacientes con depresión y esquizofrenia. En 2003, un estudio analizó niveles de plomo en sangre y hueso, y se llegó a la conclusión de que la exposición acumulada al plomo, que se reflejan en los niveles de plomo en los huesos, podría ser un factor de riesgo para los síntomas psiquiátricos. En el 2008, un estudio que midió niveles de ácido deltaminolevulínico prenatal, encontró que el Odds Ratio estimado para psicosis y exposición de plomo en sangre es de 1.92, lo cual se traduce en que existe asociación entre una exposición temprana y el desarrollo de trastornos psiquiátricos. En el 2010 se estudiaron los niveles de plomo en 35 pacientes iraníes con esquizofrenia, se encontró que estos se encontraban incrementados significativamente en comparación con el grupo control (Attademo et al., 2017; Karcher et al., 2021; Oliver & O’Gorman, 1966).

En el 2020, se analizaron datos de factores de riesgo ambientales para la aparición de síntomas psicóticos en niños de 9 a 11 años, la exposición a plomo, entre otros, fueron los factores significativamente asociados a cuadros psicóticos (Karcher et al., 2021).

4. Planteamiento del problema

Existe un creciente interés con relación a la intoxicación por plomo y las consecuencias que se han identificado en el comportamiento de niños y adolescentes. El plomo es un metal pesado, ubicuo, que se acumula en el organismo. Esto puede provocar daños en diversos órganos como pulmones, riñón y cerebro. En los niños puede provocar alteraciones en el neurodesarrollo. En el año 2019 el Instituto de Sanimetría y Evaluación Sanitaria (Agency for Toxic Substances and Disease Registry; 2007) calculó que la exposición a este metal causó 900,000 muertes y la pérdida de 21,7 millones de años de vida sana a nivel mundial. Asociado a esto, estimó que la exposición al plomo provocó el 62,5% de la carga mundial de la insuficiencia del desarrollo intelectual sin causa evidente. De



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

acuerdo a datos dados por la Organización Mundial de la Salud en el 2015, el 99% de las personas que sufren intoxicación por plomo viven en países de ingresos bajos y medianos (OMS, 2015)

En Guatemala, intoxicarse por este metal es fácil dadas las condiciones en las que vive nuestra población: altos niveles de pobreza, escaso acceso a servicios básicos, falta de legislación con relación al uso de plomo, y sin embargo hasta la fecha, no se han realizado en este país, estudios en poblaciones con este tipo de intoxicación y su relación con los trastornos mentales, en ningún grupo de población. Ante estas consideraciones, creemos importante realizar un estudio analítico, de casos y controles, en donde se estudie la asociación entre intoxicación por plomo y trastornos psiquiátricos en el niño y adolescente. En este sentido, la implementación de modelos metodológicos interdisciplinarios deben ser una respuesta a la necesidad de comprender de manera integral los fenómenos de salud enfermedad en los distintos grupos poblacionales. Esto será posible en tanto converjan la disciplina de la bioquímica, la inmunología, microbiología, la ecología y los estudios del comportamiento humano, de tal manera que los pacientes psiquiátricos no sean limitados únicamente al diagnóstico descriptivo.

Otra consideración a tener en cuenta es que la enfermedad psíquica en la infancia posee una relevancia especial y una trascendencia que supera a la mayoría de enfermedades que el ser humano puede padecer a lo largo de su vida, dado que implica en la mayoría de casos *hipotecar* el futuro personal del individuo, a veces de manera definitiva, hecho que puede hacer sufrir, incluso, más que la misma muerte. Esperamos así, que esta propuesta sirva de base para futuras investigaciones y toma de decisiones con relación a prevención y atención de la intoxicación por plomo y su impacto en la salud mental de la población infantojuvenil.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

5. Objetivos (generales y específicos aprobados en la propuesta).

General:

- Identificar si existe o no relación entre los niveles de plomo y psicosis y Trastorno por Déficit de Atención e Hiperactividad, en niños y adolescentes de 6 a 18 años que asisten a la clínica de psiquiatría infanto-juvenil del Departamento de Pediatría del Hospital General San Juan de Dios.

Específicos

1. Determinar la frecuencia de psicosis y trastorno por déficit de atención e hiperactividad en pacientes de 6 a 18 años que asisten a la clínica de Psiquiatría Infanto-juvenil del Hospital General San Juan de Dios.
2. Estimar los niveles de plomo en la población sujeta al estudio por medio de espectrofotometría de absorción atómica con horno de grafito.
3. Determinar la relación entre los niveles de plomo, psicosis y trastorno por déficit de atención e hiperactividad en pacientes de 6 a 18 años.
4. Establecer la diferencia entre los niveles de plomo según el área geográfica de acuerdo a género.

6. Hipótesis (si aplica)

Ho: No existe relación entre la intoxicación por plomo y psicosis y trastorno por déficit de atención e hiperactividad en niños y adolescentes que asisten a la clínica de psiquiatría infanto-juvenil en el Hospital General San Juan de Dios.

H1. Existe relación entre intoxicación por plomo y psicosis y trastorno por déficit de atención e hiperactividad y adolescentes que asisten a la clínica de psiquiatría infanto-juvenil en el Hospital General San Juan de Dios.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

7. Método

7.1. Tipo de investigación.

Estudio de tipo básico, con un enfoque cuantitativo, diseño transversal; en el que se analizó la relación entre los niveles altos de plomo y psicosis e hiperactividad en pacientes de 6-18 años atendidos en el Hospital General San Juan de Dios -HGSJDD- entre septiembre y octubre del 2024, tomando en cuenta las siguientes variables de estudio:

Características generales (edad, género, escolaridad, escolaridad de los padres, ocupación de los padres, condiciones de vivienda)

1. Frecuencia del número de casos de trastorno de psicosis y Déficit de Atención e Hiperactividad.
2. Niveles de plomo en sangre

7.2. Enfoque y alcance de la investigación.

El enfoque de la investigación es cuantitativo y su alcance es descriptivo.

7.3. Diseño de la investigación.

El diseño de la investigación es cuantitativo no experimental, de tipo transversal.

7.4. Población, muestra y muestreo.

Pacientes entre 6-18 años que asistieron a la consulta de la Unidad de Psiquiatría Infanto-juvenil del Hospital General San Juan de Dios, Guatemala.
Según el reporte de casos atendidos en la institución.

POBLACIÓN TOTAL	
Consulta externa de Pediatría	Consulta de psiquiatría Infanto-juvenil
79822	4560



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Trastornos psiquiátricos	
Psicosis	Trastorno de Déficit de Atención e Hiperactividad
909	246

Cálculo de muestra

El cálculo para estimar el tamaño de muestra de la diferencia de dos proporciones, se realiza con base a la siguiente fórmula:

$$n_c = n_e = \frac{p_1(1-p_1) + p_2(1-p_2)}{(p_1 - p_2)^2} * (Z_{\alpha/2} + Z_{\beta})^2$$

p1 es la proporción del primer grupo y p2 es la proporción del segundo grupo a comparar y (p1 - p2) es la diferencia de las proporciones entre ambos grupos, $\tilde{Z}/2$ es el valor del eje de las abscisas de la función normal estándar en donde se acumula la probabilidad de (1- $\tilde{\alpha}$) para un contraste de hipótesis bilateral y Z es el valor del eje de las abscisas de la función normal estándar, en donde se acumula la probabilidad de (1- β).

Donde: p1: 0.20

p2: 0.05

Confianza del 95% Valor Z: 1.96% α : 0.05 β : 0.05

Potencia 80% (0.84)

Muestra para cada grupo

Resultando en 64 sujetos de estudio, tanto de la clínica de Consulta Externa Pediátrica y clínica Infanto-juvenil de Psiquiatría del Hospital General San Juan de Dios.

Criterios de Inclusión:

- Niños/niñas y adolescentes de 6 a 18 años
- Que asisten a la clínica con diagnóstico de psicosis y TDAH
- Que asisten a la clínica de reconsulta pediátrica sin morbilidad psiquiátrica.

Criterios de Exclusión

- Niños y/o adolescentes a quienes no se les pueda completar la historia psiquiátrica por ausencia de uno o ambos padres o familiares cercanos



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

- Niños y/o adolescentes en conflicto con la ley · Niños y/o adolescentes con cuadro psicótico agudo.
- Niños y/o adolescentes con trastorno del espectro autista.
- Niños y/o adolescentes con trastorno psiquiátrico secundario a causa orgánica no infecciosa.
- Niños y/o adolescentes con diagnóstico de Síndrome de Down.
- Niños y/o adolescentes con Trastornos de Aprendizaje.
- Pacientes que no hablen español.

7.5. Técnicas

Para realizar este estudio se utilizó el instrumento K-SADS-PL en versión electrónica, el consentimiento informado del padre o tutor y el asentimiento informado (Ulloa R; Ortiz S; Higuera F. et al. 2006) en menores de edad y el programa estadístico SPSS 20.0

Las diferentes versiones de K-SADS incluyen K-SADS-P, que registra el estado psiquiátrico en el último año, el K-SADS-E, versión epidemiológica, y el K-SADS-PL que investiga sintomatología tanto presente como pasada

Este instrumento, incluye tres componentes: 1) entrevista introductoria. 2) Entrevista de “screening” que investiga 82 síntomas relacionados con 20 áreas de diagnóstico y 3) cinco diagnósticos suplementarios: trastornos afectivos, trastorno psicótico, trastorno de ansiedad, trastorno de conducta y abuso de sustancias.

La primera entrevista se realizó sólo con los padres para obtener información correspondiente a ellos y la segunda, sólo con el niño, aplicada siempre por el mismo entrevistador.

Al tener identificados a los niños y adolescentes que cumplieron con los criterios para ser incluidos en el estudio se les invitó, en presencia del padre o tutor, a participar voluntariamente, de manera anónima, sin recibir compensación económica alguna, a participar en el estudio. Con lenguaje sencillo y sin tecnicismos, se les explicó el propósito y los fines del estudio. Se les indicó que participar en el estudio no implica riesgo físico ni



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

emocional para ellos y/o su familia. Así también se les explicó que la extracción de sangre es un proceso no invasivo, el cual se hará con las medidas de bioseguridad adecuadas.

Previo a la extracción de sangre y la aplicación del instrumento, se pidió al padre o tutor del menor que leyera el consentimiento informado, que lo firmara si aceptaba que su hijo (a) participara en el estudio. Se entregó un asentimiento informado a los menores que participaron. En los casos en los que el padre o tutor era analfabeta, en presencia de un testigo imparcial, se leyó el consentimiento, y si estuvo de acuerdo, puso su huella digital. El testigo firmó y anotó la fecha para dar validez a la autorización. Se entregó una copia del consentimiento al tutor, una copia al menor y una copia quedó en el archivo de los investigadores. Se indicó que el padre o tutor podría retirar del estudio al menor en cualquier momento, si lo considerara pertinente.

Posteriormente, se completó la ficha de recolección de muestra, que incluyó los datos del paciente, el código alfanumérico asignado al sujeto de estudio correspondiente a:

- CP-correlativo del estudio (tres dígitos)-número de expediente (Clínica de psiquiatría)
- CE-correlativo del estudio (tres dígitos)-número de expediente

(Consulta externa)

Fecha de toma de la muestra de sangre.

Posteriormente, por venopunción, se extrajeron de cada paciente 6ml de sangre y se pusieron en tubos de plástico con dos gotas de heparina o EDTA sódico como anticoagulante. Después de realizar la extracción se llevó al laboratorio del Departamento de Toxicología de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. El tiempo entre la extracción de la muestra y el transporte al laboratorio no excedió las 6 horas. La muestra se mantuvo en un intervalo de temperatura de 4 a 5°C, hasta llegar al laboratorio donde se refrigeraron a temperatura entre 4 y 8 °C. El análisis de la muestra no fue mayor a tres semanas a partir del día de la toma de la muestra. Estos análisis se desarrollaron con un equipo Perkin Elmer Analyst de espectrofotometría de absorción atómica con horno de grafito. (4)



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Los resultados se obtuvieron en microgramos (μg) de plomo (Pb) por decilitro (dL) de sangre. Se consideraron niveles bajos para exposición a plomo aquellos $<3.3 \mu\text{g/dL}$, elevados $>65 \mu\text{g/dL}$.

Una vez finalizada esta etapa de colecta de muestra, se aplicó el instrumento K-SADS-PL, traducido al español, en versión electrónica, al padre, madre o tutor y al niño o adolescente, según el caso.

El resultado del análisis de plomo en sangre, se adjuntó al expediente del paciente y se verificó si los niveles de plomo eran mayores a $3.5 \mu\text{g/dL}$. Se aplicó el protocolo de seguimiento que CDC recomienda de acuerdo a los niveles encontrados.

Las instituciones que colaboraron con esta investigación fueron:

- Departamento de Toxicología, Escuela de Química Farmacéutica, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Clínica de Psiquiatría Infanto-juvenil, Departamento de Pediatría, Hospital General San Juan de Dios.

7.6. Resumen de las variables o unidades de análisis

Anote en la tabla los objetivos específicos, describa los instrumentos que utilizó y como midió o cualificó las variables o unidades de análisis.

Tabla 1. Objetivos, variables, instrumentos y unidad de medida o cualificación utilizada en la investigación.

Objetivo específico	Variable	Instrumentos	Unidad de medida o cualificación
1. Determinar la frecuencia de psicosis e hiperactividad de pacientes de 6 a 18 años que asisten a la	Trastorno de psicosis Trastorno de déficit de atención e	Por medio de un análisis estadístico univariado descriptivo, representado por	Establecer el número de trastornos de psicosis y TDAH en los pacientes que asisten a la



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

<p>clínica de Psiquiatría Infantojuvenil del Hospital General San Juan de Dios.</p>	<p>hiperactividad - TDAH-</p>	<p>medio de frecuencia y porcentaje</p> <p>Ficha de recolección de datos generales (registro, fecha, resultado de plomo)</p>	<p>Consulta externa de Pediatría y a la clínica de Psiquiatría Infantojuvenil del Hospital General San Juan de Dios.</p> <p>Mejorar la identificación de casos para una mejor atención</p>
<p>2. Estimar los niveles de plomo en la población sujeta al estudio por medio de espectrofotometría de absorción atómica con horno de grafito.</p>	<p>Nivel de plomo (Pb) en sangre</p>	<p>Por medio de un análisis estadístico univariado para la variable cuantitativa por medio de medida de tendencia central (media) y de dispersión (DE), para su posterior categorización según el nivel de plomo en sangre:</p> <p>Valor recomendado por CDC para niños,</p>	<p>Cuantificar los niveles de plomo en sangre en los pacientes que asisten a la Consulta externa de Pediatría y a la clínica de Psiquiatría Infantojuvenil del Hospital General San Juan de Dios.</p>



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

		<3.5 mcg/dl	Verificar si los niveles sobrepasan el valor recomendado por CDC para seguimiento de intervención.
--	--	-------------	--



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

<p>3. Determinar la relación entre los niveles de plomo y la psicosis e hiperactividad en pacientes 6- 18 años</p>	<p>Nivel de Pb y trastorno de psicosis y TDAH</p>	<p>Por medio de un análisis estadístico bi variado, por medio de medida de asociación Chi2 entre los niveles superiores a <3.5 mcg/dl y el trastorno de psicosis e hiperactividad</p>	<p>Determinar la relación de los niveles de plomo en sangre en los pacientes que asisten a la Consulta externa de Pediatría y a la clínica de Psiquiatría Infantojuvenil del Hospital General San Juan de Dios.</p> <p>A quienes se les detecte niveles de plomo mayores de 3.5 mcg/dl se hará interconsulta a la clínica de hematología para la evaluación,</p>
--	---	--	--



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

			<p>seguimiento y control.</p> <p>A los pacientes de consulta externa que se les haga el diagnóstico psiquiátrico (psicosis y/o TDAH) se les dará seguimiento en la clínica de Psiquiatría Infantojuvenil del Hospital General San Juan de Dios.</p>
<p>4. Caracterizar a los pacientes de 6 a 18 años, según la edad, género, área geográfica, escolaridad, y de los padres (escolaridad, ocupación) y condiciones de vivienda.</p>	<p>Edad, género, área geográfica, escolaridad del paciente, escolaridad de los padres, ocupación de los padres y condiciones de vivienda.</p>	<p>Por medio de un análisis estadístico univariado descriptivo, representado</p>	<p>Describir las características generales de los sujetos de estudio.</p>



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

7.7. Procesamiento y análisis de la información.

Según la distribución de la variable plomo, se valoró su estratificación/categorización en rangos de 5 o 10 dependiendo, siendo el punto de corte de 3.5 µg/dL (CDC) para su análisis e interpretación. Para variables cualitativas se determinaron frecuencias y porcentajes.

Se realizó prueba de normalidad, de Shapiro-Wilk ya que la muestra fue <50 para cada grupo (con o sin diagnóstico psiquiátrico), y de acuerdo a ello, el valor de plomo para el grupo con diagnóstico psiquiátrico no siguió una distribución normal, mientras que el grupo sin diagnóstico sí. Se hizo prueba de homocedasticidad con Levene de igualdad de varianzas. Se utilizó prueba de Mann-Whitney.

Utilizamos tablas de contingencia para analizar la relación de dependencia – o independencia- entre dos variables cualitativas para estudiar su distribución, con un nivel de confianza estadístico de 95%.

El tratamiento estadístico se realizó utilizando el paquete informático SPSS/PC20.0 para Windows en español.

Debido a que una de las variables no seguía distribución normal, se realizó la prueba de Mann-Whitney y también indicó que no hay significancia estadística con un valor de Significancia asintótica bilateral (análogo a valor p) de 0.669.

8. Aspectos éticos y legales

El trabajo fue revisado por el Comité de ética de la Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC)



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

9. Resultados y discusión

Sexo

El sexo con mayor frecuencia en nuestra población de estudio fue el masculino, como se puede ver en la tabla, con una frecuencia del 65.6%

Tabla No. 1 Sexo de la población

	n	%
MASCULINO	40	65.6
FEMENINO	21	34.4
Total	61	100.0

Diagnóstico psiquiátrico

32 (52.5%) de los niños y adolescentes evaluados no presentaron diagnóstico psiquiátrico, el 29.5% tuvieron diagnóstico de psicosis en tanto que el 18% presentaron diagnóstico de TDAH.

Tabla no. 2 Diagnóstico psiquiátrico

	n	%
SIN TRASTORNO PSIQUIÁTRICO	32	52.5
PSICOSIS	18	29.5
TDAH	11	18.0
Total	61	100.0



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Características generales de los niños entre 6 y 18 años

La edad promedio de los pacientes estudiados fue de 7 años. En la consulta predominan los niños varones con un porcentaje del 67% frente a un 33% de niñas, siendo la mayoría son ladinos/mestizos (92%), seguidos por cakchiquel (5%) y quiché (3%).

Con relación a la escolaridad, el 59% de los niños cursan primaria, lo que coincide con la mayor frecuencia de edad de los evaluados (7 años), el 15 % cursa preprimaria. Estudiantes de básicos alcanza únicamente el 2%, mientras que el 7% fueron estudiantes de diversificado.

Un pequeño porcentaje no tiene escolaridad formal (3%).

Tabla no. 3 Características generales de los niños y adolescentes

Característica	media	DE
Edad	7	0.70
Sexo	frecuencia	%
Masculino	41	67
Femenino	20	33
Escolaridad		
Preprimaria	9	15
Primaria	36	59
Básicos	10	2
Diversificado	4	7
Sin escolaridad	2	3

Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Municipio de procedencia

La mayoría de los niños y adolescentes que participaron en el estudio provienen del departamento de Guatemala, constituyendo el 89% de los participantes. Esto puede explicarse por el área en donde se ubica el Hospital General San Juan de Dios.

Tabla no. 4 Municipio de procedencia

	n	%
GUATEMALA	40	65.6
MIXCO	4	6.6
PALENCIA	3	4.9
VILLA NUEVA	2	3.3
COBÁN	2	3.3
JUTIAPA	2	3.3
SAN ANTONIO LA PAZ	2	3.3
SAN JOSÉ DEL GOLFO	2	3.3
ANTIGUA GUATEMALA	1	1.6
SANTA CATARINA PINULA	1	1.6
VILLA CANALES	1	1.6
CHINAUTLA	1	1.6
Total	61	100.0



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Etnia

De los evaluados, el 91.8% fueron ladino/mestizo, el 4.9% pertenecían a la étnica Kaqchiquel y el 3.3 %, quichés.

Tabla no. 5 Etnia

	n	%
LADINO/MESTIZO	56	91.8
KAQCHIQUEL	3	4.9
QUICHÉ	2	3.3
Total	61	100.0



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Niveles de plomo

Con relación a los niveles de plomo encontrados en los niños y adolescentes evaluados, el 60.7% tenía niveles de 0.1 a 1.0 $\mu\text{g/dL}$, el 26.2% presentó niveles de 1.1 A 2.0 $\mu\text{g/dL}$, y el 3.3 % tenía niveles de plomo en sangre de 2.1 A $<3.0 \mu\text{g/dL}$. Sólo en el 9.8% (6) de los estudiados no presentó niveles de plomo detectables. Es decir que el 90% tenían niveles de plomo en sangre.

Tabla no. 6 Niveles de plomo

	n	%
DE 0.1 A 1.0 $\mu\text{g/dL}$	37	60.7
DE 1.1 A 2.0 $\mu\text{g/dL}$	16	26.2
NO DETECTABLE	6	9.8
DE 2.1 A $<3.0 \mu\text{g/dL}$	2	3.3



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Relación de niveles de plomo, sexo y diagnóstico

Con relación a la clasificación de nivel de plomo en sangre, sexo y diagnóstico, vemos que el 29.50 % de los pacientes de sexo masculino sin diagnóstico psiquiátrico, tienen niveles detectables de plomo, en comparación con el sexo femenino, de las cuales, 10 (16.39%) tenían niveles detectables. De los pacientes con diagnóstico psiquiátrico, el 32.78% de los hombres presentaron niveles de plomo detectables, siendo menor en el sexo femenino. De estas, al 11.47 % (7) se les encontró niveles de plomo. La distribución por sexo sugiere que hay más casos detectables en hombres, tanto en los que no presentaron un trastorno psiquiátrico como en los que sí fueron diagnosticados.

Tabla no. 7 Relación de niveles de plomo, sexo y diagnóstico

		CLASIFICACIÓN DE NIVEL DE PLOMO			
		NO DETECTABLE	%	DETECTABLE	%
SIN TRASTORNO PSIQUIÁTRICO	MASCULINO	1	1.63	18	29.50
	FEMENINO	3	4.91	10	16.39
CON TRASTORNO PSIQUIÁTRICO	MASCULINO	1	1.63	20	32.78
	FEMENINO	1	1.63	7	11.47



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Para analizar la relación entre los niveles de plomo y psicosis y el Trastorno por Déficit de Atención e Hiperactividad (TDAH) en niños y adolescentes, es importante considerar varios aspectos. La tabla 7 muestra la clasificación del nivel de plomo de acuerdo al sexo y la presencia o ausencia de trastorno psiquiátrico (psicosis y TDAH). Numerosos estudios han encontrado una relación significativa entre exposición al plomo durante la infancia temprana y el desarrollo de TDAH. Los niños expuestos a este metal pueden presentar déficit neurológico permanente tales como disminución del coeficiente intelectual, hiperactividad y problemas de conducta. Con relación a la psicosis en niños y adolescentes, hay menos evidencia que asocie la presencia de niveles de plomo en sangre y esta patología, sin embargo, existen algunos estudios que indican que el plomo puede influir de manera negativa en el desarrollo cerebral.



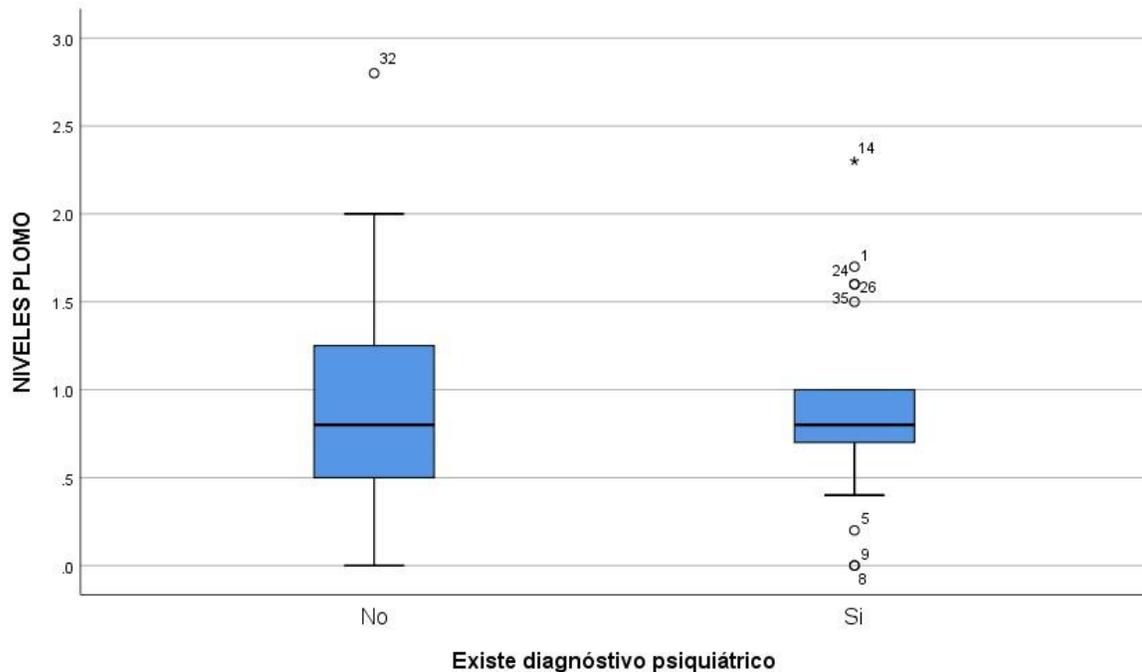
Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Tabla no. 8 estadística descriptiva de los niveles de plomo de los pacientes sin diagnóstico de psicosis y TDAH

		Existe diagnóstico psiquiátrico	Estadístico	
NIVELES PLOMO	No	Media	.928	
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	.699
			Límite superior	1.157
		Media recortada al 5%	.892	
		Mediana	.800	
		Varianza	.403	
		Desv. Desviación	.6351	
		Mínimo	.0	
		Máximo	2.8	
		Rango	2.8	
		Rango intercuartil	.8	
		Asimetría	.814	
		Curtosis	1.154	
		Si	Media	.848
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	.656
			Límite superior	1.041
		Media recortada al 5%	.825	
		Mediana	.800	
		Varianza	.256	
		Desv. Desviación	.5061	
		Mínimo	.0	
		Máximo	2.3	
		Rango	2.3	
		Rango intercuartil	.4	
		Asimetría	.892	
		Curtosis	1.459	

Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Gráfico no. 1 Distribución de niveles de plomo para grupo de pacientes con y sin diagnóstico de psicosis y TDAH



Al estimar los niveles de plomo en la población sujeta al estudio por medio de espectrofotometría de absorción atómica con horno de grafito, encontramos que el 60.7% tiene niveles de 0.1 a 1.0 $\mu\text{g}/\text{dL}$ y aunque estos se encuentren por debajo del valor que el CDC indica como valor máximo de plomo en sangre en niños, es necesario indicar que ningún valor es seguro. Las guías actuales sugieren que cualquier nivel detectable puede ser perjudicial, especialmente en poblaciones de niños y adolescentes.

Con relación al sexo de los niños y adolescentes evaluados, podemos observar que el 32.78% del sexo masculino tenía niveles detectables en sangre. Esta relación puede explicarse a partir de varios factores. Los estudios han demostrado que los hombres son particularmente vulnerables a los efectos adversos del plomo, en comparación con las mujeres. La mayor prevalencia del Trastorno por Déficit de Atención e Hiperactividad podría estar relacionada tanto con una mayor vulnerabilidad biológica a los efectos del plomo, así como con factores socioambientales que aumentan su exposición.

Informe final de Proyecto de Investigación 2024

En cuanto a la relación entre el área geográfica y los niveles de plomo, observamos en la tabla 4 observamos que el 65.6% de los niños y adolescentes estudiados provenían de la ciudad de Guatemala, esto se explica porque el Hospital General San Juan de Dios, es el mayor hospital de referencia, y está ubicado en la zona central de la ciudad.

10. Propiedad intelectual

No aplica

11. Beneficiarios directos e indirectos

Anótelos en la siguiente tabla.

Tabla 1. Beneficiarios directos e indirectos de la investigación

Resultados, productos o hallazgos	Beneficiarios directos (institución, organización, sector académico o tipo de personas)	Número de beneficiarios directos	Beneficiarios indirectos (institución, organización, sector académico o tipo de personas)	Número de Beneficiarios indirectos
Características generales (edad, género, área geográfica, escolaridad), de los padres (escolaridad, ocupación) y condiciones de vivienda	Hospital General San Juan de Dios, pacientes (niños entre 6-18 años) y padres.	61	Padres de familia y personal de salud de la Clínica de psiquiatría Infanto-juvenil y de la consulta externa del Hospital General San Juan de Dios	300
Niveles de plomo en sangre	Hospital General San Juan de Dios, pacientes entre 6 y 18 años y padres.	61	Padres de familia y personal de salud de la Clínica de psiquiatría y de la consulta externa del Hospital General San Juan de Dios	300

12. Estrategia de divulgación y difusión de los resultados.

Describa con evidencia en la tabla 3 las actividades realizadas. Marque con una X las actividades que realizó. Dependiendo de la investigación agregue otras actividades.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Tabla 3

	Sí	No
Presentación TV		X
Entrevistas radiales		X
Podcast		X
Entrevista DIGI		X
Recursos audiovisuales		X
Congresos científicos nacionales o internacionales		X
Talleres		X
Publicación de libro		X
Publicación de artículo científico		X
Divulgación por redes sociales institucionales		X
Presentación pública		X
Presentación autoridades USAC	X	
Presentación a beneficiarios directos		X
Entrega de resultados		X
Docencia en grado		X
Docencia postgrado		X
Póster científico		X
Trifoliales		X
Conferencias		X
Otro (describe)		X



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

13. Contribución a las Prioridades Nacionales de Desarrollo (PND)

Nuestros hallazgos sobre la relación entre niveles de plomo detectables en sangre y TDAH y psicosis contribuyen a metas específicas del Plan Nacional de Desarrollo:

Acceso a servicios de salud

- Mejorar la atención en salud mental Infanto-juvenil, considerando que esta investigación ayuda a comprender los efectos adversos sobre la salud mental debido a niveles detectables de plomo y a brindar seguimiento a pacientes con efectos en la salud secundarios a este metal.
- Garantizar la provisión y atención en los servicios de salud de la población que enferma: nuestros resultados pueden guiar intervenciones comunitarias dirigidas a población vulnerable en donde es alta la exposición a plomo.

14. Contribución al desarrollo de iniciativas de ley

Propuestas de políticas públicas o programas de desarrollo o registro de patentes. (Acción 4 del objetivo 2 de investigación de la USAC).

15. Vinculación

Este proyecto permitió vincular a las siguientes instituciones en trabajo conjunto:

- Facultad de Ciencias Médicas, Universidad de San Carlos de Guatemala
- Departamento de Toxicología, Escuela de Química Farmacéutica, Facultad de Ciencias

Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala Entidad externa:

- Departamento de Pediatría, Clínica de Psiquiatría infanto-juvenil, Hospital General San Juan de Dios, Guatemala.
- Laboratorio Clínico, Hospital General San Juan de Dios, Guatemala.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

16. Conclusiones

En cuanto al análisis descriptivo, se realizó un muestro por captación debido, quedando conformada en 32 pacientes que asistieron a la consulta externa de pediatría y 29 pacientes de la clínica de Psiquiatría Infanto-juvenil. A pesar de esto, los datos obtenidos ofrecen información valiosa y pueden servir de base para futuras investigaciones.

El 29.50% de los pacientes de sexo masculino sin diagnóstico psiquiátrico tienen niveles detectables de plomo, en comparación con el sexo femenino, de las cuales, 10 (16.39%) tenían niveles detectables. De los pacientes con diagnóstico psiquiátrico, el 32.78% de los hombres presentaron niveles de plomo detectables, siendo menor en el sexo femenino. De estas, al 11.47% (7) se les encontró niveles de plomo. La distribución por sexo sugiere que hay más casos detectables en hombres, tanto en los que no presentaron un trastorno psiquiátrico como en los que sí fueron diagnosticados.

El 52.5% de los niños y adolescentes evaluados no presentaron diagnóstico psiquiátrico, el 29.5% tuvo diagnóstico de psicosis en tanto que el 18% presentó diagnóstico de TADH. En esta la prueba de homocedasticidad con prueba de Levene de igualdad de varianzas salió 0.175, por lo que si existe homogeneidad de varianza. La prueba de T de student no evidencia diferencia significativa entre los pacientes con diagnóstico psiquiátrico versus los pacientes sin diagnóstico psiquiátrico, con una significancia (valor p) de 0.592. Debido a que una de las variables no seguía distribución normal se realizó la prueba de MannWhitney y también indicó que no hay significancia estadística con un valor de Significancia asintótica bilateral (análogo a valor p) de 0.669.

Con relación a los niveles de plomo encontrados en los niños y adolescentes evaluados, el 60.7% tenía niveles de 0.1 a 1.0 $\mu\text{g}/\text{dL}$, el 26.2% presentó niveles de 1.1 A 2.0 $\mu\text{g}/\text{dL}$, y el 3.3 % tenía niveles de plomo en sangre de 2.1 lt a $<3.0 \mu\text{g}/\text{dL}$. Sólo en el 9.8% (6) de los estudiados no presentó niveles de plomo detectables. Es decir que el 90% tenían niveles de plomo en sangre.

Con relación a la distribución geográfica, el 95% de los pacientes pertenecían al municipio de Guatemala, seguidos por 6.6% (4) del municipio de Mixco y 4.9% del municipio de Palencia.

El plomo en la población infantil es un problema de salud pública grave. Este es un metal tóxico que puede tener efectos adversos en el desarrollo y la salud de los niños. La exposición al plomo puede ocurrir a través de varias fuentes, como la ingestión de pintura



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

con plomo en viviendas antiguas, la contaminación del suelo, el agua potable contaminada y la exposición ocupacional de los padres.

Los niños son particularmente vulnerables a los efectos del plomo debido a que aún están en desarrollo y su sistema nervioso es especialmente sensible a las toxinas. La exposición al plomo puede causar una variedad de problemas de salud, incluyendo retrasos en el desarrollo cognitivo, disminución del coeficiente intelectual, problemas de aprendizaje, trastornos del comportamiento, daño renal y afectación del sistema nervioso central.

Para abordar este problema, es importante implementar medidas de prevención y control. Con los resultados obtenidos en este estudio se espera detectar si los niños que asisten a la consulta de la clínica de consulta externa y la clínica infanto-juvenil de psiquiatría, tienen niveles por encima de los recomendados por la CDC sometidos a la prueba para detección de Pb en sangre para niños que diagnostica la psicosis e hiperactividad se relaciona con los niveles hallados en la muestra de sangre. El estudio permitirá apoyar a las familias de los niños que resulten con niveles elevados de plomo por medio de educación medidas higiénico dietéticas inicialmente y si fuere necesario la referencia a la clínica de Consulta de neurología para el abordaje individual de cada uno de los casos que se presenten y acompañamiento posterior por medio de la jefatura de pediatría para el apoyo de los niños.

Debido a circunstancias imprevistas relacionadas con cambios administrativos en la coordinación del proyecto y retrasos en la autorización formal para iniciarlo, nos vimos obligados a reducir significativamente el período del trabajo de campo. Este ajuste temporal impactó directamente nuestra capacidad para alcanzar el tamaño original de la muestra. Sin embargo, aprovechamos al máximo este tiempo, y aunque esta muestra es menor a lo esperado inicialmente, estamos seguros que los resultados obtenidos son valiosos tanto por su relevancia temática como por su potencial punto de partida para futuras investigaciones más exhaustivas y con una muestra más representativa, dado que, más del 50% de pacientes estudiados presentaron niveles detectables de plomo. Por lo que confiamos en poder contribuir positivamente al conocimiento científico con nuestros hallazgos actuales.

17. Recomendaciones

La continuidad de este trabajo puede contribuir a ampliar la muestra, por lo que consideramos que este puede extenderse cuatro meses más, lo que ayudará a fortalecer los datos obtenidos.

Es importante realizar estudios longitudinales que sigan a los participantes durante un período prolongado para evaluar su desarrollo físico y cambios en sus condiciones neuropsicológicas, así como a los padres que se encuentran expuestos al plomo.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Promover colaboraciones entre expertos en toxicología ambiental, psiquiatría Infantojuvenil, salud pública y epidemiología para abordar mejor esta problemática y proponer acciones en la comunidad.

Implementar políticas públicas orientadas a reducir la exposición al plomo en entornos urbanos y rurales desfavorecidos, así como desarrollar programas educativos dirigido a prevenir esta exposición.

A nivel internacional, en los países europeos, se desarrolla vigilancia de exposiciones a compuestos o elementos que afectan a nivel cognitivo. El plomo es uno de ellos. Las regulaciones de emisiones se basan en la necesidad de limitar la presencia en el ambiente, por lo que, a partir de proyectos como el presente, en el que se miden los niveles de plomo, se puede justificar la necesidad de fortalecer la legislación ambiental por medio de iniciativas de ley que regulen o monitoreen dichas emisiones.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Referencias

1. A Poma, P. (2013). Intoxicación por plomo en humanos. *Anales de La Facultad de Medicina*, 69(2), 120. <https://doi.org/10.15381/anales.v69i2.1155>
2. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. (2021). *Toxicological Profile for Lead* (U. S. D. of H. and Human & Services. (eds.)). CDC. <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp13.pdf>
3. Agra Romero, S. (2001). Trastornos Psiquiátricos por Metales y Agentes Neurotóxicos Exógenos. *REVISTA GALLEGA DE PSIQUIATRIA Y NEUROCIENCIAS*, 82.
4. Attademo, L., Bernardini, F., Garinella, R., & Compton, M. T. (2017). Environmental pollution and risk of psychotic disorders: A review of the science to date. *Schizophrenia Research*, 181, 55–59. <https://doi.org/10.1016/j.schres.2016.10.003>
5. Center for Disease Control and Prevention. (2023). *Childhood Lead Poisoning*. <https://www.cdc.gov/nceh/lead/overview.html>
6. Centers for Disease Control and Prevention: CDC. (2024). CDC updates blood lead reference value. *Childhood Lead Poisoning Prevention*. <https://www.cdc.gov/lead-prevention/php/news-features/updates-blood-leadreference-value.html>
7. Chan, T., Gutierrez, C., & Ogunseitan, O. (2015). Metallic Burden of Deciduous Teeth and Childhood Behavioral Deficits. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12(6), 6771–6787. <https://doi.org/10.3390/ijerph120606771>
8. Comisión Guatemalteca de Normas Ministerio de Economía, Norma Técnica Guatemalteca COAGUANOR NTG 29001,
9. da Silva, B. S., Grevet, E. H., Silva, L. C. F., Ramos, J. K. N., Rovaris, D. L., & Bau, C. H. D. (2023). An overview on neurobiology and therapeutics of attentiondeficit/hyperactivity disorder. *Discover Mental Health*, 3(1), 2. <https://doi.org/10.1007/s44192-022-00030-1>

Informe final de Proyecto de Investigación 2024

10. Disalvo Liliana, Aab Claudia, Pereyras Silvia, Pattín Jorgelina, Apezteguía María, Iannicelli Juan Carlos et al . Plumbemia en niños de la ciudad de La Plata, Argentina y su relación con la deficiencia de hierro y los factores de exposición al plomo. *Rev. bol. ped.* [Internet]. 2011 ; 50(2): 130-138.

Disponible en:

http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S102406752011000200008&lng=es.

11. Donzelli, G., Carducci, A., Llopis-Gonzalez, A., Verani, M., Llopis-Morales, A., Cioni, L., & Morales-Suárez-Varela, M. (2019). The Association between Lead and

Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder: A Systematic Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(3), 382.

<https://doi.org/10.3390/ijerph16030382>

12. Ferreira, S. L. C., Bezerra, M. A., Santos, A. S., dos Santos, W. N. L., Novaes, C. G., de Oliveira, O. M. C., Oliveira, M. L., & Garcia, R. L. (2018). Atomic absorption spectrometry – A multi element technique. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 100, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2017.12.012>

13. Flora, G., Gupta, D., & Tiwari, A. (2012). Toxicity of lead: a review with recent updates. *Interdisciplinary Toxicology*, 5(2), 47–58. <https://doi.org/10.2478/v10102012-0009-2>

14. FUNDESA. (2021). Guatemala, esperanza de vida la mejora depende directamente del desarrollo de su población. Guatemala: FUNDESA.

15. González, Elizabeth, Ahumada, Ramón, Medina, Valentina, Neira, José, & González, Urcesino. (2004). Espectrofotometría de absorción atómica con tubo en la llama: aplicación en la determinación total de cadmio, plomo y zinc en aguas frescas, agua de mar y sedimentos marinos. *Química Nova*, 27(6), 873-877.

<https://doi.org/10.1590/S0100-40422004000600006>

16. Guilarte, T. R., Opler, M., & Pletnikov, M. (2012). Is lead exposure in early life an environmental risk factor for Schizophrenia? Neurobiological connections and testable hypotheses. *NeuroToxicology*, 33(3), 560–574. <https://doi.org/10.1016/j.neuro.2011.11.008>



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

17. Guo, X., Jiang, S., Xu, J., Tian, Y., Ouyang, F., Yu, X., Liu, J., Yan, C., & Zhang, J. (2022). Effects of single and combined exposure to lead and stress during pregnancy on offspring neurodevelopment. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 56, 101124. <https://doi.org/10.1016/j.dcn.2022.101124>
18. Huang, S., Hu, H., Sánchez, B. N., Peterson, K. E., Ettinger, A. S., LamadridFiguroa, H., Schnaas, L., Mercado-García, A., Wright, R. O., Basu, N., Cantonwine, D. E., Hernández-Avila, M., & Téllez-Rojo, M. M. (2016). Childhood Blood Lead Levels and Symptoms of Attention Deficit Hyperactivity Disorder (ADHD): A CrossSectional Study of Mexican Children. *Environmental Health Perspectives*, 124(6), 868–874. <https://doi.org/10.1289/ehp.1510067>
19. IARC. (2006). Inorganic and organic lead compounds. World Health Organization. <https://publications.iarc.fr/105>
20. Illera, V., Garrido, F., Serrano, S., & García-González, M. T. (2004). Immobilization of the heavy metals Cd, Cu and Pb in an acid soil amended with gypsum and lime-rich industrial by-products. *European Journal of Soil Science*, 55(1), 135–145. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2389.2003.00583.x>
21. Instituto de Sanimetría y Evaluación Sanitaria. (2021). Lead exposure-Level 3 risk. <https://www.healthdata.org/research-analysis/diseases-injuriesrisks/factsheets/2021-lead-exposure-level-3-risk>
22. Karcher, N. R., Schiffman, J., & Barch, D. M. (2021). Environmental Risk Factors and Psychotic-like Experiences in Children Aged 9–10. *Journal of the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry*, 60(4), 490–500. <https://doi.org/10.1016/j.jaac.2020.07.003>
23. Kim, S., Arora, M., Fernandez, C., Landero, J., Caruso, J., & Chen, A. (2013). Lead, mercury, and cadmium exposure and attention deficit hyperactivity disorder in children. *Environmental Research*, 126, 105–110. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2013.08.008>
24. Markowitz ME. Manejo de la intoxicación por plomo en la niñez. *Salud Publica Mex* 2003;45 supl 2:S225- S231. El texto completo en inglés de este artículo está disponible en: <http://www.insp.mx/salud/index.html>

Informe final de Proyecto de Investigación 2024

25. Martínez Guijarro, M. R. (2020). Análisis Instrumental. Espectrometría de Absorción Atómica (EAA). <https://riunet.upv.es/handle/10251/138418>
26. Meng, Y., Tang, C., Yu, J., Meng, S., & Zhang, W. (2020). Exposure to lead increases the risk of meningioma and brain cancer: A meta-analysis. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 60, 126474. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2020.126474>
27. Modabbernia, A., Arora, M., & Reichenberg, A. (2016). Environmental exposure to metals, neurodevelopment, and psychosis. *Current Opinion in Pediatrics*, 28(2), 243–249. <https://doi.org/10.1097/MOP.0000000000000332>
28. Modabbernia A, Velthorst E, Gennings C, De Haan L, Austin C, Sutterland A, et al. Early-life metal exposure and schizophrenia: A proof-of-concept study using novel tooth-matrix biomarkers. *Eurpsychiatr*. 2016 Aug;36:1-6. doi:10.1016/j.eurpsy.2016.03.006
29. Moreira, F. R., & Moreira, J. C. (2004). A cinética do chumbo no organismo humano e sua importância para a saúde. *Ciência & Saúde Coletiva*, 9(1), 167–181. <https://doi.org/10.1590/S1413-81232004000100017>
30. Moriyama, T., Cho, A., Verin, R., & Fuentes, Joaquín; Planczyk, G. V. (2017). Trastorno por Déficit de Atención con Hiperactividad. In IACAPAP extbook of Child and Adolescent Mental Health. https://iacapap.org/_Resources/Persistent/cd900cb0ccdc2b7b1d448f1f5cbce61c33766a52/D.1-ADHD-Spanish-2017.pdf
31. Naciones Unidas Guatemala. (2021). Análisis común del país, actualización 2021. Guatemala: Naciones Unidas.
32. Oliver, B. E., & O’Gorman, G. (1966). Pica and Blood Lead in Psychotic Children. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 8(6), 704–707. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.1966.tb01829.x>
33. Ordóñez-Iriarte, J. M. (2020). Salud mental y salud ambiental. Una visión prospectiva. Informe SEPAS 2020. *Gaceta Sanitaria*, 34, 68–75. <https://doi.org/10.1016/j.gaceta.2020.05.007>
34. Organización Mundial de la Salud: OMS. (2024). Intoxicación por plomo. WHO Website. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/lead-poisoning-andhealth>



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

35. Organización Mundial de la Salud. (2022). Directriz de la OMS para el tratamiento clínico de la exposición al plomo. Organización Mundial de la Salud.

<https://iris.who.int/handle/10665/352382>

36. WHO, Organización Panamericana de la Salud: OPS. (2024). Plomo. OPS/OMS. <https://www.paho.org/es/temas/plomo>

37. Reuben, A., Schaefer, J. D., Moffitt, T. E., Broadbent, J., Harrington, H., Houts, R. M., Ramrakha, S., Poulton, R., & Caspi, A. (2019). Association of Childhood Lead Exposure With Adult Personality Traits and Lifelong Mental Health. *JAMA Psychiatry*, 76(4), 418. <https://doi.org/10.1001/jamapsychiatry.2018.4192>

38. Rodríguez González CT, González Marcos MI, Arroba Basanta ML, Cabello Ballesteros L. Prevalencia del trastorno por déficit de atención con hiperactividad en niños de una localidad urbana. *Rev Pediatr Aten Primaria*

[Internet]. 2017 Dic 19(76): 311-320. Disponible en:

http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S113976322017000500003&lng=es.

39. Rutter, M., Kim-Cohen, J., & Maughan, B. (2006). Continuities and discontinuities in psychopathology between childhood and adult life. *Journal of Child*

Psychology and Psychiatry, 47(3-4), 276-295. [https://doi.org/10.1111/j.1469-](https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.2006.01614.x)

[7610.2006.01614.x](https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.2006.01614.x)

40. Şahin, B., Aydin, R., & Cetin, H. (2020). Tuning the morphological, structural, optical and dielectric properties of hausmannite (Mn₃O₄) films by doping heavy metal lead. *Superlattices and Microstructures*, 143, 106546.

<https://doi.org/10.1016/j.spmi.2020.106546>

41. Sánchez-Villegas, M. del C. S., Cortés-Vargas, A., Hidalgo-Luna, R. G., AlamEscamilla, D. A., Vargas-García, V. M., & Loría-Castellanos, J. (2014). [Blood and urine lead levels in children with attention deficit hyperactivity disorder]. *Revista*

Medica Del Instituto Mexicano Del Seguro Social, 52(1), 20-27. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24625479>



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

42. Skoog, S. A., Elam, J. W., & Narayan, R. J. (2013). Atomic layer deposition: medical and biological applications. *International Materials Reviews*, 58(2), 113– 129. <https://doi.org/10.1179/1743280412Y.0000000009>

43. Starling, J., & Feijo, I. (2017). Schizophrenia and other psychotic disorders of early onset. In *IACAPAP extbook of Child and Adolescent Mental Health* (p. 22).

IACAPAP.

<https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=a0587398005c6a355d053b07f7469a997f94babd>

44. Ulloa Flores, Rosa Elena, et al. (2011). Evaluación y tratamiento de la esquizofrenia en niños y adolescentes. *Salud Mental*, 34(5).

https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S018533252011000500006

45. Vorvolakos, T., Arseniou, S., & Samakouri, M. (2016). There is no safe threshold for lead exposure: A literature review. *Psychiatriki*, 27(3), 204–214. <https://doi.org/10.22365/jpsych.2016.273.204>

46. Zhang, R., Huo, X., Ho, G., Chen, X., Wang, H., Wang, T., & Ma, L. (2015). Attention-deficit/hyperactivity symptoms in preschool children from an E-waste recycling town: assessment by the parent report derived from DSM-IV. *BMC Pediatrics*, 15(1), 51. <https://doi.org/10.1186/s12887-015-0368-x>

47. de la Peña F, Ulloa R, Higuera F, Ortiz S, Arechavaleta B, Foullux C, Nogales I, Márquez M, Cruz E, Martínez P, Hernández L, Domínguez E. Interrater reliability of the Spanish version of the KSADS-PL. American Academy of Child & Adolescent Psychiatry Annual Meeting. San Francisco, CA, Oct 22-27 2002, New Research Poster A35, Scientific Proceedings page 95.

48. Ulloa, R.E., Ortiz, S., Higuera, F., Nogales, I., Fresan, A., Apiquian, R., Cortes,

J., Arechavaleta, B., Foullux, C., Martinez, P., Hernandez, L., Dominguez, E., de la Peña, F., 2006. Interrater reliability of the Spanish version of the Schedule for Affective Disorders and Schizophrenia for School-Age Children—Present and Lifetime version (K-SADS-PL). *Actas Esp. Psiquiatr.* 34, 3640.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Apéndice

FOTOGRAFÍAS

1. Parte del equipo investigador, salón de sesiones Departamento de Toxicología, Escuela de Química Farmacéutica, antiguo edificio de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, zona 1. Autor: Lic. Carolina Guzmán-Quilo.



2. Werner González, colaborador del proyecto, tomando muestras de laboratorio a pacientes, departamento de pediatría, Hospital General San Juan de Dios, Guatemala. Autor: Lic. Carolina Guzmán-Quilo



Informe final de Proyecto de Investigación 2024





Informe final de Proyecto de Investigación 2024

3 Sesión de trabajo con parte del equipo investigador. salón de sesiones Departamento de Toxicología, Escuela de Química Farmacéutica, antiguo edificio de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, zona 1. Autor: Lic. Carolina Guzmán-Quilo





Informe final de Proyecto de Investigación 2024

4. Equipo de absorción atómica que se usó para medir los niveles de plomo.
Departamento de Toxicología, Escuela de Química Farmacéutica, antiguo edificio de la
Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, zona 1. Autor: Lic. Carolina Guzmán-Quilo



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

5. Equipo de absorción atómica que se usó para medir los niveles de plomo. Departamento de Toxicología, Escuela de Química Farmacéutica, antiguo edificio de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, zona 1. Autor: Lic. Carolina Guzmán-Quilo





Informe final de Proyecto de Investigación 2024

6. Reunión del equipo completo. Facultad de Ciencias Médicas, Centro Universitario Metropolitano, zona 11. Autor: Dra. Virginia Ortiz



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

7. Fotografías 7, 8 y 9. Consulta Externa de Pediatría, Departamento de Pediatría, Hospital General San Juan de Dios, Guatemala Autor: Dra. Karen Ureta.





Informe final de Proyecto de Investigación 2024



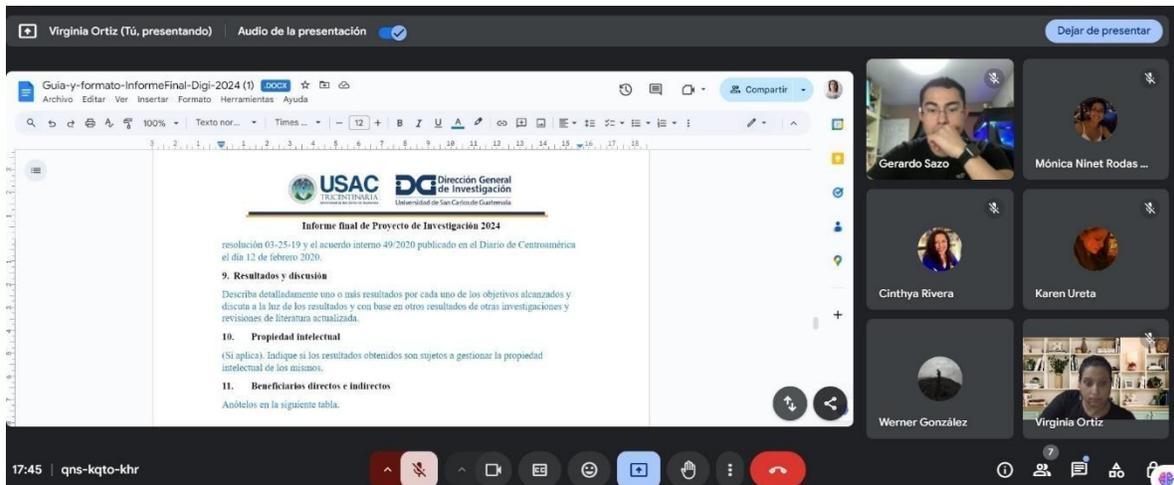


Informe final de Proyecto de Investigación 2024



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

10 Reunión virtual del equipo en la discusión del informe final. Autor: Dra. Virginia Ortiz



The screenshot shows a virtual meeting interface. The main window displays a presentation slide titled "Informe final de Proyecto de Investigación 2024". The slide content includes:

- USAC TRICENTENARIA logo and DG Dirección General de Investigación logo.
- Informe final de Proyecto de Investigación 2024
- resolución 03-25-19 y el acuerdo interno 49-2020 publicado en el Diario de Centroamérica el día 12 de febrero 2020.
- 9. Resultados y discusión**
Describe detalladamente uno o más resultados por cada uno de los objetivos alcanzados y discute a la luz de los resultados y con base en otros resultados de otras investigaciones y revisiones de literatura actualizada.
- 10. Propiedad intelectual**
(Si aplica). Indique si los resultados obtenidos son sujetos a gestionar la propiedad intelectual de los mismos.
- 11. Beneficiarios directos e indirectos**
Anótelos en la siguiente tabla.

The meeting interface also shows a gallery of participants: Gerardo Sazo, Mónica Ninet Rodas..., Cinthya Rivera, Karen Ureta, Werner González, and Virginia Ortiz. The bottom of the screen shows a control bar with a timer at 17:45 and the ID qns-kqto-khr.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Declaración del coordinador (a) del proyecto de investigación

El coordinador (a) de proyecto de investigación con base en el Reglamento para el desarrollo de los proyectos de investigación financiados por medio del Fondo de Investigación, artículos 13 y 20, dejo constancia que el personal contratado para el proyecto de investigación que coordino ha cumplido a satisfacción con la entrega de informes individuales por lo que es procedente hacer efectivo el pago correspondiente.

Nombre del coordinador (a) del proyecto de investigación	Firma
Fecha: 18/02/2025	

Aval del director (a) del instituto, centro, unidad o departamento de investigación o coordinador de investigación del centro regional universitario

De conformidad con el artículo 13 y 19 del Reglamento para el desarrollo de los proyectos de investigación financiados por medio del Fondo de Investigación otorgo el aval al presente informe final de las actividades realizadas en el proyecto (escriba el nombre del proyecto de investigación) en mi calidad de (indique: director del instituto, centro, unidad o departamento de investigación o coordinador de investigación del centro universitario), mismo que ha sido revisado y cumple su ejecución de acuerdo a lo planificado.

Vo.Bo. Dr. Cesar García Director de Investigación	Firma
Fecha: 18/02/2025	

Aprobación de la Dirección General de Investigación

Vo.Bo. Lic. Sucely Orozco, M.A. Coordinador) del programa universitario de investigación	Firma
Fecha: 28/02/2025	