



**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE ODONTOLOGÍA**

Nivel de concentración del plomo en esmalte dental deciduo
usando la técnica de microbiopsia en niños
del centro poblado de Quichas-Oyón, octubre de 2013

**TESIS PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL
DE CIRUJANO DENTISTA**

Presentada por

Concepción Javier, Lucinda Emilia

Asesora

MG. CD. Dalby Morla, María Paola Felícita

Lima-Perú

2013



DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo a mis padres y hermanos, por brindarme toda la confianza y el apoyo mostrado hasta el día de hoy, sus enseñanzas y consejos.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por siempre poner en mi camino a personas buenas.

A mis padres, Emilia Javier Calero y Luis Concepción Chávez, por el apoyo moral, la confianza, la paciencia y todo lo bueno que ofrecen los padres modelo como ustedes.

A mis hermanos, Luis, George, Milda, por su cariño y sus permanentes consejos.

A mi novio David Torres Meza, por estar siempre a mi lado, incluso en los momentos críticos, por el amor incondicional y por el apoyo ofrecido hasta el día de hoy.

A mi asesora, Mg. CD. Paola Dalby Morla, por haber apostado desde un inicio en mí y en esta investigación, aun sabiendo que iba a ser un camino muy largo. Por todo el apoyo incondicional, dedicación, comprensión, paciencia y, sobre todo, por sus conocimientos brindados.

A la Mg. Esp. CD. Rita Salcedo Rioja, por sus enseñanzas, sus consejos, sus críticas; en lo personal y en lo laboral. Siempre estaré agradecida por la amistad incondicional brindada.

Agradecimiento especial a la ONG Fondo Perú, por apostar por mi investigación, por la subvención y por la amistad sincera. Gracias, Isabel Glaser, por todo tu apoyo incondicional.



JURADO

PRESIDENTE: Dr. Linares Weilg, Carlos Antonio.

SECRETARIA: Mg. CD. Mezarina García Rosa.

VOCAL: MG. CD. Gálvez Ramírez, Carlos Michel.

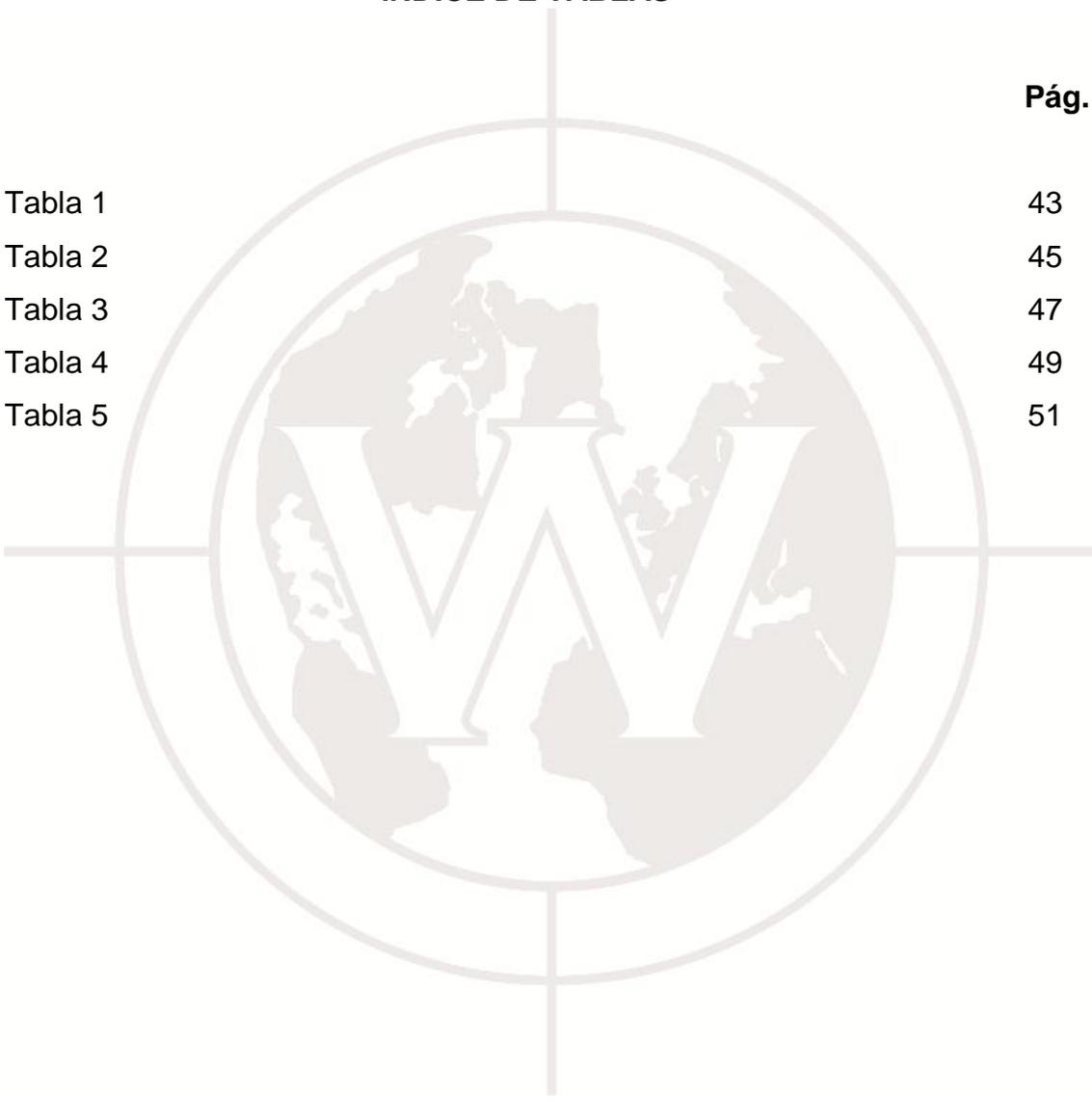
ÍNDICE

	Pág.
I. El problema	11
1.1. Planteamiento del problema	11
1.2. Formulación del problema	12
1.3. Justificación	12
1.4. Objetivos	13
1.4.1. Objetivo general	13
1.4.2. Objetivos específicos	13
II. Marco teórico	14
2.1. Antecedentes	14
2.2. Base teórica	18
2.2.1. Plumbismo o saturnismo	18
2.2.2. Fuentes de contaminación de plomo	18
2.2.3. Toxicocinética del plomo	20
2.2.4. Toxicodinamia del plomo	22
2.2.5. Efectos tóxicos del plomo	25
2.2.6. Biomarcadores del plomo	31
2.3. Terminología básica	33
2.4. Variables	34

III. Diseño metodológico	35
3.1. Tipo y nivel de investigación	35
3.2. Población y muestra	35
3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	36
3.4. Procesamiento de datos y análisis estadísticos	39
3.5. Aspectos éticos	41
IV. Resultados y discusión	43
4.1. Resultados	43
4.2. Discusión	53
V. Conclusiones y recomendaciones	55
5.1. Conclusiones	55
5.2. Recomendaciones	56
Referencias bibliográficas	57
Anexos	62

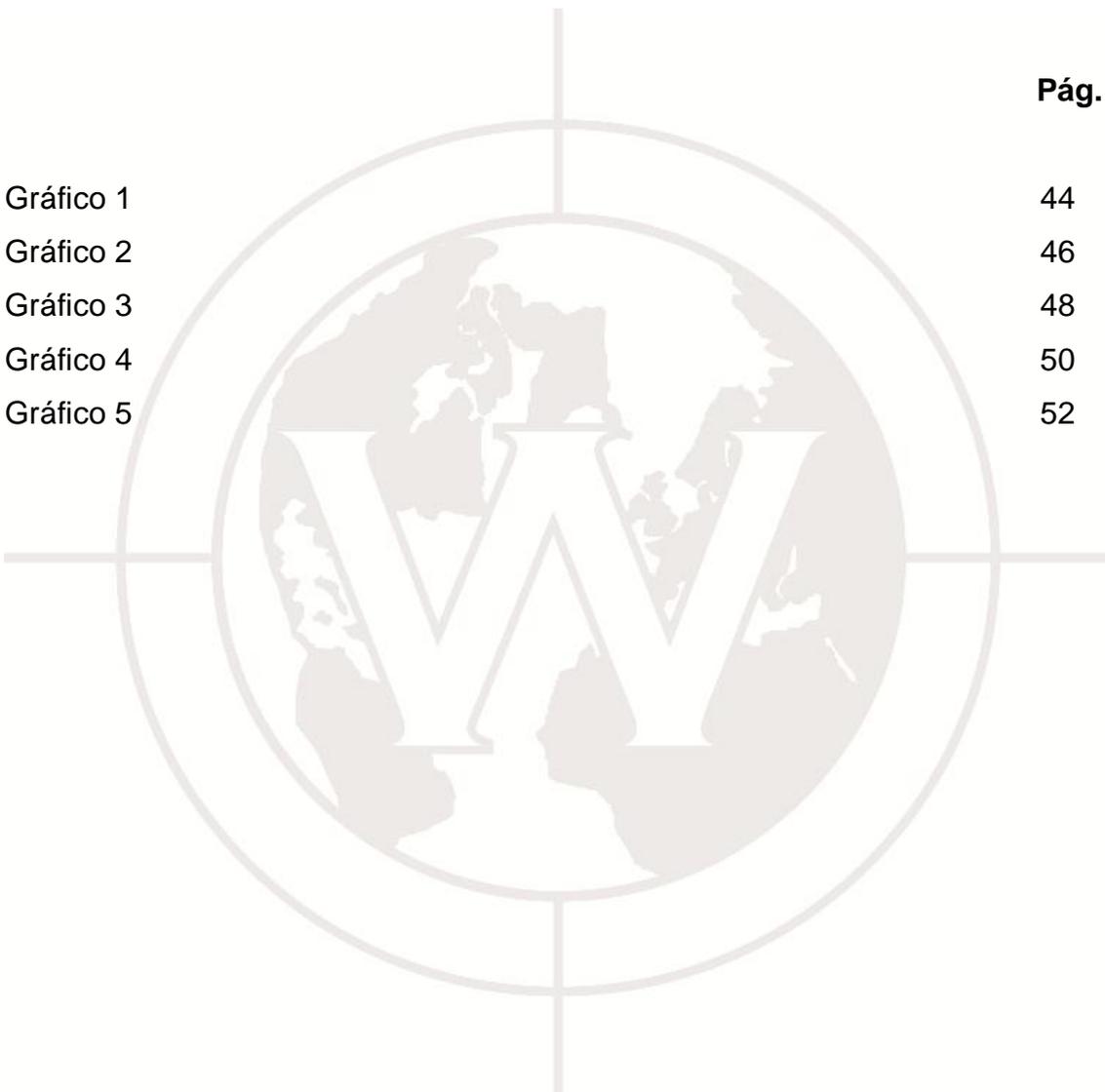
ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1	43
Tabla 2	45
Tabla 3	47
Tabla 4	49
Tabla 5	51



ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Pág.
Gráfico 1	44
Gráfico 2	46
Gráfico 3	48
Gráfico 4	50
Gráfico 5	52



RESUMEN

La investigación fue realizada con el objetivo de definir la concentración de plomo en esmalte dental deciduo según género, edad y severidad.

Se realizaron 35 microbiopsias en esmalte dental de 35 niños y niñas del centro poblado de Quichas; el muestreo fue no probabilístico por conveniencia.

El 100 % de niños tiene niveles de plomo en esmalte dental. Los resultados muestran concentraciones de plomo de entre 5,65 y 12,83 $\mu\text{g/g}$ en niños entre 4 y 6 años de edad. Se demostró que hay relación significativa entre la concentración de plomo y la edad. Se concluye que las medianas de las concentraciones son mayores a medida que la edad aumenta.

Según la severidad de la concentración de plomo, se encontró que 94,3 % de niños están en el rango de moderado (5 $\mu\text{g/g}$ -10 $\mu\text{g/g}$) y 5,7 % de niños en el rango de severo (10 $\mu\text{g/g}$ o más). Sin embargo, según género se encontró que los valores no presentan diferencias estadísticamente significativas.

Se recomienda ampliar más el estudio de la concentración de plomo en esmalte dental, analizar los niveles de plomo en sangre y en saliva, realizar estudios en dientes permanentes y comparar la concentración de plomo en dientes deciduos y permanentes.

SUMMARY

The investigation was conducted in order to define the concentration of lead in deciduous tooth enamel by gender, age and severity.

35 microbiopsies were performed in dental enamel of 35 children in the village center Quichas; sampling probability it was not for convenience.

100% of children have lead levels in tooth enamel. The results show lead concentrations between 5.65 and 12.83 mg /g. in children between 4 and 6 years old, showed that there was significant relationship between lead concentration and age concludes that the median concentrations are greater as age increases.

Depending on the severity of the concentration of lead was found that 94.3 % of children are in the moderate range (5 μ g/g - 10 μ g/g) and 5.7 % of children in the severe range (10 μ g /g or more). However, according to gender was found that the values did not show statistically significant differences.

We recommend further extend the study of the concentration of lead in tooth enamel , analyze lead levels in blood and saliva studies on permanent teeth and compare the concentration of lead in deciduous and permanent teeth.

I. EL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del problema

El Perú es uno de los mayores explotadores de plomo en el mundo, con un volumen de exportación que continúa aumentando. Las zonas mineras de las que se extrae el plomo y las poblaciones aledañas son las que sufren una mayor contaminación natural y humana^{1,2}.

Uno de los metales más nocivos seguido del mercurio es el plomo. Es un metal pesado que no cumple ninguna función esencial en el cuerpo humano. Puede provocar efectos tóxicos en el organismo, incluso un daño nocivo a veces irreversible, pudiendo ser absorbido de diferentes formas produciendo el plumbismo y efectos degenerativos sobre todo si es que afecta a niños que se encuentran en pleno desarrollo¹.

La intoxicación por plomo se produce por la asimilación del metal o de sus combinaciones a través de las vías respiratorias o digestivas. La absorción de un miligramo de plomo al día puede provocar un envenenamiento serio en pocas semanas, manifestándose con depresión, cansancio, encías grises y, más tarde, ataques de cólicos, artralgias; la encefalopatía que afecta a los niños se caracteriza por somnolencia progresiva, alucinaciones, convulsiones, delirio, coma y muerte; en caso de sobrevivir el niño, queda con daño cerebral permanente como trastornos mentales o reducción de la capacidad intelectual y afectiva².

El objetivo del presente trabajo es determinar la concentración de plomo mediante la microbiopsia del esmalte dental en dentición decidua en niños del centro poblado de Quichas.

1.2. Formulación del problema

¿Cuál es la concentración de plomo hallada a través de microbiopsia en esmalte dental deciduo de niños del centro poblado de Quichas, Oyón, octubre de 2013?

1.3. Justificación

El plomo es un metal pesado que no cumple ninguna función en el sistema fisiológico del ser humano. Este metal es un contaminante nocivo para el ser humano y para el mundo. Se acumula en el organismo, pero hay mayor absorción ósea y dental, con consecuencias negativas, a veces irreversibles.

La contaminación del plomo se presenta en su mayoría por los yacimientos mineros, contaminando el medioambiente y a su población en diversas formas. Causando patologías del plumbismo agudo y crónico en los pobladores, que absorben el plomo en un 40-50 %. Los adultos podrían absorber 10 % menos que los niños.

Existen diferentes formas de determinar la concentración de plomo en el organismo; una de ellas es utilizando al esmalte dental como biomarcador. Es por eso que esta investigación pretende determinar la presencia de plomo en dentición decidua de niños que habitan en el centro poblado de Quichas, cuya localización geográfica se encuentra cerca de un centro minero donde se explota plomo y otros minerales.

Los resultados contribuyeron a identificar casos de niños con diagnóstico de plumbismo, ya que este tipo de poblaciones vulnerables no cuenta con el apoyo del Estado ni de las empresas mineras, siendo estas últimas las principales involucradas en el deterioro de salud y calidad de vida de las personas que habitan el lugar. Además, el poblado de Quichas no cuenta con un puesto de salud y mucho menos con personal médico especializado.

Esta es una realidad problemática del Perú que se viene presentando desde hace décadas y que se va haciendo cada vez más nociva y crónica. Los profesionales de la salud tienen un compromiso ético con el desarrollo normal de los niños y de las comunidades altoandinas, que en su mayoría son olvidadas.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Determinar la presencia de la concentración de plomo a través de microbiopsia en esmalte dental deciduo de niños del centro poblado de Quichas, Oyón, octubre de 2013.

1.4.2. Objetivos específicos

- ⌚ Identificar la presencia de plomo en esmalte dental en dentición decidua en niños del centro poblado de Quichas, Oyón, octubre de 2013.
- ⌚ Identificar la concentración del plomo en esmalte dental en dentición decidua en niños del centro poblado de Quichas, Oyón, octubre de 2013, según edad.
- ⌚ Identificar la concentración del plomo en esmalte dental en dentición decidua en niños del centro poblado de Quichas, Oyón, octubre de 2013, según género.
- ⌚ Identificar la concentración del plomo en esmalte dental en dentición decidua en niños del Centro poblado de Quichas, Oyón, octubre de 2013, según severidad.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Aparecida Segatto S. (Sao Paulo, 2012). Su objetivo fue determinar la concentración del plomo por medio de la microbiopsia en esmalte realizadas *in vivo* en dientes permanentes y deciduos en pacientes con problemas neurológicos en tratamiento ambulatorio; y comparar los resultados en diferentes grupos de acuerdo al diagnóstico. La microbiopsia fue realizada en niños de 5 a 12 años de ambos géneros. El plomo fue medido por espectrometría de absorción atómica con horno de grafito y el fósforo fue medido colorimétricamente para determinar la profundidad de la microbiopsia.

Sus acompañantes respondieron un cuestionario sobre factores de riesgo de exposición al plomo, luego se formaron cinco grupos con diferentes diagnósticos neurológicos: 1. síndrome motor, 2. epilepsia, 3. cefalea, 4. dificultad escolar, 5. disturbios de comportamiento. Los resultados evidenciaron que no hubo correlación entre edad, género, dentición decidua y dentición permanente. Pero se encontró diferencia significativa, siendo menores los valores de plomo en el grupo con epilepsia con relación a los grupos con dificultad escolar y disturbios de comportamiento. En conclusión, encontraron mayores valores de plomo en esmalte superficial en grupos de niños con dificultad escolar y disturbios de comportamiento con relación a los niños con epilepsia¹.

Moss M., Lanphear B. y Auinger P. (Brasil, 2011). Su objetivo fue analizar la relación entre los niveles de plomo en la sangre y la caries dental. Incluyó un examen dental y análisis de plomo en sangre mediante la venopunción.

El resultado registró que el nivel de plomo en sangre se asocia significativamente con el número de superficies afectadas por la caries para dientes deciduos y permanentes en todas las edades. En conclusión, la exposición al plomo ambiental se asocia con mayor prevalencia a caries dental en la población de los EE.UU.⁴.

Costa G., Sousa C., Souza G. *et al.* (Brasil, 2011). Este estudio tuvo como objetivo evaluar las asociaciones de plomo determinadas en microbiopsias sucesivas, tomadas de un diente deciduo y un diente permanente de un mismo niño y correlacionar el plomo en sangre, así como su conjunto en saliva sublingual, saliva submandibular y saliva de la parótida. La población de este estudio fue de 444 niños de 6 a 8 años. Los resultados demostraron significativa entre el plomo en esmalte encontrado en la dentición decidua y permanente, así como una correlación significativa entre el plomo en sangre y plomo en esmalte de los dientes deciduos y permanentes⁵.

Kaneshiro O., Naozuka J., Vitoriano V. *et al.* (Brasil, 2010). Su objetivo fue analizar los factores de riesgo en el entorno del hogar con adolescentes de edad entre 15 y 18 años, asociado con altos niveles de plomo en el esmalte superficial. La concentración de plomo en esmalte fue analizada mediante la microbiopsia del esmalte dentario superficial, cuantificada por espectrometría atómica con horno de grafito. Los niveles de fósforo se midieron por plasma acoplado inductivamente, por espectrometría de emisión óptica. En los resultados los adolescentes fueron expuestos al plomo durante sus primeros años de vida. Los factores de riesgo fueron asociados con altos niveles de plomo para aquellos que vivían cerca de una zona contaminada. En conclusión, la superficie del esmalte dental se puede utilizar como un marcador de exposición ambiental⁶.

Habercam J., Keil J., Reigart R. *et al.* (Estados Unidos, 2010). Se buscó determinar cuál de los tres tejidos (sangre, diente o cabello) podría ser el mejor indicador del contenido del plomo. El análisis del plomo en sangre probablemente sigue siendo el determinante del contenido del plomo en niños. Sin embargo, el examen de los dientes de leche puede proporcionar un índice útil para la exposición en años anteriores, particularmente útil en

niños con retraso mental inexplicable, en los cuales los niveles actuales de la sangre son normales o cerca de lo normal. En conclusión, las observaciones en este estudio no proporcionaron conclusión sobre fuentes de elevaciones de plomo en los tejidos⁷.

Guerra S. (Brasil, 2007). Su objetivo fue analizar datos de un estudio anterior para observar si la acumulación de plomo en superficies del esmalte es diferente en las zonas de gran contaminación y en zonas no conocidas con contaminación de plomo. Los datos se obtuvieron mediante la microbiopsia y el grabado ácido de la superficie del esmalte dental. El plomo se determinó por espectrometría de absorción atómica de horno de grafito y el fósforo por colorimetría, para determinar la profundidad de la biopsia. Se encontró plomo en la superficie del esmalte, en las primeras seis micras. Estos datos revelan el alto porcentaje en niños expuestos a altos niveles de plomo⁸.

Costa G., Pereira G., Sousa M. *et al.* (Brasil, 2007) El objetivo fue medir el plomo en esmalte dental superficial en dos poblaciones, una contaminada y otra no contaminada. La determinación del plomo se realizó en esmalte superficial por microbiopsia mediante el grabado ácido. El plomo se midió por espectrometría atómica con horno de grafito, mientras que el fósforo se midió colorimétricamente para establecer la profundidad de la biopsia. Los hallazgos sugieren que el plomo acumulado en la superficie del esmalte de los dientes deciduos está vinculado con el medioambiente en el que residen las personas, lo que indica que este tejido debe examinarse más a fondo como un biomarcador accesible de la exposición al plomo⁹.

Gomes V., Wada R., Aparecido J. *et al.* (Brasil, 2004). El objetivo de este estudio fue evaluar la relación entre la concentración de plomo presente en el esmalte de los dientes primarios de los niños en edad preescolar y la prevalencia de defectos del esmalte, así como la prevalencia de caries. La muestra consistió en 329 niños en los centros preescolares de una zona cercana a las industrias en Piracicaba (Sao Paulo). Se analizó por medio de una biopsia el esmalte oral, realizando también exámenes clínicos para determinar los defectos del esmalte. Se obtuvo como resultado ninguna relación de caries y defectos del esmalte con la contaminación de plomo.

El presente trabajo demuestra que, amortiguando la investigación, tal vez se pueda llegar a concluir que sí existe relación entre la caries y defectos del esmalte en dentición decidua¹⁰.

Baez A., Belmont R., García R. y Hernandez J. (México, 2004). Se determinaron por espectrometría de absorción atómica con horno de grafito los niveles de cadmio y plomo en 79 dientes deciduos de niños de 5 a 13 años de edad que residen en la zona metropolitana de la Ciudad de México. Las concentraciones de cadmio y plomo mostraron una distribución sesgada positivamente, por lo que se transformaron a logaritmos base 10. Las medias geométricas (GM) de las concentraciones de todos los dientes fueron de $0,22 \pm 3,4$ y $10,2 \pm 2,2 \mu\text{g g}^{-1}$ para cadmio y plomo, respectivamente. No se observaron diferencias estadísticamente significativas de las concentraciones de cadmio y plomo entre los tipos de dientes, posición de los dientes, tipo de diente y su posición, sexo, nivel socioeconómico y el uso o no uso de crayones de color. Los valores de cadmio decrecieron con la edad y los de plomo no mostraron una tendencia clara. Solo se observaron diferencias estadísticamente significativas entre las concentraciones de cadmio y la edad¹¹.

Paterson I. J., Raab G. M., Hunter R. *et al.* (Edimburgo, 1988). Los datos recogidos para el estudio han sido utilizados para investigar las concentraciones de plomo en dientes deciduos. Dentro de múltiples análisis de regresión, se ha demostrado que la maxila superior tiene una mayor concentración de plomo que la inferior, y que existe un gradiente de disminución de la concentración desde vestibular hasta la parte posterior de la boca. Incluso después de los efectos de la mandíbula y el tipo de diente, todavía se encuentra una correlación negativa con el peso de los dientes y con la edad en que erupcionó el diente. Ningún efecto estadísticamente significativo se puede atribuir a la caries o la reabsorción incompleta de las raíces. Un índice de un solo valor de plomo en diente se ha obtenido para cada niño, teniendo en cuenta el hecho de que los niños dieron diferentes tipos de dientes¹².

2.2. Base teórica

2.2.1. Plumbismo o saturnismo

Es la intoxicación crónica producida por sus sales o sus compuestos o envenenamiento por plomo, que puede ser inhalado a través del sistema respiratorio o ingerido y absorbido en el tracto gastrointestinal^{16,38}.

2.2.2. Fuentes de intoxicación del plomo

Contaminación ocupacional

Reconocida desde tiempos antiguos, es quizá la fuente de contaminación más estudiada alrededor del mundo, en vista de que son virtualmente innumerables las fuentes ocupacionales de las cuales se puede adquirir el plumbismo¹⁷. Quizá las industrias más relacionadas con exposición crónica al Pb por vía inhalatoria son la metalúrgica, la de pinturas, la de baterías y la de vidrio^{18,19}. En estos casos es de principal importancia una correcta anamnesis, ya que no es raro encontrar pacientes que permanecen un tiempo prolongado con un diagnóstico y tratamiento equivocado respecto a su cuadro clínico²⁰. En un estudio realizado por Romieu se encontró que el 72 % de los países en Latinoamérica consideran la exposición crónica al Pb como un elemento importante de inseguridad para sus trabajadores^{21,22}.

Contaminación ambiental

a) Aire

El polvo de plomo llega al aire cuando se depositan los relaves mineros en zonas muy cercanas a la comunidad, siendo el microclima favorable para el transporte de partículas de plomo, facilitando la contaminación de la población.

El humo producido por los motores de los vehículos a combustión que transitan por la comunidad es una fuente de contaminación por plomo en el aire de menor importancia con respecto a la producida por la actividad minera.

Según la OMS, el límite permisible de plomo en aire es de $1\text{ug Pb}/\text{m}^{21}$.

b) Agua

El agua de consumo puede provocar una intoxicación en aquellas zonas en las cuales las tuberías de agua todavía son de plomo. Principalmente, existe una contaminación de aguas blandas ligeramente sucias, ya que las aguas blandas y las conducciones de plomo permiten la formación de hidróxido de plomo soluble. La OMS limita el máximo deseable de plomo en agua de consumo a $10\text{ug Pb}^{21,22}$.

c) Suelo

El suelo es una de las vías de contaminación principal con relación a la población infantil. Puede tener orígenes a través de lo siguiente:

- Depósitos provenientes de los relaves.
- El manejo inadecuado de desechos con contenido de plomo.
- El polvo acumulado del escape de humo de los vehículos motorizados.

Produce contaminación de suelo y aire, que a su vez transportando por la suela de los zapatos al interior de las casas, donde puede iniciar el proceso de intoxicación especialmente en los niños de pequeña edad, cuando gatean en el suelo o cuando cogen sus juguetes que descansan allí, ya contaminados, y los llevan a la boca inocentemente. Según la OMS, el límite permisible del plomo en suelo es de $250\text{mg Pb}/\text{kg}^{21}$.

d) Alimento

Es posible que contengan plomo los alimentos cultivados en terrenos que tengan plomo o áreas donde el plomo del aire puede caer a los alimentos cultivados. Según la OMS, en el caso de los niños que absorben el 50 %, la media debe ser de 1,2ug Pb/kg²¹.

Contaminación accidental

La contaminación por medio de balas o de elementos similares que se introducen en el cuerpo de manera traumática o accidental, ya sea por ingesta de algún objeto que contenga plomo¹⁴ (50-52), generando posteriormente una plumbemia altamente significativa en caso que estos lleguen a instalarse en una estructura articular²².

2.2.3. Toxicocinética del plomo

Las vías de entrada del plomo inorgánico en el organismo son fundamentalmente la respiratoria y la digestiva. El plomo absorbido es vehiculizado por la sangre y alrededor del 90 % se fija en los hematíes. La vía principal de eliminación es la renal. El plomo que se elimina por la saliva puede llegar a pigmentar el borde marginal de las encías (ribete de Burton)²².

Absorción

Los niños pueden considerarse un grupo muy indefenso ante la exposición al plomo. En primer lugar, tienen mayor probabilidad de absorber plomo de fuentes ambientales. Asimismo, la considerable producción de calorías, característica de los niños, hace que, con relación al peso del organismo, un niño absorba más plomo que un adulto sometido a un mismo régimen alimenticio, debido a este mayor índice metabólico. Un niño aspirará de 2 a 3 veces más cantidad de un determinado contaminante del aire que un adulto.

La absorción de calcio es elevada en los niños y es probable que la absorción y retención de plomo también sean mayores que en los adultos²³.

El plomo se absorbe principalmente por las tres siguientes vías:

Vía inhalatoria

Por inhalación de partículas pequeñas o al estado gaseoso. La tasa de depósito depende del tamaño de la partícula, la solubilidad del compuesto, la tasa de ventilación y la presencia de alguna patología. De manera general, se puede determinar que el 75 % de partículas inhaladas quedan retenidas en el tracto superior; el 25 % restante logra pasar el umbral del alveolo, llegando al torrente circulatorio, de donde se distribuye a los huesos largos, planos, hígado, cerebro, bazo, pulmón y músculo²⁴.

Vía digestiva

El plomo se absorbe principalmente en el intestino. Esta porción se ve incrementada en presencia de hierro y zinc y en deficiencia de calcio. Se estima que la ingestión de plomo por la población en general es de 100 a 300 ug por día. Las fuentes principales son los alimentos y el agua²⁴.

Vía cutánea

Los derivados inorgánicos de plomo no se absorben por la piel sana, mientras que los derivados orgánicos, por ser muy liposolubles, pueden absorberse. Solo el tetraetilo de plomo puede ser absorbido a través de la piel intacta. El plomo cruza la barrera placentaria y se acumula en los tejidos fetales durante la gestación. La exposición intrauterina temprana condicionaría bajo peso al nacer, retardo del crecimiento intrauterino, e interferiría en el desarrollo físico y mental del niño en el primer año de vida²⁴. Algunos datos relacionan la exposición prenatal con anomalías congénitas menores²⁴.

Distribución y metabolismo

Una vez absorbido, el plomo pasa a la sangre. El 90 % del plomo circulante está ligado a los hematíes. Su vida media es de unos 35 días.

El segundo compartimento lo forman los tejidos blandos, principalmente el riñón y el hígado. Su vida media biológica es de 41 días²⁴.

El tercer compartimento lo constituye el hueso, que contiene el 90 % del plomo almacenado en el organismo. El plomo finalmente se fija en los huesos, en los cuales forma compuestos muy estables. Este almacenamiento óseo es toxicológicamente importante, porque en situaciones patológicas de acidosis, descalcificación, dieta, etc., se produce una demanda de calcio, el cual se movilizará a partir de los huesos, movilizándose el plomo también, por tener un comportamiento similar al del calcio, y produciéndose cuadros agudos de intoxicación²⁴.

Este proceso se presenta en la mujer gestante que tenga una gran cantidad de plomo almacenado en los huesos; se estima que el hueso puede aportar hasta un 50 % de la concentración de plomo circulante, que atravesaría la placenta y podría lesionar el cerebro del feto en formación²⁴.

Eliminación

El plomo se elimina a través de orina (75 %), heces, bilis (16 %), cabello, lágrimas, saliva y sudor (8 %), así como en la leche materna. El plomo es también excretado a través de la leche y guarda una relación directamente proporcional a su concentración en plasma²².

2.2.4. Toxicodinamia del plomo

Al exponer las fuentes de exposición, se deduce que el plomo está presente en grado variable en el aire, el agua y el suelo. El principal factor de riesgo es la edad. Comienza al año de vida y tiene un pico de mayor riesgo

entre los 18 y los 24 meses, decreciendo gradualmente hasta la adolescencia. Los factores que determinan ese pico de mayor riesgo se deben a que la absorción de plomo es mayor que en el adulto, ya que los niños respiran más aire, beben más agua y comen más alimento con relación a su peso corporal, a lo que se suma la normal actividad del niño de llevarse todo a la boca, permanecer más tiempo cerca del suelo y el hábito de la pica²⁵.

La toxicidad del plomo es consecuencia de la afinidad que tiene este por el grupo sulfhidrilo (SH) de las proteínas, uniéndose en forma irreversible y alterando completamente su función²⁵.

El sistema hematopoyético es el más sensible a los efectos de la exposición, aun en dosis mínimas, siendo la biosíntesis del grupo hem la más afectada²⁵.

La enzima aminolevulínico deshidratasa resulta inhibida progresivamente por el plomo en forma exponencial. Dicha inhibición determina la acumulación del ácido aminolevulínico, que es neurotóxico, probablemente porque interfiere con el GABA en el sistema nervioso central²⁵.

La otra enzima que se inhibe es la ferroquelasa, que cataliza la inserción del hierro dentro del anillo de protoporfirina IX. El resultado es la acumulación de protoporfirina libre en los eritrocitos. El plomo interfiere con la bomba Na-K ATP-asa de la membrana del glóbulo rojo, lo que determina un aumento de la fragilidad y disminución de la sobrevivencia. Otro factor que se suma a la producción de la anemia es la pérdida de eritropoyetina por el túbulo renal, por lo que la producción de anemia es multifactorial²⁵.

El aumento de la protoporfirina libre eritrocitaria y del ácido aminolevulínico en orina son excelentes indicadores de los efectos biológicos de la intoxicación por plomo²⁵.

A cuanto al aspecto gastrointestinal, afecta el músculo liso, produciendo contracciones no propulsivas que determinan estreñimiento y dolores abdominales, siendo la manifestación máxima el cólico saturnino²⁵.

En el sistema nervioso central, el plomo atraviesa la barrera hematoencefálica más fácilmente en niños que en adultos. La exposición es crítica en los dos primeros años de vida, ya que es el período de mayor desarrollo del sistema nervioso central²⁵.

El plomo determina alteraciones permanentes en la arquitectura cerebral, dado que inhibe las enzimas que favorecen la arborización dendrítica, lo que lleva a la disminución del número de sinapsis y a la liberación de neurotransmisores²⁵.

Las consecuencias de la neurotoxicidad van desde retardo mental, alteraciones del comportamiento, déficit intelectual, hiperactividad y retardo escolar. Múltiples estudios demuestran los efectos perjudiciales sobre el comportamiento y la inteligencia en los niños expuestos. Se realizaron dos metaanálisis, los cuales concluyeron que niveles de plomo desde 10 µg/ml a 20 µg/ml determinan una disminución del coeficiente intelectual²⁵.

En el hospital Bellevue de Nueva York se realizó un estudio prospectivo, doble ciego y randomizado para determinar si los bajos niveles de plomo afectan el comportamiento de los niños. Se utilizó el Behavior Rating Scale (BRS). Bajos puntajes en el score reflejan mayores problemas del comportamiento. Los niños expuestos al plomo presentaban 15,8 puntos más bajos que los no expuestos²⁵.

Cabe destacar que los niños con mayor probabilidad de intoxicación están sometidos a otros factores de riesgo neurológico, como pobreza, desorganización familiar, bajo nivel de educación de los padres y malnutrición, en particular la anemia²⁵.

La eliminación del plomo por vía renal es directamente proporcional a la concentración plasmática. Anatómicamente, la lesión es en el túbulo proximal y en el asa de Henle^{25,26}.

Un estudio prospectivo demostró que los niños y adolescentes jóvenes presentaban, luego de 13 años de exposición, síndrome de Fanconi parcial. Al atravesar la placenta, la sangre fetal contiene de 80 a 100 % de la plumbemia materna. La intoxicación materna puede determinar abortos espontáneos y prematuridad, lo que determina aumento de la mortalidad

perinatal. Se demostraron efectos sobre el desarrollo neurológico de los niños de madres intoxicadas^{25,26}. En individuos expuestos se describe una disminución de los niveles de tiroxina por inhibición de la captación de yodo por la tiroides^{25,26}.

2.2.5. Efectos tóxicos del plomo

El Pb puede generar sintomatología clínica en todo el sistema del cuerpo; sin embargo, los más agredidos son los sistemas nervioso, gastrointestinal, renal y hematopoyético; contribuyendo la alteración de este último a una importante palidez que se presenta en los pacientes que sufren de anemia secundaria a la mencionada toxicidad. Los pacientes jóvenes tienden a presentar una sintomatología más marcada que los adultos, y tienen un índice de letalidad mayor²².

Efecto tóxico agudo

La intoxicación aguda es una presentación infrecuente y puede deberse a ingestión de alimentos contaminados o a inhalación masiva de vapores de plomo²².

En niños, la forma más frecuente de presentación es la encefalopatía aguda, que puede aparecer sin pródromos o estar precedida de cólicos abdominales o alteraciones de conducta. Se manifiesta por vómitos persistentes, ataxia, convulsiones intratables, alteración de la conciencia y coma. La mortalidad es aproximadamente del 25 % y los niños que sobreviven quedan con secuelas neurológicas como epilepsia, retardo mental, distonías, atrofia óptica y sordera²².

A nivel renal se produce una insuficiencia aguda por daño tubular y, en ocasiones, se presenta como un síndrome de Fanconi. A nivel gastrointestinal puede presentarse con dolor abdominal y vómitos intensos, que pueden llevar al *shock*²².

Efecto tóxico crónico o plumbismo

Es la forma más frecuente de presentación tanto en niños como en adultos. Los síntomas son inespecíficos, afectando principalmente a los sistemas nervioso, gastrointestinal, renal, hematopoyético y neuromuscular²⁵.

Efecto tóxico neurológico

Los problemas neurológicos se pueden presentar aun en individuos con niveles de plomo en sangre considerados seguros ($< 10 \mu\text{g/dL}$). Individuos sin síntomas, especialmente niños, pueden tener daño neurológico. En los niños, la exposición aguda a dosis altas de plomo puede causar encefalopatía, con la presencia de ataxia, convulsiones, hiperirritabilidad, estupor, coma y muerte. Varios estudios en niños se refieren a diferentes niveles sanguíneos de plomo asociados con encefalopatía, pero un nivel $\geq 70 \mu\text{g/dL}$ indica un riesgo alto de presentar la complicación. Este nivel está asociado con daño neurológico o alteraciones de conducta a largo plazo, aunque el niño aún no presente síntomas y signos de encefalopatía²⁵.

Efecto tóxico gastrointestinal

Las alteraciones en este sistema se producen esencialmente cuando la intoxicación por el metal se da por medio de la ingesta de material rico en este. Es frecuente encontrar enrojecimiento de las mucosas del tracto gastrointestinal, e incluso es posible encontrar una cantidad considerable de ulceraciones en las mismas si la cantidad ingerida ha sido alta.

Es común encontrar la presencia de signos de irritación gástrica, vómito, náuseas y diarrea²⁷; aunque el signo gastrointestinal más preponderante, y prácticamente clásico de la intoxicación del plomo, es el dolor abdominal tipo cólico severo²⁸, el cual puede llegar incluso a confundirse con un cuadro de abdomen agudo quirúrgico²⁹.

En algunos casos, el paciente puede presentarse con heces de color negruzco, signo clínico provocado por dos mecanismos concomitantes: formación de sulfuros de Pb y la posible presencia de sangre en las heces secundaria a ulceraciones del tracto gastrointestinal³⁰.

Un hallazgo clave en el paciente con saturnismo de vieja data es la presencia de una coloración lineal grisácea en la zona gingival, elemento conocido por el nombre de *ribete de Burton*²². Se trata de una línea azul-grisácea delgada provocada por la precipitación crónica de sulfuros de Pb en la mucosa gingival del paciente. A pesar de ser un signo inconstante, aún se considera una pista clínica clave en el paciente que la presenta y que posee, además, factores de riesgo importantes para tener una exposición crónica a la aspiración o ingestión del metal²².

Efecto tóxico renal

La severidad de la exposición al plomo se relaciona directamente con los efectos en el riñón. Una exposición severa por un período breve se asocia con alteraciones reversibles de la función tubular proximal glicosuria, aminoaciduria, hiperfosfaturia. Sin embargo, exposiciones continuas o repetidas pueden conducir a nefropatía crónica (nefritis intersticial), que es generalmente irreversible. No se conoce el nivel mínimo de plomo que causa esta complicación, pero varias comunicaciones indican $> 60 \mu\text{g/dL}$. Tampoco existe alguna prueba de diagnóstico de daño renal temprano. Pero, para evaluar la condición renal, se emplea la creatinina en sangre y la prueba de la depuración de la creatinina²⁵. Algunos estudios encuentran un aumento acelerado de la creatinina o disminución de la depuración de la creatinina cuando los niveles de plomo en la sangre son $< 60 \mu\text{g/dL}$. Los efectos del plomo en ocasiones anteriores, por ejemplo durante la infancia, pueden favorecer la disminución de la función renal o la progresión a la fase crónica. En niños, los efectos renales de la intoxicación aguda parecen reversibles, y la recuperación ocurre generalmente dentro de los dos meses de tratamiento. El tratamiento parece que previene la progresión de la nefropatía

aguda a nefritis intersticial crónica. La enfermedad renal puede mantenerse asintomática hasta sus estadios tardíos, a menos que se la descubra mediante pruebas de laboratorio. La exposición al plomo también puede causar hipertensión arterial de origen renal²⁵. Con la disminución de la función renal, la excreción de ácido úrico disminuye, lo que determina hiperuricemia y síntomas de gota. Un estudio determinó que más de la mitad de los pacientes que sufría de nefropatía relacionada con plomo presentaba síntomas de gota. Los pacientes con este tipo de gota presentan ataques menos frecuentes que los que sufren de la gota clásica. Este tipo de gota puede ocurrir en mujeres de edad reproductiva, lo que es raro en la gota clásica. Los casos de gota por intoxicación por plomo afectan al riñón más frecuentemente, y la complicación es más severa que en los casos de gota clásica²⁵.

Efecto tóxico cardiovascular

La hipertensión arterial está relacionada con varios factores de riesgo; estos factores incluyen edad, peso corporal, dieta y actividad física. La exposición al plomo puede ser otro factor que contribuye al desarrollo de la hipertensión. Aunque la exposición a niveles bajos o moderados de plomo (nivel sanguíneo $< 30 \mu\text{g/dL}$) solo muestra una relación mínima, los niveles más elevados, generalmente relacionados a contactos ocupacionales, aumentan el riesgo de hipertensión arterial y de enfermedad cerebrovascular²⁵.

Comparados con los controles, los adultos que sufrieron de envenenamiento con plomo durante la infancia tienen un riesgo mayor de hipertensión. Esta asociación también ha sido encontrada en estudios de población con niveles de plomo en sangre $< 30 \mu\text{g/dL}$. Se estima que la intoxicación con plomo causa hasta el 2 % de casos de hipertensión arterial²⁵.

Efecto tóxico reproductor

La exposición al plomo causa disminución de la cuenta total y aumento en la proporción de espermatozoides normales. Los efectos comienzan con niveles de alrededor de 40 $\mu\text{g}/\text{dL}$. La exposición crónica, aparte del efecto de una exposición aguda, también disminuye la concentración, cuenta total y motilidad de los espermatozoides. Se desconoce la duración de estos efectos nocivos, después de que cesa la exposición al plomo. No se conoce con certeza si el plomo a niveles bajos afecta el resultado de los embarazos, pero existe una asociación clara entre la exposición a nivel ocupacional y las consecuencias en el embarazo. Algunos estudios, que comparan a mujeres embarazadas con niveles sanguíneos más elevados de plomo que viven cerca de fundiciones con otras que viven lejos, muestran aumento de la frecuencia de abortos espontáneos, muertes fetales y partos prematuros. Pero no todos los estudios encuentran esta asociación²⁵.

Efecto tóxico hematológico

La presencia del plomo disminuye la producción del núcleo heme, lo que afecta la habilidad del organismo de producir hemoglobina. El plomo inhibe la dehidratasa del ácido d-amino levulínico y la actividad de la ferroquelatasa. La ferroquelatasa cataliza la inserción del hierro a la protoporfirina IX y es muy sensible al efecto del plomo. Con la disminución de la actividad de esta enzima aumenta la protoporfirina del glóbulo rojo. En presencia del plomo, aumenta el ácido diaminolevulínico en sangre y plasma, así como la protoporfirina libre. Se estima que un nivel de plomo en sangre de 50 $\mu\text{g}/\text{dL}$ en adultos con exposición ocupacional y de alrededor de 40 $\mu\text{g}/\text{dL}$ en niños, representa el umbral de anemia, aunque otros estudios en niños sugieren un umbral más bajo 25 $\mu\text{g}/\text{dL}$ ²⁵.

El plomo puede causar dos tipos de anemia, a menudo acompañadas con inclusiones basófilas de los eritrocitos jóvenes. Una exposición severa aguda se asocia con anemia hemolítica. La anemia no es una manifestación temprana de la intoxicación con plomo, solo se hace evidente con exposiciones altas y prolongadas. En casos de exposición crónica, el plomo produce anemia, porque interfiere con la síntesis del núcleo heme y disminuye el promedio de vida de los eritrocitos. La anemia es hipocrómica y normocítica o microcítica asociada a reticulocitosis. La alteración de la síntesis del núcleo heme también afecta otros procesos biológicos de los sistemas nervioso, renal, endocrino y hepático²⁵. En niños existe una correlación inversa entre los niveles de plomo en la sangre y los niveles de vitamina D. El plomo previene la conversión de la vitamina D a 1, 24-dihidroxitamina D. Esta hormona, que mantiene el equilibrio del calcio intracelular y extracelular, además puede limitar el crecimiento, la maduración y el desarrollo de huesos y dientes. Estos efectos son evidentes en casos de exposición crónica con niveles sanguíneos elevados (62µg/dL) y desnutrición crónica, especialmente relacionada a deficiencia de calcio, fósforo y vitamina D²⁵.

Efecto tóxico bucal

Ribete de Burton (línea de Burton o línea gingival del plomo)

Línea ploma que se forma a nivel del margen gingival causado por la intoxicación por plomo^{37,41}, debido a la eliminación del plomo por la saliva. En individuos muy expuestos, con una higiene dental insuficiente, la reacción de los iones de plomo que circulan con el azufre liberado por la actividad microbiana oral puede provocar también la deposición de sulfuro de plomo en la interfaz del diente y la encía³¹.

Caries dental

Las lesiones cariosas presentes en dentición decidua están relacionadas con la contaminación del plomo en el medioambiente, por la exposición que tuvieron desde la etapa prenatal⁴.

Sin embargo, otros estudios dicen que la caries dental no tiene relación con la contaminación por plomo¹⁰.

2.2.6. Biomarcadores del plomo

Los estudios de efectos de sustancias químicas sobre la salud logran evaluar el riesgo de la población expuesta y constituyen el primer paso para fijar las normas ambientales para un contaminador químico presente en un medio. Es por eso que es importante conocer la solidez y las limitaciones de los datos toxicológicos, así como las informaciones provenientes de estos estudios¹.

Los biomarcadores indican la exposición pasada o reciente; diferentes tipos de biomarcadores para el plomo fueron mencionados en la literatura, entre los cuales están sangre y plasma, hueso, saliva, cabello, uña, orina, dientes¹.

Plomo en sangre y plasma

Los biomarcadores de efecto están correlacionados como producto de biosíntesis de heme inhibidos por el plomo. En casos de exposiciones a altas dosis, estos biomarcadores son ventajosos ($> 25 \text{ Ug/dL}$)¹.

Los determinantes de plomo en sangre normalmente son mediante la espectrometría de absorción atómica con horno de grafito (GF-AAS)¹.

La OMS ha establecido un límite máximo de 20 ug/dL para la población adulta; en caso de niños, que son más susceptibles a los efectos de plomo, este límite es de 10 ug/dL ^{1,32}.

Plomo en hueso

El hueso, así como la sangre, puede ser utilizado como biomarcador. La concentración encontrada debe ser correlacionada con la intensidad y el período de exposición al metal^{1,33}.

El plomo en sangre es incorporado en tejidos calcificados como huesos y dientes, y puede permanecer por años. La media vida de plomo en hueso puede durar de 10 a 30 años. EL plomo en tejidos calcificados va a depender del tipo de hueso, que puede ser compacto o trabeculado. La desventaja es la necesidad de procedimientos invasivos. Actualmente los procedimientos no invasivos pueden ser muy costosos, como la fluorescencia de rayos X^{1,33}.

Plomo en saliva

La saliva ha sido propuesta como biomarcador debido a algunos factores, como la facilidad de su recolección. La saliva presenta grandes reacciones en su concentración de iones a lo largo del día. Las reacciones también dependen de la manera en la cual la saliva es recolectada (su estímulo y nivel de nutrición y hormonal de cada individuo)^{1,33,39}.

Plomo en dentina

Herbert Needleman fue uno de los primeros en estudiar los efectos del plomo en la salud de niños. La incorporación de plomo a la hidroxiapatita de dentina acontece por el reflujo de los niveles del plomo en sangre durante su mineralización³⁵.

La dentina de dientes deciduos evidencia la exposición durante la fase de la primera infancia, en la cual la contaminación por objeto es una de las mayores fuentes de contaminación. Después, la dentina continúa siendo depositada en un ritmo más lento y durante toda la vida del individuo^{1,35}.

Plomo en esmalte dental

Un aspecto valioso e interesante de la medida del plomo en el esmalte es su capacidad de analizar la exposición al plomo. Los dientes son compuestos por tejidos distintos, los cuales se forman en diferentes períodos; por eso sus partes pueden reflejar diferentes estadios de vida del individuo. Por ejemplo, el esmalte de dientes deciduos y parte del esmalte de dientes permanentes son formados en el útero, factor que puede proveer información de exposición prenatal al plomo. Esta información es valiosa para determinar la relación causa-efecto de las anomalías embrionarias, particularmente tratándose de disfunción neurotóxica¹.

El interés de utilización del esmalte como biomarcador del plomo es cada vez mayor, ya que las muestras son de fácil recolección, por medio de la biopsia del esmalte, técnica introducida por Brudevold en 1975³³, que utiliza una muestra de dos minerales del esmalte, obteniendo por ataque ácido e identificando el porcentaje de fósforo mediante la técnica de colorimetría (para determinar la cantidad de hidroxiapatita), obteniendo la profundidad de la biopsia, para determinar el porcentaje de plomo en la cantidad de muestra obtenida^{1,35}.

2.3. Terminología básica

Toxicidad. Grado de virulencia de una toxina o sustancia venenosa⁴⁰.

Ug/gr. El microgramo es una unidad de masa que equivale a la millonésima parte de un gramo. Se emplea en los análisis químicos cuantitativos para medir pequeñas cantidades que tiene una muestra⁴².

Ribete de Burton. Línea oscura de color grisácea que se presenta entre el cuello del diente y la encía, formada por depósitos de sulfuro de plomo. Se presenta en intoxicación crónica por plomo¹⁴.

Plomo. Metal gris, blando y maleable que se obtiene mediante fundición o refinamiento de las minas o, secundariamente, por el reciclamiento de los materiales de desechos que lo contengan. Este metal se encuentra

ampliamente distribuido en el ambiente, ya sea en yacimientos naturales o debido a su amplia utilización en la industria¹⁴. No juega ningún papel en la fisiología humana, por lo que el nivel plasmático ideal debería ser cero. En la actualidad es prácticamente imposible encontrar alguna persona en la que no se detecten niveles de plomo en sangre¹⁵.

2.4. Variables

VARIABLE	INDICADOR	TIPO	ESCALA	DIMENSION
Concentración de plomo (V. independiente)	Niveles de plomo en esmalte dental superficial	Numérica continua	Intervalo	Presencia del plomo: Leve: 0 – 5.00 µg/g Moderada: 5.01- 10.0 µg/g Severa: 10.01µg/g – a más
Edad (v. de control)	Que presente uno de los incisivos antero superiores	Numérica discreta	Razón	4 - 5 años 5 - 6 años
Género (v. de control)	Caracteres sexuales externos	Categórica	Nominal	Masculino Femenino

III. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Tipo y nivel de investigación

Estudio observacional, descriptivo, prospectivo de corte transversal.

3.2. Población y muestra

Población

Niños del centro poblado de Quichas, Oyón. El total de niños de 4 a 6 años de edad es de 80.

Muestra

Muestreo no probabilístico por conveniencia.

Criterios de inclusión

- Niños que tengan por lo menos un incisivo central superior decíduo en boca.
- Niños que presenten el consentimiento y asentimiento informado firmado.
- Niños de 4 a 6 años de edad.

Criterio de exclusión

- Niños que tengan los dos incisivos centrales superiores permanentes en boca.
- Niños que tengan el incisivo central superior deciduo fracturado.
- Niños con lesión cariosa en el incisivo central superior deciduo.

3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Una vez definida la técnica de microbiopsia en esmalte dental, se contactó con un perito de ingeniería química de la Dirincri, buscando el laboratorio para el análisis de la concentración de plomo, con especialistas de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos y, finalmente, con el laboratorio N.º 12 de la Facultad de Ingeniería Química a la Universidad Nacional de Ingeniería, para la elaboración de los reactivos y el laboratorio N.º 13 Labicer de la misma facultad, para el análisis de la concentración de plomo en dentición decidua. Se hicieron las coordinaciones con los ingenieros químicos para el entendimiento del procedimiento del análisis de plomo y la elaboración de los reactivos químicos.

La presente investigación contó con el apoyo económico y el respaldo de la ONG Fondo Perú.

Con la carta de presentación de la Universidad Norbert Wiener, se visitó el centro educativo 20069 del centro poblado de Quichas, en cuyas aulas estudian casi todos los niños del lugar; se realizaron todas las coordinaciones con las respectivas autoridades y, a los tres días, se efectuó una reunión con los padres de los niños, que querían estar bien informados sobre el análisis; también se acordó la fecha para la ejecución de la toma de muestra, con la finalidad de evitar la inasistencia de los niños.

3.3.1. Recolección y técnica de microbiopsia del esmalte *in vivo* en dientes deciduos

Para realizar el examen bucal y los procedimientos de biopsia, los padres firmaron un consentimiento informado y los niños un asentimiento informado.

La técnica se llevó a cabo de forma ambulatoria y consistió en lo siguiente: se realizó el examen bucal con un equipo de diagnóstico. Luego se procedió a realizar el procedimiento de la biopsia. La pieza dentaria que se utilizó fue uno de los incisivos centrales superiores deciduos presentes en boca. Se realizó una profilaxis con micromotor, escobilla y pasta profiláctica, luego se lavó con agua y se secó con gasas estériles. Se realizó el aislamiento relativo con rodetes de algodón. Luego se procedió a demarcar el área de la biopsia con una cinta adhesiva (810 scotch, 3M) con una perforación de 4,00 mm, siendo firmemente adherida a la porción central de la cara vestibular del diente.

En la zona de la demarcación se depositó con una micropipeta (automática) 5 ul de solución de HCL al 1,6 en glicerol al 70 % (v/v), y se agitó con una punta de pipeta durante 20 segundos; luego, la solución de la microbiopsia se aspiró y transferió a un tubo de colección (tubo tipo Eppendorf) conteniendo 200 ul de agua ultrapura (MILI Q). Luego se aplicó por 10 segundos 5 ul de solución de glicerol al 70 % en el área de la biopsia, lo que también se aspiró y adicionó a la solución de la microbiopsia, siendo transferido al mismo tubo de colección.

Finalizando el procedimiento, la cinta adhesiva se removió y se lavó el diente con agua. Luego se procedió a fluorizar a todos los niños con flúor neutro en gel.

3.3.2. Análisis químicos

Para determinar la profundidad de la biopsia se eligieron cuatro muestras al azar para la determinación de fósforo. La muestra se dividió en dos mitades, una utilizada para el dosaje de fósforo y otra para el dosaje de plomo.

Para determinar el grosor del esmalte removido durante la biopsia se realizó el dosaje en concentraciones de fósforo inorgánico (PI) del esmalte en solución.

Determinación de fósforo

Para determinar el grosor del esmalte removido durante la biopsia, se dosificó en concentraciones de fósforo inorgánico (IP) del esmalte en solución.

Las concentraciones de fósforo que están presentes en la muestra se determinaron por medio del colorímetro de Fisk Y Subbarow (1925), cuyo principio es que el fósforo de fosfatos minerales sea transformado en fosfomolibdato, el cual en seguida es reducido por el ácido alfa-amino-naftol sulfúrico.

Luego, se pipeteó 30 ul de muestra y se agregó 220 ul de agua desionizada, 50 ul de ácido molibdico. Se agitó por 10 minutos, adicionando 20 ul de reactivo reductor. Nuevamente se agitó y, después de 20 minutos, la intensidad de color se midió en un lector de Elisa con una onda de 660 nm y paralelo. Se calibró con muestras que presentan concentraciones conocidas de fósforo: 0 ug/ml, 1 ug/ml, 2ug/ml, 4ug/ml, 8ug/ml, utilizada para la realización de la curva de calibración.

Determinación del plomo

El análisis de plomo se realizó en la facultad de ciencias N.º 12 (Labicer) de la Universidad Nacional de Ingeniería por espectrofotometría de absorción atómica (Shimadzu AA-700) con horno de grafito.

3.4. Procesamiento de datos y análisis estadístico

En la primera etapa se realizó el análisis de las variables en estudio, con la finalidad de determinar las pruebas estadísticas más adecuadas.

El contraste de normalidad de las concentraciones de plomo confirma que la distribución de las concentraciones de plomo no se da de modo normal ($p < 0,05$), por lo que será necesario aplicar la transformación logarítmica, con la finalidad de normalizar la variable y poder utilizar las pruebas paramétricas t de student de comparación de dos muestras independientes (masculino y femenino), el análisis de varianza Anova y el test de comparaciones múltiples de Duncan, para comparar las concentraciones de plomo según edades (4, 5 y 6).

El nivel de significancia utilizado en las pruebas de hipótesis fue de 5 %, y el análisis estadístico se realizó con el paquete estadístico SPSS, versión 22.

3.4.1. Profundidad de la biopsia

La concentración de fósforo utilizada para el cálculo de la profundidad de esmalte removido se expresará en μm ; la cantidad de plomo, en $\mu\text{g/g}$.

Por estudios previos se sabe que el esmalte humano está formado por cristales de hidroxiapatita ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$). La hidroxiapatita, ingrediente principal del esmalte, contiene 17,4 % de fósforo (Lazzari, 1976) y 37,1 % de Calcio (Brudevold *et al.*, 1956), en peso. El esmalte posee una densidad de 2,95 g/ml (Weidmann *et al.*, 1967).

A partir de estos resultados, se calculó la cantidad de esmalte removido y la profundidad de la capa de la biopsia.

La profundidad se calculó usando la fórmula del volumen del cilindro, figura geométrica que se asemeja a la porción de esmalte removido.

En esta figura, la profundidad equivale a la altura del cilindro y se obtiene a partir de la fórmula siguiente:

$$h = \frac{m}{\pi r^2 d}$$

Donde

h: Altura de cilindro (profundidad de la biopsia).

d: Densidad del esmalte (2,95g/mL).

m: Masa del esmalte.

r: Radio de la biopsia.

π: 3,1416.

Análisis log-log

Para comparar la concentración de plomo en las muestras de esmalte superficial proveniente de los dientes deciduos recolectados, fue necesario definir una ecuación que permita calcular la concentración de plomo en una misma profundidad. En esta ecuación la variable independiente, “x”, representa la profundidad, y esta expresada en μm . La variable dependiente, “y”, representa la concentración de plomo medido en $\mu\text{g/g}$. La ecuación es dada por la siguiente fórmula:

$$y = \alpha \cdot x^\beta$$

Donde α y β son constantes a ser estimadas a partir de los datos.

Con la finalidad de realizar el ajuste, se aplica una transformación logarítmica a ambos miembros de la ecuación anterior, de modo que se obtiene la ecuación de una recta:

$$\ln(y) = \ln(\alpha) + \beta \ln(x)$$

El modelo ajustado es:

$$\ln(y) = 1.801 - 0.065 \ln(x)$$

Aplicando la transformación inversa se tiene la ecuación ajustada:

$$Y = 6.055 \cdot x^{-0.065}$$

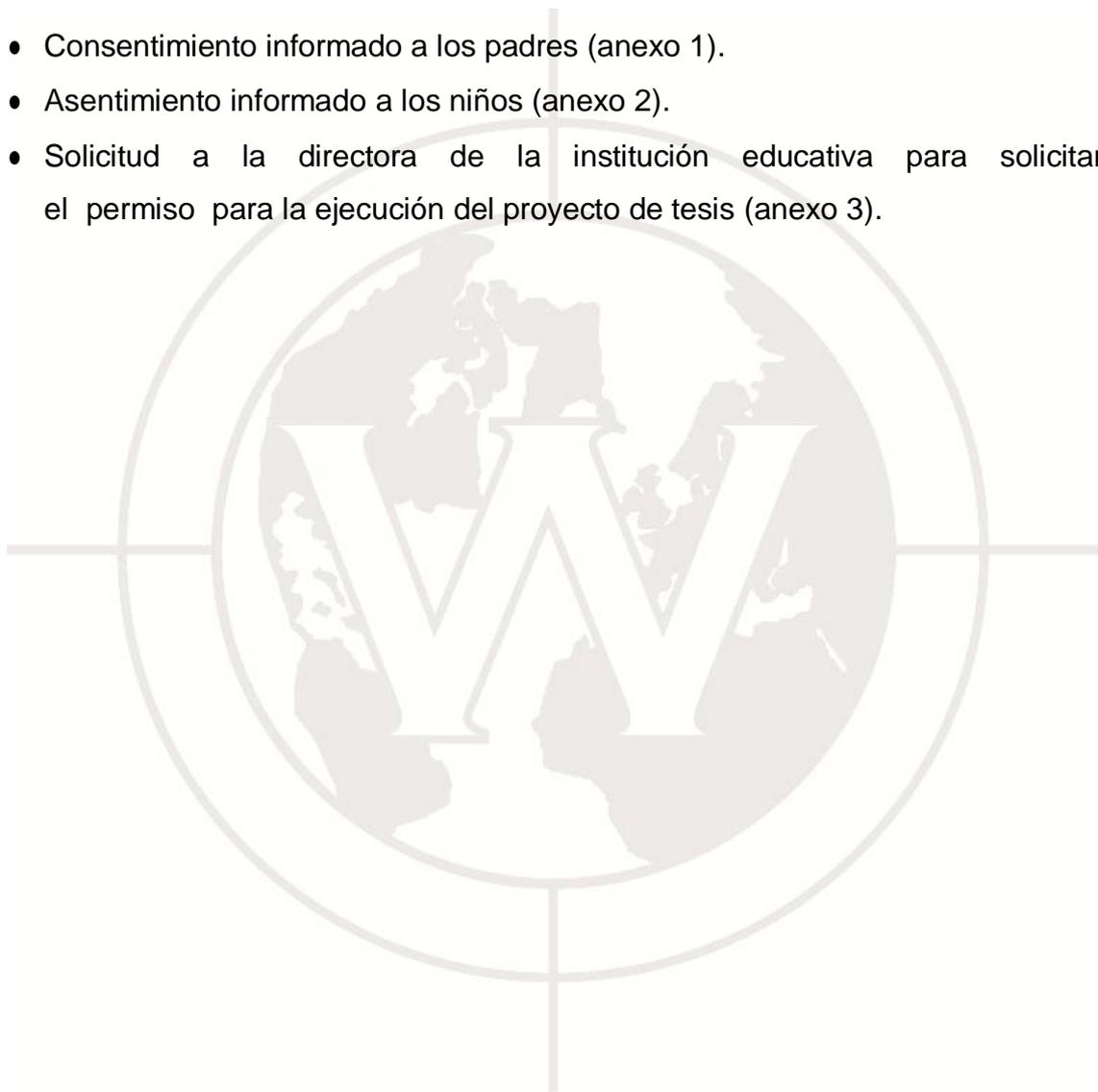
Donde se obtiene que, para una profundidad media de 0,001 en μm , se tiene que la concentración de plomo en los dientes deciduos sería de 9,49 en $\mu\text{g/g}$.

3.5. Aspectos éticos

El presente trabajo no afecta en ningún sentido la salud bucal y general de los niños evaluados; por el contrario, esta investigación ayuda a determinar la presencia y el nivel de concentración de plomo en los niños del centro poblado de Quichas.

Para la ejecución de la investigación se contó con lo siguiente:

- Consentimiento informado a los padres (anexo 1).
- Asentimiento informado a los niños (anexo 2).
- Solicitud a la directora de la institución educativa para solicitar el permiso para la ejecución del proyecto de tesis (anexo 3).



IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados

Tabla 1. *Análisis de concentración de plomo en esmalte dental de dientes deciduos analizada en 35 niños y niñas*

TOTAL	MASCULINO	FEMENINO
35	20	15

Gráfico 1. Porcentaje de edad de los niños del centro poblado de Quichas, Oyón

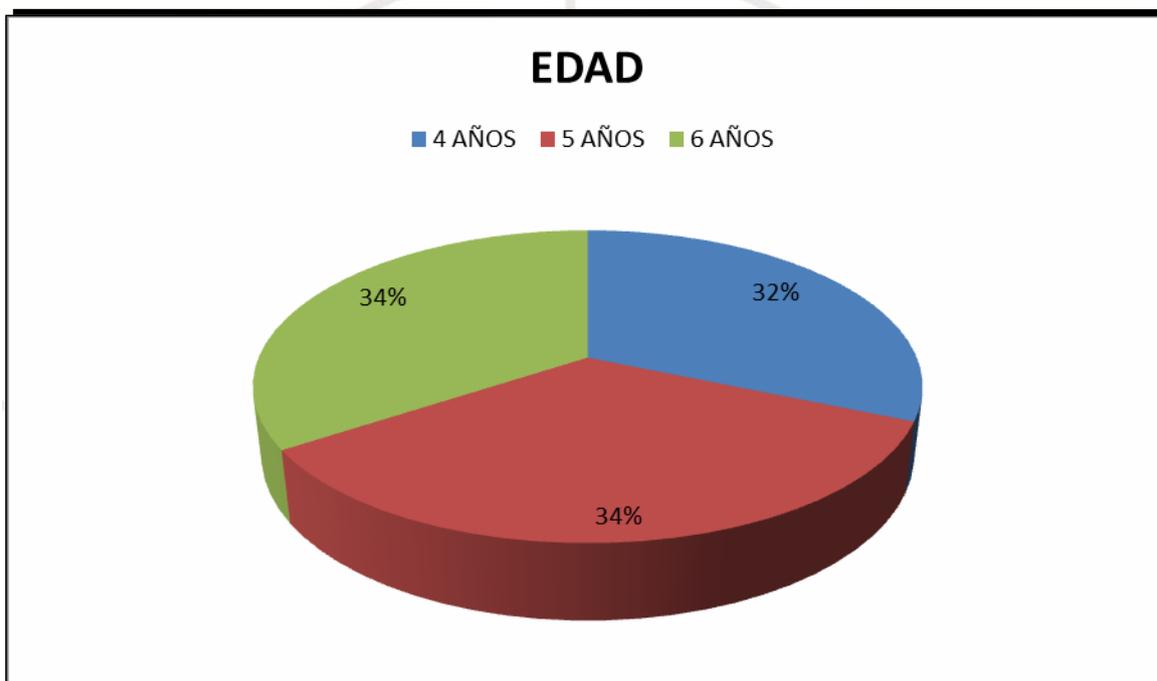


Tabla 2. Presencia de plomo en esmalte dental deciduo en niños del centro poblado de Quichas, Oyón, octubre 2013

Presencia de plomo	N.º	%
Sí	35	100%
No	0	0%
Total	35	100%

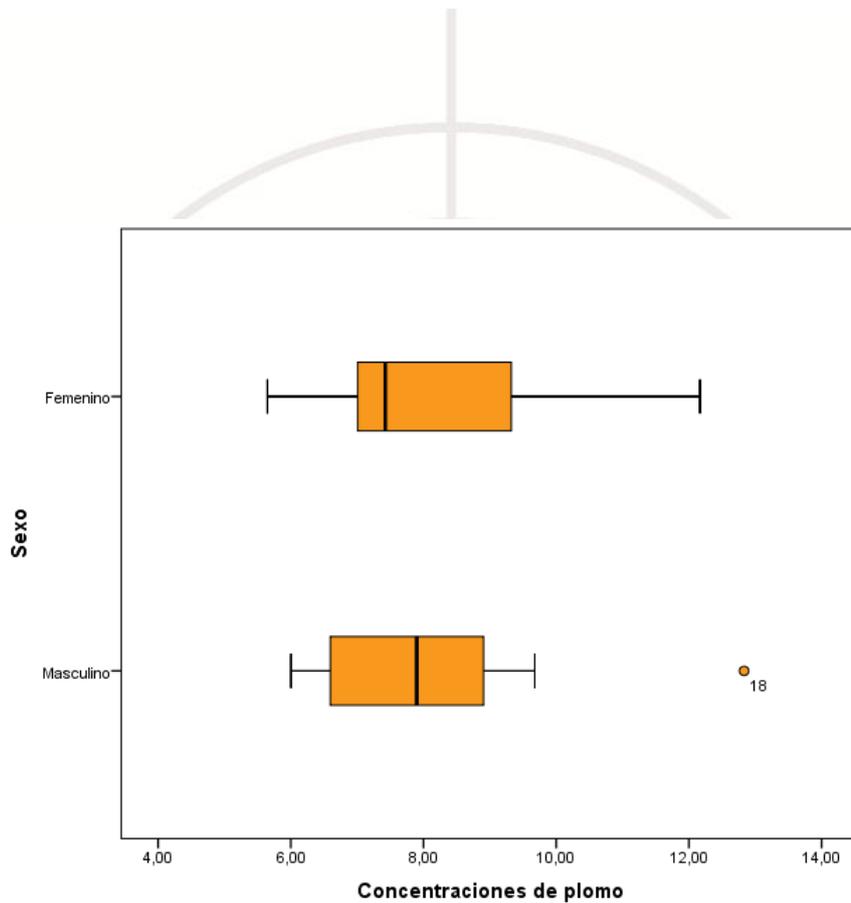
Gráfico 2. Presencia de plomo en esmalte dental deciduo en niños del centro poblado de Quichas, Oyón, octubre de 2013



Tabla 3. Concentraciones de plomo en esmalte dental deciduo en niños del centro poblado de Quichas, Oyón según género, octubre de 2013

CARACTERÍSTICAS DE GENERO	INDICADORES DESCRIPTIVOS					
	Media	Desv. típ.	Mediana	Mínimo	Máximo	Muestra
Masculino	8,07	1,62	7,90	6,00	12,83	20
Femenino	8,01	1,79	7,42	5,65	12,17	15

Gráfico 3. Concentración de plomo en esmalte dental deciduo en niños del centro poblado de Quichas, Oyón según género, octubre de 2013

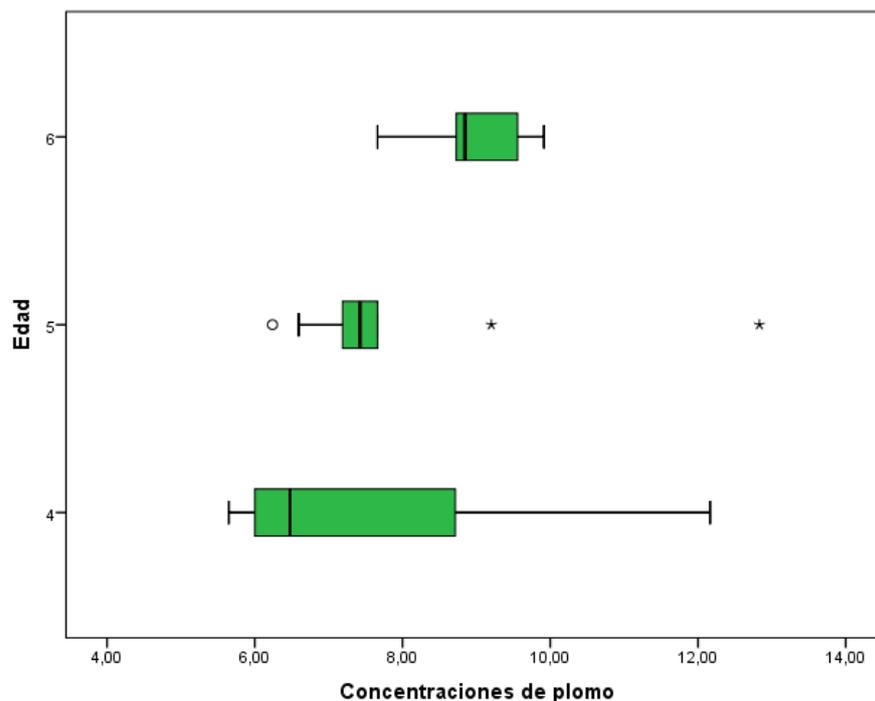


En el gráfico 3 se puede observar que la mediana de las concentraciones de plomo en los dientes de los niños es ligeramente mayor, aunque la aplicación de la prueba t de student para la comparación de las concentraciones promedio de ambos grupos indica que estas diferencias no son estadísticamente significativas.

Tabla 4. Concentraciones de plomo en esmalte dental deciduo en niños del centro poblado de Quichas, Oyón octubre de 2013

EDAD	INDICADORES DESCRIPTIVOS					
	Media	Desv. típ.	Mediana	Mínimo	Máximo	Muestra
4 años	7,41	2,16	6,48	5,65	12,17	10
5 años	7,77	1,61	7,42	6,24	12,83	14
6 años	8,98	0,70	8,85	7,66	9,91	11

Gráfico 4. Concentraciones de plomo en esmalte dental deciduo en niños del centro poblado de Quichas, Oyón, según edad, octubre de 2013



En la figura 4 se puede observar que existe una mayor variabilidad en las concentraciones de plomo en los niños y niñas de 4 años; además, las medianas de las concentraciones son mayores a medida que aumenta la edad de niños y niñas.

El análisis de varianza y la prueba de comparaciones múltiples de Duncan confirman que los niños y niñas de 6 años presentan concentraciones de plomo significativamente mayores comparados con los que tienen 4 y 5 años ($p < 0,05$); mientras que entre los que tienen 4 y 5 años las diferencias no son significativas.

Tabla 5. Concentraciones de plomo en esmalte dental deciduo en niños del centro poblado de Quichas, Oyón, según severidad, octubre de 2013

Severidad	Concentración del plomo según severidad		
	N.º	Porcentaje	(p)
Moderado	32	94,3	0,276
Severo	2	5,7	

Gráfico 5. Concentraciones de plomo en esmalte dental deciduo en niños del centro poblado de Quichas, Oyón, según severidad, octubre de 2013



Para analizar la concentración de plomo en dientes deciduos según la severidad se categorizaron las concentraciones como moderada ($5 \mu\text{g/g}$ - $10 \mu\text{g/g}$) y severa (más de $10 \mu\text{g/g}$). Se encontró un porcentaje moderado de 94,3 % y un 5,7 % de niños y niñas con concentración moderada.

4.2. Discusión

La presente investigación que se encontraron muestras de concentración de plomo en esmalte dental deciduo en los niños del centro poblado de Quichas similares a la media de 7,41 $\mu\text{g/g}$, 7,77 $\mu\text{g/g}$ y 8,98 $\mu\text{g/g}$ en niños de 4, 5 y 6 años, como Winneke *et al.* en Alemania, quienes revelaron una concentración media de plomo en diente de 4,6 $\mu\text{g/g}$ para una muestra de 456 niños; Rabinowitz *et al.*, en Taiwán, que obtuvieron una concentración de 4,3 $\mu\text{g/g}$ para una muestra de 862 dientes.

Con relación a la concentración de plomo según género, no se encontraron diferencias significativas entre ambos, similar a lo encontrado en la investigación de Aparecida S. (2012), quien evaluó niños entre 5 y 12 años de edad en Brasil; sus resultados evidenciaron que no hubo correlación entre las edades, género, dentición decidua y dentición permanente.

La severidad de la concentración de plomo evaluado en los dientes deciduos de los niños del centro poblado de Quichas fue de 94,3 % en niños y niñas, siendo similar a los valores encontrados en la investigación de Guerra S. (2007), quien analizó datos de un estudio anterior para determinar la relación del plomo con la zona donde residen, encontrando niveles de plomo en la superficie del esmalte en las primeras seis micras. Se reveló el alto porcentaje en niños expuestos a altos niveles de plomo.

Sin embargo, se encontró relación directa estadísticamente significativa entre edad y concentración, con una media de 7,41 $\mu\text{g/g}$, 7,77 $\mu\text{g/g}$ y 8,98 $\mu\text{g/g}$ en niños de 4, 5 y 6 años de edad. La concentración de plomo obtenida en el presente trabajo es baja, en comparación con el estudio de Mackie *et al.* (Inglaterra, 1977), quienes obtuvieron valores de 11,8-6,63 $\mu\text{g/g}$ para una muestra de 1392 niños.

Aguinaga A. *et al.* (1990) evaluaron el plomo en dientes en 441 niños de entre 7 y 9 años de Pamplona, Colombia. La concentración media del plomo fue de 2,6 $\mu\text{g/g}$, siendo los valores máximo y mínimo 10,4 y 0,24 $\mu\text{g/g}$, respectivamente. Estos resultados son diferentes en comparación con los resultados hallados en esta investigación, en la que la media es de 7,41 $\mu\text{g/g}$, 7,77 $\mu\text{g/g}$ y 8,98 $\mu\text{g/g}$, con un valor máximo de 12,17, 12,83 y 9,91, y un mínimo de 5,65, 6,24 y 7,66 para los niños y niñas de 4, 5 y 6 años de edad, respectivamente.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Se encontró que el 100 % de los niños evaluados presentaron algún nivel de plomo en esmalte dental deciduo.
- En la concentración del plomo en esmalte dental en dentición decidua en niños del centro poblado de Quichas, Oyón, octubre de 2013, según género, se encontró que la mediana fue de 7,90 y de 7,42 para género masculino y femenino, respectivamente; sin embargo, los valores no presentan diferencias estadísticamente significativas.
- Al identificar la concentración del plomo en esmalte dental en dentición decidua en niños del centro poblado de Quichas, Oyón, octubre de 2013, según edad, se observó que existe una mayor variabilidad en las concentraciones de plomo en los niños y niñas de 4 años; además, las medianas de las concentraciones son mayores a medida que aumenta la edad de niños y niñas.
- El análisis de varianza Duncan confirma que los niños y niñas de 6 años presentan concentraciones de plomo significativamente mayores, comparados con los que tienen 4 y 5 años ($p < 0,05$). Entre los que tienen 4 y 5 años las diferencias no son significativas.

Al evaluar la concentración del plomo en esmalte dental en dentición decidua en niños del centro poblado de Quichas, Oyón, octubre de 2013, según severidad, se encontró 94,3 % de niños en el rango de moderado ($5 \mu\text{g/g}$ - $10 \mu\text{g/g}$) y 5,7 % de niños en el rango de severo ($10 \mu\text{g/g}$ a +).

5.2. Recomendaciones

- Se recomienda la ampliación de estudios con un grupo control que no viva en zonas aledañas a centros mineros.
- Se recomienda ampliar los estudios de niveles de plomo en esmalte dental y sangre.
- Se recomienda realizar investigación determinando niveles de plomo en saliva.
- Se recomienda investigar los niveles de plomo en esmalte dental y su relación con la anemia de Fanconi.
- Se recomienda comparar la relación de lesión cariosa y niveles de plomo en esmalte dental.
- Se recomienda relacionar los niveles de plomo en esmalte dental y la desnutrición.
- Se recomienda relacionar los niveles de plomo en esmalte dental con el rendimiento escolar.
- Se recomienda evaluar el plomo en esmalte dental permanente.
- Se recomienda hacer investigaciones en las demás poblaciones que residen cerca a otros centros mineros.
- Se recomienda, en base a los preocupantes resultados obtenidos, elaborar un proyecto de ayuda a la población de Quichas, con el objetivo de mejorar la salud de los niños y su calidad de vida.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Aparecido S. S. (2012). *Concentración de plomo en dientes de niños con alteraciones neurológicas*. Facultad de Odontología (Odontopediatría), USP; 95:11.
2. Astete J., Cáceres W., Gastañaga M., Lucero M., Sabastizágal I., Oblitas T. *et al.* (2009). “Intoxicación por plomo y otros problemas de salud en niños de poblaciones aledañas a relaves mineros”. *Rev. Perú. Med. Exp Salud Pública*; 26(1):15-19.
3. Espindola L. S. (2004). *Prevalencia de defectos del esmalte en dentición decidua y factores maternos infantiles asociados*. Universidad Federal de Santa Catalina.
4. Moss M.E., Lanphear B. P. y Auinger P. (2011). *Asociación de la caries dental y los niveles de plomo en sangre*. JAMA, junio 23/30, 1999; 281(24). Disponible en jama.ama-assn.org
5. Costa A. G., Sousa G. C., Souza L. G. y Tanus S. J. (2011). “El plomo contenido en la superficie del esmalte de los dientes deciduos y permanentes, sangre completa y saliva en niños de 6 a 8 años de edad”. *Science of the Total Enviromental*; 409(10).
6. Kaneshiro O.K., Naozuka J., Olivera V. P., Alves C. M., Henriques B. E. y Risso G. W. (2010). “Asociación de niveles de plomo en el esmalte dental con factores de riesgo de la exposición ambiental”. *Rev. Salud Pública*; 44(5). São Paulo.

7. Habercam J. W., Keil J. E., Reigart R. J. y Croft W. (1974). "Contenido de la sangre, cabello y diente deciduo humano: Ejecución de la correlación con los factores ambientales y el crecimiento. *J Dent Res*; 53:1160.
8. Guerra S. C. (2007). *Utilización de altiplano y concentración de plomo en esmalte deciduo que permite identificar niños contaminados*. Universidad de São Paulo.
9. Costa A. G., Pereira S. M., Sousa M. R. y Rabelo B. M. (2007). "El plomo contenido en la superficie del esmalte de los dientes de leche en muestras *in vivo* en niños en áreas contaminadas y no contaminadas con plomo". *Ciencias del Medio Ambiente*; 104(3).
10. Gomes V. E., Wada R. S., Aparecido C. J. y Rosario de Sousa M. (2004). "Concentración de plomo en el esmalte de los dientes de leche y la presencia de los defectos en el esmalte y su relación con la caries dental en niños en edad preescolar". *Rev Salud Pública*; 38(5):716-22.
11. Báez A., Belmont R., García R. y Hernández J. (2004). "Cadmio y nivel de plomo en dientes deciduos de niños que viven en la ciudad de México". *Rev. Int. Contam. Ambient*; 20(3):109-115.
12. Paterson I. J., Raab G. M., Hunter R., Laxep D. P. H., Fultron M., Fell G. S. y Halls D. J. (1988). "Factor influencing lead concentrations in shed deciduous teeth". *Science of the Total Environment*; 74:219-233.
13. Espindola L. S. (2004). *Prevalencia de defectos del esmalte en dentición decidua y factores maternos infantiles asociados*. Universidad Federal de Santa Catalina.

14. Valdivia I. M. (2005). "Intoxicación por plomo". *Rev. Soc. Per. Inter*; 18(1).
15. Ascione I. A. (2001). "Intoxicación por plomo en pediatría". *Arch Pediatr Urug*; 72(2):133-138. Uruguay,
16. Padilla Magunazelai A., Rodríguez-Sierra Huguet N. y Martínez Castillo A. (1999). *Protocolo de vigilancia sanitaria específica de plomo*. Madrid: Ministerio de Sanidad y Consumo.
17. Saito H., Mori L., Ogawa Y. y Hirata M. (2006). "Relationship Between Blood Lead Level and Work Related Factors Using the NIIH Questionnaire System". *Ind Health*; 44:619-628.
18. Anderson H. A. y Islam K. M. (2006). "Trends in Occupational and Adult Lead Exposure in Wisconsin 1998-2005". *WMJ*; 105:21-25.
19. Herman D. S., Geraldine M. y Venkatesh T. (2007). "Evaluation, Diagnosis and Treatment of Lead Poisoning in a Patient with Occupational Lead Exposure: A Case Presentation". *J Occup Med Toxicol*; 2:7.
20. Menezes G., Souza H. S. y Venkatesh T. (2003). "Chronic Lead Poisoning in Adult Battery Worker". *Occup Med. (Lond)*; 53:476-478.
21. Olivero-Verbel J., Duarte D., Echenique M., Guette J., Johnson-Restrepo B. y Parsons P. J. (2007). "Blood Levels in Children Aged 5-9 Years Living in Cartagena, Colombia". *Sci Total Environ*; 372:707-716.
22. Balparda A. J. (2008). "Intoxicación por plomo: una revisión con énfasis en la población pediátrica". *Rev. Ces. Med.*; 22(1):43-58.
23. Sepúlveda V. (2000). *Exposición a plomo ambiental en población infantil de la ciudad de Antofagasta aledaña a acopios de concentrado de este mineral*. Antofagasta.

24. Hermoza H. J., Lomparte H. C. (2006). *Determinación toxicológica del plomo en leche de madres lactantes del Centro de Salud San Juan Bosco de la Provincia Constitucional del Callao*. Perú.
25. Poma P. (2008) (Intoxicación por plomo en humanos. *An. Fac. Med.*; 69(2). Lima.
26. Lanphear B. P., Dietrich K. N. y Berger O. (2003). "Prevention of lead toxicity in US children". *Ambul Pediatr*, 3:27-36.
27. Shiri R., Ansari M., Ranta M. y Falah-Hassani K. (2007). "Lead Poisoning and Recurrent abdominal Pain". *Ind Health*; 45:494-496.
28. Van der Klooster J. M. (2004). "A Medical Mystery: Lead Poisoning". *Singapore Med J.*; 45:497-499.
29. Córdoba D. (Ed). (2006). *Toxicología*. 5.^a ed. Bogotá: El Manual Moderno.
30. De Madureira P. R., De Capitani E. M. y Vieira R. J. (2000). "Lead Poisoning After Gunshot Wound". *Sao Paulo Med J*; 118:78-80.
31. Walker M. (2006). "La ruta del plomo". *Rev. Mother Jones*, San Francisco, California.
32. Barbosa F. J., Tanus Santos J. E., Gerlach R. F. y Parsons P. J. (2005). "A critical review of biomarkers used for monitoring human exposure to lead: advantages, limitations and future needs". *Environ Health Perspect*.
33. Berghdahl I. A. y Skerfving S. (2008). "Biomonitoring of lead exposure-alternatives to blood". *J Toxicol Environ Health*.
34. Aora M., Chan S. W., Ryan C. G., Kennedy B. J. y Walker D. M. (2005). "Spatial distribution of lead in enamel and coronal dentine of wistar rats". *Biol Trace Elem Res*; 105(1;3):159-70.

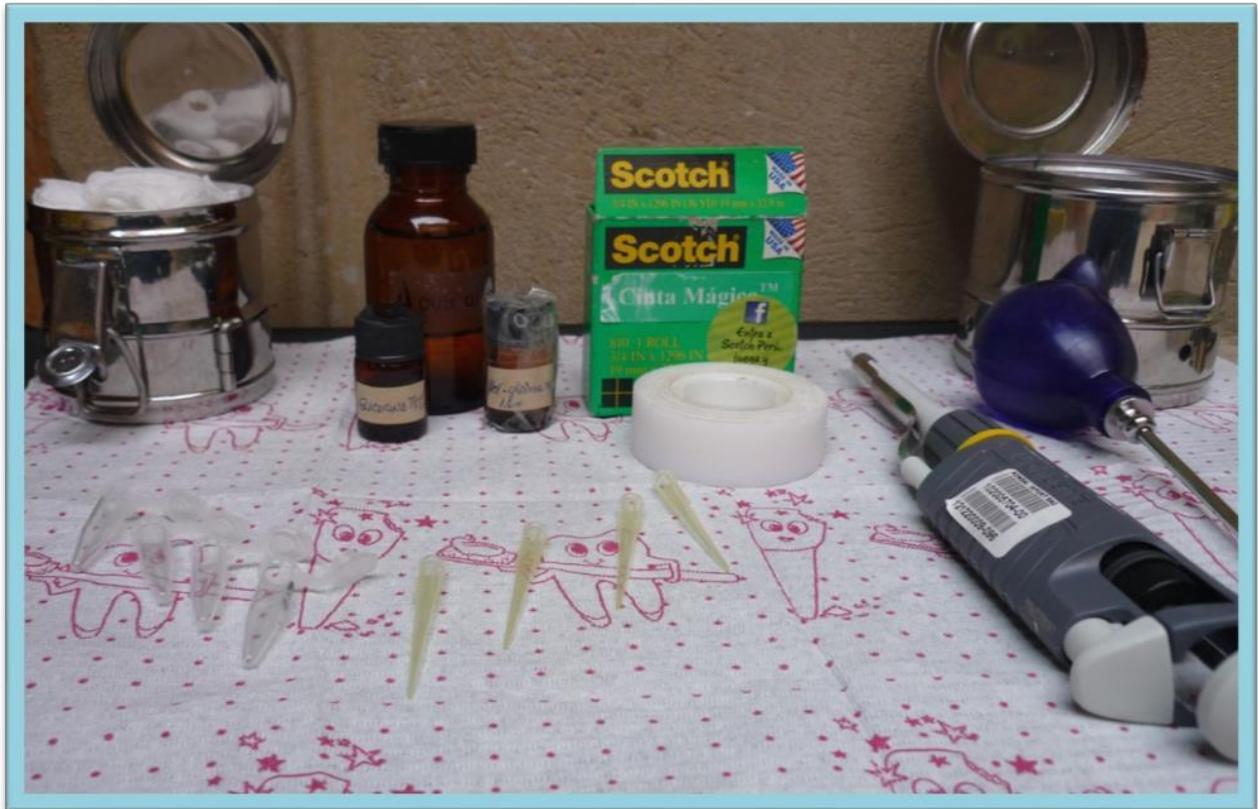
35. Rabinowitz M. B, Leviton A. y Bellinger D. (1993). "Relationships between serial blood lead levels and exfoliated tooth dentin lead levels: models of tooth lead kinetics. *Calcif tissue Int*"; 53:338.
36. Brudevold F., Reda A., Aasenden R. y Bakhos Y. (1975). "Determinacion of trace elements in surface enamel of human teeth by a new biopsy procedure". *Arch Oral Biol*; 20:667.
37. Medicopedia Diccionario Medico Interactivo [Internet]. [Consultado el 7 de febrero de 2012]. Disponible en http://www.portalesmedicos.com/diccionario_medico/index.php/Ribete_de_Burton .
38. Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (ATSDR). (2007). *Reseña Toxicológica del Plomo (versión actualizada)*.
39. Costa de Almeida G. R., De Freitas C. U., Barbosa F. J., Tanus-Santos J. E. y Gerlach R. F. (2009). "Lead in saliva from lead-exposed and unexposed children". *Sci Environ.*; 407:1547-50.
40. Missouri L. (2005). *Diccionario de medicina Océano*. Mosby.
41. Gisbert Calabuig J. A. (2001). *Medicina legal y toxicología*. 5.^a ed.
42. Sistema Internacional de Unidades. Disponible en sc.ehu.es

ANEXOS

Fotografía 1. Técnica de microbiopsia en esmalte dental deciduo



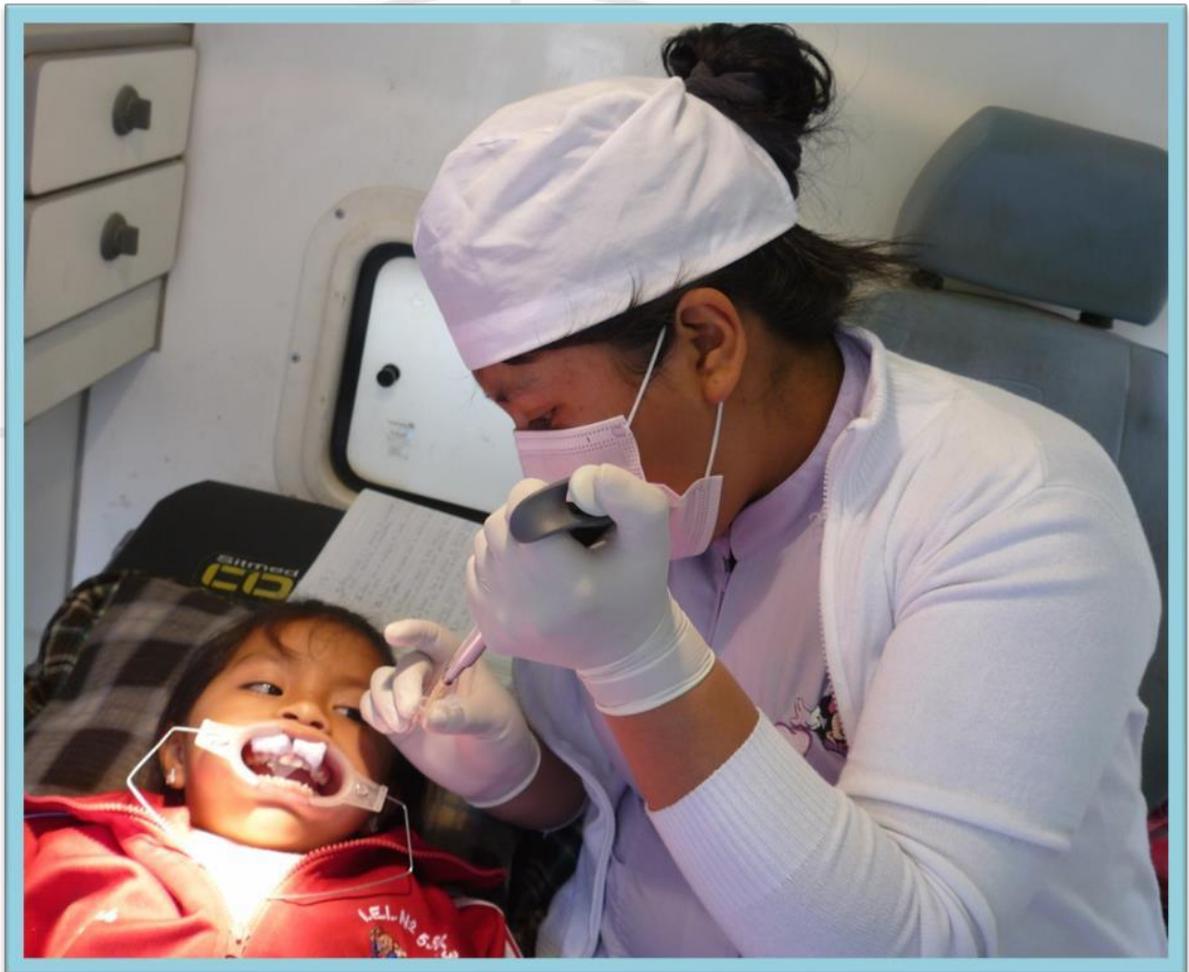
Fotografía 2. Instrumentos y materiales para la microbiopsia del esmalte dental



Fotografía 3. Toma de muestra mediante la microbiopsia del esmalte dental



Fotografía 4. Recolección de la microbiopsia del esmalte dental



Fotografía 5. Charla de higiene bucal a los niños del centro poblado de Quichas, Oyón



Fotografía 6. Regalos para los niños del centro poblado de Quichas, Oyón



Fotografía 7. Regalos para los niños del centro poblado de Quichas, Oyón

