



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO**

---

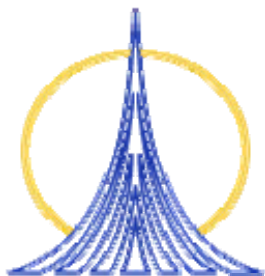
---

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA**

**EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE Ca, Cd, Cu, Fe  
Y Ni EN DIENTES DECIDUOS DE NIÑOS RESIDENTES  
DEL MUNICIPIO DE NEZAHUALCÓYOTL, ESTADO  
DE MÉXICO.**

**T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
QUÍMICO FARMACÉUTICO BIÓLOGO  
P R E S E N T A  
J U A N A G A R C Í A S E R R A N O**

**DIRECTOR DE TESIS: C.D. DOLORES DE LA CRUZ CARDOSO  
ASESOR DE TESIS: M. En C. LOURDES CASTILLO GRANADA**



**MÉXICO D.F.**

**NOVIEMBRE DEL 2006.**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



*JURADO*


*Q. MARÍA GUADALUPE MIRANDA JIMENO*


*C.D. DOLORES DE LA CRUZ CARDOSO*

*M. ENC. A. LOURDES CASTILLO GRANADA*


*Q.F.B. ENRIQUETA CASTREJÓN RODRÍGUEZ*

*Q. MARTHA T. JULIETA OLIVEROS GARCÍA*





*EL PRESENTE TRABAJO SE REALIZÓ EN EL LABORATORIO DE  
ESPECTROSCOPIA Y LA UNIDAD UNIVERSITARIA DE  
INVESTIGACIÓN EN CARIOLOGÍA DE LA FACULTAD DE  
ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA*



---

---

*AGRADECIMIENTOS*

*A MIS ASESORES:*

*C.D. DOLORES DE LA CRUZ CARDOSO*

*M. EN C. A. LOURDES CASTILLO GRANADA*

*POR EL APOYO , PACIENCIA Y PROFESIONALISMO  
QUE ME BRINDARON PARA LA REALIZACIÓN  
DE ESTE TRABAJO.*

*M. EN C. ARMANDO CERVANTES*

*POR SU COLABORACIÓN EN EL PROCESAMIENTO  
ESTADÍSTICO DE LOS DATOS.*

---

---

---

## *DEDICATORIAS*

*A MIS PADRES.*

***MARINA Y RUBÉN***

*LES DOY LAS GRACIAS POR DARMELA VIDA, PORQUÉ  
SIN ELLA NO ESTARÍA DANDO ESTE GRAN PASO, POR SU  
EJEMPLO Y EL ENORME AMOR QUE ME DAN.*

*A USTÉDES QUE ME HAN GUIADO Y HOY ESE SUEÑO SE  
HA REALIZADO, SOLO ME RESTA DECIRLES LOS AMO.*

*A MI ESPOSO.*

***RAMÓN***


*POR APOYARME EN CADA MOMENTO, POR SU  
PACIENCIA Y EL INFINITO AMOR QUE ME BRINDAS A  
CADA INSTANTE.. A TÍ QUE SIEMPRE CREÍSTE EN MÍ Y  
NUNCA CLAUDICASTE PARA VER MI META REALIZADA  
TÉ AMO.*

*A MIS HIJAS.*

***CATHERINE Y DAYANA***

*POR QUIENES ME ESFUERZO CADA DÍA POR SER MEJOR,  
ESPERANDO QUE ESTO LE SIRVA DE ESTÍMULO A LO  
LARGO DE SU VIDA Y LOGREN VENCER LOS OBSTÁCULOS  
QUE SE INTERPONGAN A LO LARGO DEL CAMINO Y  
VEAN REALIZADOS SUS ANHELOS.*

---




*A MARINA, AGUSTÍN Y HORTENSIA*

*POR EL APOYO BRINDADO EN LA  
REALIZACIÓN DE LOS TRABAJOS PARA LA  
ELABORACIÓN DE MI TESIS.*

*A MIS HERMANOS, FAMILIARES Y AMIGOS*

*QUE ME APOYARÓN EN EL TRANCURSO  
DE MI FORMACIÓN PROFESIONAL.*





## ÍNDICE

INTRODUCCIÓN .....	1
I. MARCO TEÓRICO .....	3
1. ANTECEDENTES .....	3
2. CARACTERÍSTICAS DE LOS METALES .....	5
2.1. CALCIO .....	5
2.2. COBRE .....	6
2.3. CADMIO .....	7
2.4. FIERRO .....	8
2.5. NÍQUEL .....	9
3. ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA .....	9
II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	13
III. OBJETIVOS .....	14
IV. HIPÓTESIS .....	15
V. MATERIAL E INSTRUMENTOS .....	16
1. MATERIAL .....	16
2. INSTRUMENTOS Y EQUIPO .....	16
3. REACTIVOS .....	16
VI. DESARROLLO EXPERIMENTAL .....	18
1. MÉTODO .....	18
2. DETERMINACIÓN DE CALCIO .....	19
3. DETERMINACIÓN DE COBRE .....	19
4. DETERMINACIÓN DE CADMIO .....	19
5. DETERMINACIÓN DE FIERRO .....	19
6. DETERMINACIÓN DE NÍQUEL .....	20
7. DIAGRAMA DE FLUJO .....	21





VII. RESULTADOS .....	22
1. CUANTIFICACIÓN DE COBRE .....	23
2. CUANTIFICACIÓN DE CADMIO .....	26
2. CUANTIFICACIÓN DE FIERRO .....	30
3. CUANTIFICACIÓN DE NÍQUEL .....	33
VIII. DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	37
1. COBRE .....	38
2. CADMIO .....	39
3. FIERRO .....	41
4. NÍQUEL .....	43
IX. CONCLUSIONES .....	45
X. RECOMENDACIONES .....	47
XI. ANEXOS .....	48
A. DISEÑO ESTADÍSTICO .....	48
B. DIENTES DECIDUOS .....	62
C. CARTA TOPOGRÁFICA DEL MUNICIPIO DE NEZAHUALCÓYOTL .....	65
D. LIXIVIADOS .....	66
XII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	67



## INTRODUCCIÓN

El Desarrollo Industrial de las últimas décadas y el crecimiento demográfico, son factores que han contribuido de forma acelerada al deterioro ecológico. En la actualidad, la generación de nuevos productos químicos y la inadecuada utilización de estos, han aumentado los niveles de contaminación, poniendo en peligro la salud. Dentro de los contaminantes químicos se encuentran los metales pesados que se han utilizado por siglos y son fundamentales para la industria, sin embargo, pueden perjudicar la salud humana y trastornar el equilibrio de los sistemas ambientales si se permite que alcancen una concentración excesiva en el aire, agua, suelo o en los alimentos.<sup>1</sup>

Durante los últimos años el hombre ha enfocado su interés a la acumulación de elementos traza presentes en el cuerpo humano ya sea como elementos metálicos constituyentes o como elementos contaminantes en muestras de diverso origen, como indicadores de exposición a una contaminación ambiental. En México no se han realizado estudios al respecto en esta zona, los cuales nos puedan servir como punto de comparación o como dispositivos de monitoreo. En este estudio se obtendrá la composición química presente en dientes temporales de niños, los cuales son más vulnerables a una exposición ambiental. La Unidad Universitaria de Investigación en Cariología de la UNAM, ha realizado diversos estudios tanto en esmalte como en diente total, en relación a la composición química de los dientes.<sup>2-4</sup>

El presente trabajo de investigación química tiene un estricto carácter observacional y descriptivo, pretendiendo revelar la existencia y cantidad en que los elementos metálicos calcio, cobre, cadmio, fierro y níquel, se encuentran presentes en dientes temporales de niños residentes del Municipio de Nezahualcóyotl en el Estado de México. Estos resultados pretenden apoyar trabajos posteriores de la zona de estudio, que permitan a las autoridades aplicar medidas preventivas necesarias y evitar daños a la salud a largo plazo.

Se han descrito en la literatura diversas técnicas de análisis, para la cuantificación de cobre, cadmio, fierro y níquel entre otros, como un parámetro de exposición a estos elementos; sin embargo la Espectrofotometría de Absorción Atómica con Flama es la que comúnmente ha



sido empleada por ser una técnica altamente específica, precisa y casi libre de interferencias.

La evaluación de la intoxicación aguda se realiza analizando fluidos biológicos como son sangre y orina, y la exposición crónica es posible evaluarla mediante un análisis de estos elementos en dientes, los cuales pueden acumular no solo los metales tóxicos cadmio y níquel, si no también los metales esenciales cobre y hierro.<sup>5</sup> Este tejido calcificado es capaz de almacenar gran cantidad de metales, y de acuerdo a la estabilidad física que estos presentan en su estructura, los hace poco permeables y difícil de remover. Los elementos fueron evaluados en dientes primarios exfoliados, por medio de la técnica de Absorción Atómica.

Al conjunto de datos se les aplicó un Análisis de Varianza y la Prueba de Tukey, con el propósito de comparar la igualdad o semejanza entre la concentración media, por sexo del donador, posición en la arcada y por tipo de diente, empleando el software STATGRAPHICS Y SPSS.<sup>6</sup>

De acuerdo a los resultados obtenidos, se comprobó que la concentración media para el cobre, cadmio, fierro y níquel no estuvo determinada por el sexo de donador, esto se pudo corroborar al no presentarse ninguna diferencia estadísticamente significativa entre las medias. En la evaluación de cadmio y fierro, se determinó una diferencia estadísticamente significativa, por posición en la arcada y por tipo de diente, lo que significa que la concentración media determinada fue diferente en incisivos centrales y laterales, caninos, primer y segundo molar. Es importante destacar que los datos reportados en la literatura internacional presentaron diferencias respecto a los resultados del presente estudio.



## I. MARCO TEÓRICO

### 1. ANTECEDENTES

La estructura química de los dientes temporales ha sido descrita en la literatura, afirmándose, en términos generales, que su composición no difiere de la de los dientes permanentes. La mayor parte de los estudios en cuanto a su composición química se ha llevado a cabo en esmalte y dentina, es decir se han abordado por separado los tejidos que constituyen la parte dura de los dientes.

Una de las primeras descripciones de la composición de los tejidos mineralizados es la que dejó Empédocles de Agrigento (492-432 A.C.), fundador del Colegio de Medicina Siciliana, quién consideraba que los tejidos estaban formados por dos partes de agua, cuatro de fuego y dos de tierra. Más tarde Aristóteles (384 -322 A.C.), filósofo y erudito griego, dice que los dientes se componen de tres partes de fuego y dos partes de tierra.<sup>7</sup>

En el año de 1770, C. W. Scheele, al estudiar la composición de las astas del ciervo, descubre la presencia de tierra calcárea ( $\text{CaCO}_3$ ) y de una sustancia desconocida combinada con la cal ( $\text{CaO}$ ). J. G. Ganh prosigue la investigación de estos estudios y encuentra que la sustancia desconocida era el ácido fosfórico, así, ambos autores comparten el mérito de haber descubierto que el fosfato de cal era el componente principal de la sustancia ósea. En el año de 1799, Hatchett (1756-1847) pudo demostrar que las tres estructuras que conforman el diente de elefante estaban compuestas de cal y ácido fosfórico y las diferencias encontradas se debían, probablemente, a pequeñas modificaciones en las proporciones de sus principales componentes y a la distribución.

Más tarde en el año de 1803 sería publicado el libro de Joseph Foxes "The Natural History of the Human Tooth", el investigador W. H. Pepys Jr., realizó el primer análisis cuantitativo del esmalte dentario humano. Este estudio revelaría que el esmalte contenía 78 por ciento de fosfato de cal, 6 por ciento de carbonato de cal y un 16 por ciento de pérdida que era "principalmente agua".



No fue sino hasta el siglo XIX que los químicos analistas sabían que el diente se constituía principalmente de fosfato de cal con cantidades menores de fosfato de magnesio, carbonato de cal, carbonato sódico, sales, agua y materia orgánica”.

Después del primer cuarto del siglo XIX, Arsmstrong junto con otros investigadores, decidieron que era necesario un estudio extenso del esmalte y dentina, por métodos modernos para comprender el proceso de calcificación. Llegaron a la conclusión de que las fases minerales de esmalte y dentina no eran idénticas, que los dientes cariados no difieren de los dientes sanos, que no hay correlación de la composición del esmalte con la susceptibilidad a la desintegración del diente ni con la edad de la erupción, y que las variaciones en la composición del esmalte son tan grandes en los dientes de una persona como en los dientes de diversos individuos

Contrariamente a las conclusiones de Arsmstrong, en el año siguiente French y colaboradores encontraron que la proporción media, calcio-fósforo (Ca/P) en la dentina era igual en el esmalte y que en el mineral hidroxiapatita. Concluyeron que la dentina y el esmalte consisten principalmente de partículas de hidroxiapatita con carbonatos y otras sales en oclusión, absorbidos o cristalizados intersticialmente.

En 1937, Lefevre y Hodge realizaron determinaciones químicas en dientes, de acuerdo a los resultados obtenidos pudieron llegar a concluir, que 1) la edad no causa cambios en la combinación química de los dientes, 2) hay poca diferencia química entre dientes de pacientes del sexo masculino y femenino, 3) creciente gravedad de piorrea puede causar disminución en el contenido de carbonato de los dientes, y 4) la composición de la substancia del diente es notablemente constante.<sup>7</sup>

Numerosos investigadores<sup>3, 8-4</sup> han realizado análisis en dientes primarios y permanentes, ya sea de forma total o separando el tejido en esmalte, dentina, pulpa y cemento, debido a que este material biológico sirve como un indicador de la exposición al medio ambiente. Dentro de los contaminantes ambientales se encuentran los metales pesados, entre los que destaca el plomo y cadmio, cuyos efectos sobre el ambiente y la salud han sido estudiados en forma amplia debido a la toxicidad que representan.

En el presente estudio se determinó la concentración de los metales cobre, cadmio, fierro, níquel y calcio en dientes deciduos.



## **2. Características de los Metales**

Los metales son los primeros elementos que conocieron los seres humanos y han desempeñado papeles importantes en el desarrollo de la civilización. Un factor importante que contribuye de forma directa a elevar los índices de contaminación ambiental es la explotación minera. También contribuyen los metales que contienen los residuos sólidos, los cuales son depositados en forma de lixiviados en la zona por la filtración del agua en el subsuelo, así como la combustión de carburantes.

Los metales pesados son aquellos que tienen una densidad superior a los cinco gramos por centímetro cúbico (cinco veces mayor que la del agua). Se encuentran en la corteza terrestre en diferentes cantidades, tienen propiedades físicas en común, su reactividad química es muy diversa y lo son más sus efectos tóxicos sobre los sistemas biológicos. Estos son la principal fuente de toxicidad cuando se encuentran en el ambiente a alta concentración, produciendo alteraciones sobre la salud humana, ya que presentan una tendencia prolongada a acumularse en el cuerpo, como el cadmio, que tiene una vida media de 77 días y una vida media corporal de 10 a 30 años.<sup>15, 16</sup>

Un metal puede considerarse tóxico, si resulta perjudicial para el metabolismo de las células al exceder cierta concentración.

### **2.1. Calcio**

Símbolo químico Ca, es un metal alcalino con peso atómico 20, número atómico 40.08, con número de valencia +2, punto de fusión 838 °C, punto de ebullición 1440 °C.<sup>17</sup> Desempeña un papel muy importante en la formación de huesos y dientes, en el mantenimiento de la estructura esquelética y estructura dental. Está presente como constituyente de los dientes en un 35.2 por ciento de manera general.<sup>18</sup>

Los estudios más recientes muestran que calcio y fósforo y la razón calcio/fósforo son algo más bajos en el esmalte cariado que en el sano. El esmalte sano de individuos de grupos mayores de 30 años tiene una razón de calcio/fósforo más baja que el esmalte sano en individuos del grupo de menor edad.

El calcio es un elemento sumamente importante en el cuerpo humano. Es uno de los elementos más abundantes en el cuerpo, aproximadamente de dos a tres libras del cuerpo total de nuestro peso, representa el quinto lugar en la corteza terrestre. Es importante en la



formación y mantenimiento de los huesos y dientes, participa en el crecimiento del músculo y los impulsos eléctricos en el cerebro, es necesario para mantener la tensión arterial apropiada. Se cree que la creciente absorción del calcio en nuestra dieta, baja la tensión arterial elevada y previene enfermedades del corazón.<sup>19</sup>

Una deficiencia de calcio puede provocar calambres, espasmos del músculo, nuestros huesos pueden ponerse quebradizos (osteoporosis) e incluso se corre el riesgo creciente de padecer cáncer de colon.

## 2.2. Cobre

Elemento metálico con símbolo químico Cu y número atómico 29, peso atómico 63.546, de coloración rojiza, es dúctil y maleable, punto de fusión 1.083 °C, punto de ebullición 2595 °C (4703 °F), densidad 8.96 g/cm<sup>3</sup>. Su conductividad térmica y eléctrica es muy alta. Es uno de los metales que puede tenerse en estado más puro, moderadamente duro, tenaz en extremo y resistente al desgaste. La fuerza del cobre está acompañada de una alta ductibilidad.<sup>17</sup>

Aproximadamente el 0.01 por ciento de la capa sólida superior de la corteza terrestre está constituida por cobre, ocupa el número veintiséis en la lista de abundancia en la corteza terrestre,<sup>1</sup> es un metal esencial para los humanos y para todas las formas de vida y es primordial para la función de numerosas enzimas. Estudios en animales y humanos han demostrado que este metal se necesita para un crecimiento normal, en los mecanismos de defensa y fortaleza ósea, maduración de glóbulos rojos y blancos, transporte de hierro y desarrollo cerebral. La exposición profesional al cobre puede ocurrir en el ambiente de trabajo, el contacto con cobre puede llevar a tener gripe conocida como la fiebre del metal. La cual pasará después de dos días y es causada por una sobre sensibilidad. Exposiciones por largos períodos al cobre puede causar irritación en la nariz, la boca, los ojos y puede causar dolor de cabeza, de estómago, mareos, vómitos y diarreas. Una toma grande de cobre puede ser a consecuencia de la ingestión accidental de compuestos de cobre o por una alta exposición, causando daños al hígado y los riñones e incluso causar la muerte.<sup>19</sup>

La mayor parte de cobre del mundo se obtiene de los sulfuros minerales como la calcocita, covelita, calcopirita, bornita y enargita. Los minerales oxidados son la cuprita, tenorita, malaquita, azurita, crisocola y brocantita. Este es utilizado principalmente en la producción de materiales arquitectónicos (techos, tapajuntas, desagües), cojinetes y fluidos de frenos de automóviles, monedas, aparatos electrónicos, materiales galvanizados, fertilizantes,



fungicidas, productos domésticos, insecticidas, componentes de terminaciones metálicas, pigmentos de pintura, cables y alambres.<sup>20</sup>

La dosis de ingesta diaria recomendada para niños de 9 a 13 años de edad es de 0.70 mg/día.

Derise y Ritchey<sup>21</sup> determinaron la composición mineral del esmalte y dentina de 175 pacientes de la Ciudad de Virginia (E.U.), la concentración de cobre encontrada fue relacionada con la posición del diente, edad y sexo del paciente. La mayor concentración de cobre se encontró en el esmalte de dientes permanentes y se acumula en mayor medida en individuos entre 13 y 16 años de edad tanto en la dentina como el esmalte y tiende a disminuir con la edad.

Steadman y Brudevold<sup>22</sup> reportan un rango de 12 a 30 ppm, Nixon y Smith<sup>23</sup> de 1.6 a 30 ppm de cobre en esmalte.

### 2.3. Cadmio

Elemento metálico con símbolo químico Cd y número atómico 48, masa atómica 112.40, maleable, de color azulado o polvo blanco grisáceo. Pierde el brillo en aire húmedo, resistente a la corrosión en atmósfera industrial. Maleable a 80 °C, punto de fusión 320.9 °C, punto de ebullición 767 °C, densidad 8.65 g/cm<sup>3</sup>, índice de refracción 1.13 en ácido nítrico y en soluciones de nitrato de amonio. Estado de oxidación +2. Casi todas sus sales son venenosas.<sup>17</sup>

El cadmio se descubrió en 1817 y pocas veces fue utilizado, se encuentra junto con el zinc y el plomo, es considerada una sustancia cancerígena, si se respira en altas concentraciones produce graves lesiones en los pulmones; su ingestión provoca daños a los riñones. Se absorbe veinte veces más en bebés que en adultos debido al bajo desarrollo de los mecanismos de excreción que presentan los neonatos, produciéndole una acumulación corporal tóxica.<sup>16</sup>

El cadmio también lo encontramos en materiales como las pilas, que una vez terminada su vida útil estas son depositadas en basureros o rellenos sanitarios, y al quedar expuestas a incendios y reacciones químicas incontroladas, emiten una gran cantidad de contaminantes entre los que sobresalen el cadmio y el níquel, que afectan al agua, suelo y aire.<sup>24, 25, 26</sup> En niños, una contaminación excesiva por cadmio puede retardar la erupción de los dientes y





provocar caries dental.<sup>14</sup> Losee y cols.<sup>27</sup> determinaron el contenido de cadmio en esmalte de dientes permanentes provenientes de E.U., reportando valores de 14.9  $\mu\text{gCd/g}$  ( $\pm 3.5$ ), estos resultados llevaron a afirmar que el cadmio estaba asociado con la caries dental.

La dosis de cadmio diaria segura e inocua es de 0.5  $\mu\text{g/kg}$  de peso. La vida media en el cuerpo es de 77 días, sin embargo la vida media corporal, se ha calculado entre 10 y 30 años. Por inhalación quienes fuman cigarrillo pueden absorber de 10 a 40 por ciento del cadmio inhalado.<sup>28, 29</sup>

#### 2.4. Hierro

Símbolo químico Fe, número atómico 26, masa atómica 55.845. Es el metal de transición más abundante en la corteza terrestre, y ocupa el cuarto lugar en abundancia de todos los elementos. Se encuentra formando parte de numerosos minerales, entre los que destacan la hematites ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), la magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), la limonita ( $\text{FeO}(\text{OH})$ ), la siderita ( $\text{FeCO}_3$ ), la pirita ( $\text{FeS}_2$ ), la ilmenita ( $\text{FeTiO}_3$ ).<sup>31</sup>

Los estados de oxidación más comunes son +2 y +3. Los óxidos de hierro más conocidos son el óxido de hierro (II), el óxido de hierro (III), y el óxido mixto.

El hierro es un mineral esencial y un importante componente de proteínas que está presente en el transporte del oxígeno y en el metabolismo. El hierro es también un cofactor esencial en la síntesis de los neuro-transmisores, como la dopamina, norepinefrina y serotonina. El organismo humano contiene alrededor de 45 mg de hierro por kg de peso. En una persona de 70 kg hay 4.2 gramos de hierro, la disminución de este elemento metálico puede provocar anemia. El hierro en exceso se acumula en el hígado y provoca daños en este órgano. El hierro llega como hierro  $\text{Fe}^{+++}$  a partir del alimento. En el estómago los ácidos lo convierten en ferroso  $\text{Fe}^{++}$ , y en esta forma se absorbe. Sólo pasará a la sangre un 10-30 por ciento del ingerido, fundamentalmente en el estómago y el duodeno. El resto pasará a las heces.<sup>32</sup>

Derise y Ritchey<sup>21</sup> describen valores de hierro en esmalte y dentina en grupos de individuos por edad, de 10-12 años, 13-16 años, 17-24 años y de 25 años en adelante. Observando que la mayor concentración de hierro se encuentra en la dentina, en el grupo de 17-24 años de edad y en niños de 10-12 años de edad.



## 2.5. Níquel

Símbolo químico Ni, número atómico 28, masa atómica 58.71, metal plateado maleable, punto de fusión 1455 °C, punto de ebullición 2900 °C, densidad 8.90 g/cm<sup>3</sup>, los estados de oxidación son +2 y +3.<sup>33</sup>

El níquel es esencial para las especies animales, pero no para los humanos; en animales de laboratorio la inhalación de los diferentes compuestos con baja solubilidad causa reacciones inflamatorias en la mucosa nasal.

Una deficiencia de níquel provoca bajo peso, anemia y una disminución de la viabilidad de la descendencia. El níquel se utiliza ampliamente en los campos de la metalurgia y de la industria química, la mayor parte del níquel se destina a la producción de acero inoxidable. Las aleaciones se utilizan en vehículos, maquinaria industrial, armamento, herramientas, equipo eléctrico, utensilios domésticos y la acuñación de monedas.<sup>64</sup>

La toxicidad por inhalación depende de la sal de níquel, cuyo carbonilo de níquel es el tóxico más común de los agentes de inhalación comúnmente usados. Una intoxicación aguda por este compuesto puede provocar trastornos pulmonares severos, y se ven afectados el hígado, los riñones, el bazo y el cerebro.<sup>34, 36</sup>

Lappalainen y Kinnuttila<sup>14</sup> reportaron niveles medios para dientes de diferentes áreas geológicas de Finlandia, donde el valor medio para las diferentes áreas fue de 31.3 µg/g (±4.4).

## 3. Espectrofotometría de Absorción Atómica

Actualmente existen diversas técnicas de análisis para la cuantificación de metales entre ellos calcio, cobre, cadmio, fierro y níquel, una de las más empleada es la Absorción Atómica en sus diferentes géneros (flama, grafito y generación de hidruros) permitiendo detectar concentraciones sumamente bajas, hasta del orden de partes por billón (ppb).

El Espectrofotómetro de Absorción Atómica con Flama (FAAS) permite la detección y determinación de metales en cualquier tipo de muestra, siempre y cuando pueda ser solubilizada. Los límites de detección en este caso son del orden de ppm (partes por millón).

El espectrómetro de absorción atómica con cámara de grafito (GFAAS) permite trabajar con muestras de volumen muy reducido (inferior a 100  $\mu\text{L}$ ) o directamente sobre muestras orgánicas líquidas. Habitualmente se analizan muestras de material biológico de origen clínico (sangre, suero, orina, biopsias hepáticas, etc.), metales en productos de alta pureza, como: fármacos, alimentos, productos industriales, y en agua potable y acuíferos

Para metales como, As, Hg, Al entre otros, es necesario realizar la conversión a hidruros para poder analizarlos con la flama (dentro de una celda de cuarzo) ya que estos son muy inestables y sus concentraciones son más bajas que los mencionados anteriormente.

El Espectrofotómetro de Absorción Atómica está constituido básicamente por: 1.Fuente de radiación, 2.Celda para la muestra y 3.Sistema óptico y electrónico.

- 1) La fuente de radiación más común que se emplea son las lámparas de cátodo hueco, en estas lámparas el cátodo esta fabricado del mismo elemento que se va a cuantificar.
- 2) La celda de la muestra la constituye una flama, la cual puede ser de aire-acetileno a una temperatura de 2300  $^{\circ}\text{C}$ , de óxido nitroso-acetileno a una temperatura de 2800  $^{\circ}\text{C}$ .
- 3) El sistema óptico y electrónico, nos permite transformar la variación de energía en una señal digital de absorbancia.<sup>35, 36</sup>

La Espectrofotometría de Absorción Atómica es un método para la cuantificación de los elementos metálicos, los cuales son examinados, llevándolos a la flama donde son transformados a átomos libres y neutros. Ello se realiza por pulverización en una flama a alta temperatura. Un rayo luminoso de una cierta longitud de onda, producido por la lámpara de cátodo hueco, se dirige a lo largo del eje longitudinal de una flama plana hacia el monocromador, cuando la solución de la muestra se aspira hacia el interior de la flama. Antes de entrar en está, la solución se dispersa formando una niebla de gotitas muy finas, que se evaporan en la flama, dando inicialmente la sal seca y luego el vapor de la sal, la cual se disocia, por lo menos en parte, en átomos del elemento que se desea determinar (Ver figuras I y II).

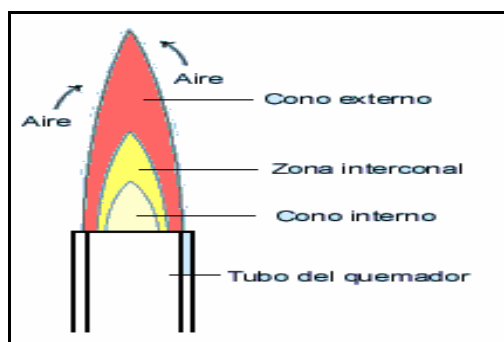


Figura I. Partes que constituyen la flama en Absorción Atómica.

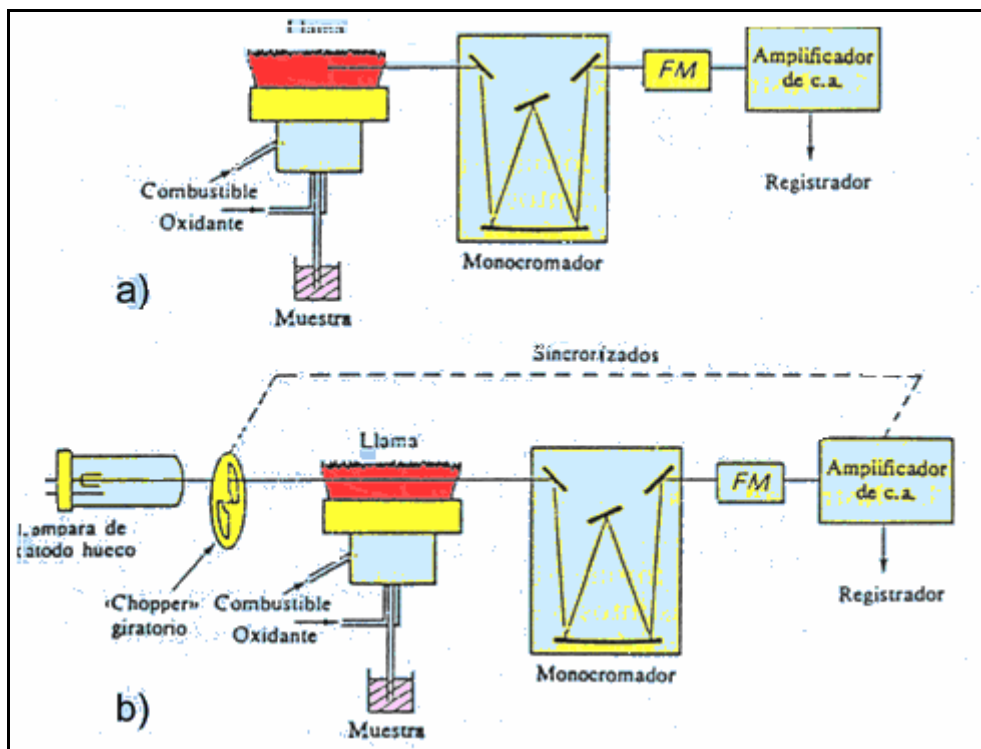


Figura II. Tipos de Espectrofotómetros: a) Espectrofotómetro de un solo haz, b) Espectrofotómetro de doble haz

Este método se considera libre de interferencias espectrales y de radiación. La cantidad de energía absorbida a una longitud de onda característica en la flama es proporcional a la concentración del elemento que se encuentra en una muestra dentro de un rango limitado de concentración.

A partir de las lecturas del blanco y de las soluciones de referencia se construye una gráfica de absorbancia contra concentración, obteniendo una curva lineal con un coeficiente de correlación mayor de 0.998, calcular b (ordenada al origen) y m (pendiente) y por interpolación de las lecturas de la muestra, se conoce la concentración del metal.

El análisis cuantitativo por absorción atómica se basa en la ley de Lambert y Beer, la cual relaciona la cantidad de luz absorbida y la cantidad de sustancia absorbente. Se representa por:  $A=abc$

Donde:

A=absorbancia

a=coeficiente de absorción (constante)

b=longitud de la celda (constante)

c=concentración de las especies absorbentes



Las muestras y las soluciones de referencia se analizan siguiendo las indicaciones de operación del Espectrómetro de Absorción Atómica siguientes:

ELEMENTO	LONGITUD DE ONDA	SLIT	TIPO DE FLAMA
Ca	422.7 nm	0.5 nm	aire-acetileno
Cd	228.8 nm	0.5 nm	aire-acetileno
Cu	324.8 nm	0.5 nm	aire-acetileno
Fe	248.3 nm	0.5 nm	aire-acetileno
Ni	232.0 nm	0.5 nm	aire-acetileno

El método instrumental de análisis por absorción atómica mide la luz absorbida por los átomos en el estado fundamental. Todos los átomos y moléculas son capaces de absorber energía de acuerdo con ciertas limitaciones, las cuales dependen de la estructura de la sustancia.

La Espectrofotometría de Absorción Atómica es altamente específica y esta libre de interferencias, debido a que la longitud de onda de la energía absorbida o emitida, es directamente dependiente de la transición electrónica que se efectúa, como cada elemento tiene un número de electrones único y una configuración electrónica única, por tanto su espectro de emisión o absorción es único para cada elemento.



## II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Dados los efectos descritos sobre la salud en la literatura, se ve la necesidad de evaluar la exposición crónica por metales de los residentes del Municipio de Netzahualcóyotl, Estado de México.

Los metales, como el Ca, Fe y Cu, son elementos traza esenciales, los cuales participan en funciones específicas del metabolismo. El Ni y Cd tienen efectos tóxicos en los sistemas biológicos, siendo un riesgo para la salud humana debido a su incremento en el medio ambiente.

Los dientes han sido seleccionados entre los diversos materiales biológicos, como indicadores adecuados para evaluar la exposición crónica a estos metales, debido a que estos elementos son almacenados en el diente y su estabilidad física hace difícil su remoción, a diferencia de lo que sucede con muestras de sangre y orina, donde el recambio es continuo.

Debido a que no contamos con información proveniente de la literatura como punto de referencia, los resultados aquí obtenidos, serán datos característicos de la zona de estudio y servirán de apoyo para posteriores estudios. De igual manera, podrán ser utilizados como referendo en el monitoreo de contaminantes ambientales que están presentes en la periferia del Municipio de Netzahualcóyotl, Estado de México, el cual presenta altos índices de contaminación.

La evaluación de calcio, cobre, cadmio, fierro y níquel se realizará por medio de la Espectrofotometría de Absorción Atómica, la cual ha sido aplicada en diversos análisis químicos por ser una técnica precisa, fácilmente reproducible de alta sensibilidad y bajos límites de detección (partes por billón ppb).



### III. OBJETIVOS

#### OBJETIVO GENERAL

Determinación de los niveles de concentración de los elementos metálicos calcio, cadmio, cobre, fierro y níquel en dientes deciduos de niños de 9 y 10 años de edad, mediante la técnica de Espectrofotometría de Absorción Atómica con Flama.

#### ***Objetivos Específicos***

1. Evaluación de calcio en dientes deciduos de niños residentes del Municipio de Nezahualcóyotl, Estado de México.
2. Evaluación de cadmio en dientes deciduos de niños residentes del Municipio de Nezahualcóyotl, Estado de México.
3. Evaluación de cobre en dientes deciduos de niños residentes del Municipio de Nezahualcóyotl, Estado de México.
4. Evaluación de fierro en dientes deciduos de niños residentes del Municipio de Nezahualcóyotl, Estado de México.
5. Evaluación de níquel en dientes deciduos de niños residentes del Municipio de Nezahualcóyotl, Estado de México.



## IV. HIPÓTESIS

La concentración de los elementos metálicos calcio, cadmio, cobre, fierro y níquel en dientes deciduos variará de acuerdo al sexo del donador, tipo de diente y posición en la arcada.





## V. MATERIAL E INSTRUMENTOS

### 1. MATERIAL

- Matraz volumétrico de 50, 100 y 1000 mL Pyrex
- Pipetas volumétricas de 1,2,3,5, y 10 mL Pyrex
- Pipetas graduadas de 1 y 10 mL Pyrex
- Vasos de precipitado de 10, 50, 100 y 600 mL Pyrex
- Gradilla metálica
- Embudo de tallo corto y largo Pyrex
- Varillas de vidrio
- Piseta
- Perilla
- Frascos de Polietileno
- Soporte Universal
- Anillo de Hierro
- Algodón
- Papel Filtro Whatman 40

### 2. INSTRUMENTOS Y EQUIPO

- Espectrofotómetro PYE-UNICAM SP 192 con quemador de flujo laminar de 10 cm de longitud
- Lámpara de cátodo hueco para: calcio, cadmio, cobre, fierro y níquel
- Balanza analítica SARTORIUS 2842

### 3. REACTIVOS

- Solución de referencia de calcio (1000 ppm)
- Solución de referencia de cadmio (1000 ppm)
- Solución de referencia de cobre (1000 ppm)
- Solución de referencia de fierro (1000 ppm)
- Solución de referencia de níquel (1000 ppm)
- Ácido nítrico J.T. Baker



- Ácido clorhídrico J.T. Baker
- Agua desionizada
- Aire comprimido (presión 0.8 kg/cm)
- Acetileno (presión 0.4 kg/cm)
- Óxido de lantano J.T. Baker



## VI. DESARROLLO EXPERIMENTAL

El presente estudio se llevó a cabo en muestras digeridas de dientes deciduos (incisivos, caninos y molares) de escolares entre 9 y 10 de años de ambos sexos. Para determinar la concentración de calcio, cobre, cadmio, fierro y níquel se analizaron 303, 267, 292, 312 y 283 dientes respectivamente. La concentración de los metales se determinó por Espectrofotometría de Absorción Atómica con Flama, a una longitud de onda de 422.7 nm, 324.8 nm, 228.8 nm, 248.3 nm, 232.0 nm para calcio, cobre, cadmio, fierro y níquel respectivamente.

### 1. MÉTODO

Para evitar interferencias de trazas de metales, todo el material fue previamente lavado con jabón no iónico y enjuagado con agua desionizada, y se sumergió por 24 horas en una solución de ácido nítrico 1M, posteriormente se enjuagó con agua desionizada y fue secado.

Se trabajó con las muestras ya digeridas de dientes, las cuales fueron analizadas por Espectrofotometría de Absorción Atómica, obteniéndose así, las lecturas de las absorbancias correspondientes. De forma paralela se preparó un blanco y la curva de calibración de la solución de referencia conocida para cada elemento determinado. A partir de las lecturas del blanco y las lecturas de las soluciones de referencia se realizó una gráfica de absorbancia contra concentración, donde se obtuvo una gráfica lineal con un coeficiente de correlación ( $\geq 0.998$ ), se calculó  $b$  (ordenada al origen) y  $m$  (pendiente) y por interpolación de las lecturas de las muestras, se determinaron las concentraciones de los metales.

Cálculos:

$$y = mx + b$$

Despejando  $x$ :

$$x = \frac{y - b}{m}$$

Donde:



y = Absorbancia.

x = Concentración del metal en mg/L.

b = Ordenada al origen, proveniente de la curva de la solución de referencia.

m = Pendiente, proveniente de la curva de la solución de referencia.

Nota. Si la muestra se diluye, el resultado obtenido en mg/L del metal se multiplica por el factor de dilución.

## **2. Determinación de Calcio**

Realizar las diluciones necesarias para preparar soluciones de referencia de concentración conocida de una solución patrón concentrada (1000 ppm) para obtener soluciones con concentración de 10, 20, 50,75 y 100 ppm de calcio. Adicionar 1 mL de solución de óxido de lantano al 2 por ciento a cada una de las muestras, a la solución de referencia y al blanco. Se obtuvieron las lecturas de absorbancia en el Espectrofotómetro de Absorción Atómica a una longitud de onda de 422.7 nm con flama, empleando como gas aire-acetileno.

## **3. Determinación de Cobre**

Realizar las diluciones necesarias para preparar soluciones de referencia de concentración conocida de una solución patrón concentrada (1000 ppm) para obtener soluciones con concentración de 0.2, 0.5, 1.0 y 2.0 ppm de cobre. Se obtuvieron las lecturas de absorbancia en el Espectrofotómetro de Absorción Atómica a una longitud de onda de 228.8 nm con flama, empleando como gas aire-acetileno.

## **4. Determinación de Cadmio**

Realizar las diluciones necesarias para preparar soluciones de referencia de concentración conocida de una solución patrón concentrada (1000 ppm) para obtener soluciones con concentración de 0.2, 0.5, 1.0, 2.0 y 3.0 ppm de cadmio. Se obtuvieron las lecturas de absorbancia en el Espectrofotómetro de Absorción Atómica a una longitud de onda de 324.8 nm con flama, empleando como gas aire-acetileno.

## **5. Determinación de Fierro**

Realizar las diluciones necesarias para preparar soluciones de referencia de concentración conocida de una solución patrón concentrada (1000 ppm) para obtener soluciones con concentración de 0.2, 0.5, 1.0, 2.0 y 3.0 ppm de fierro. Se obtuvieron las lecturas de absorbancia en el Espectrofotómetro de Absorción Atómica a una longitud de onda de 248.3 nm con flama, empleando como gas aire-acetileno.



## **6. Determinación de Níquel**

Realizar las diluciones necesarias para preparar soluciones de referencia de concentración conocida de una solución patrón concentrada (1000 ppm) para obtener soluciones con concentración de 0.2, 0.5, 1.0 y 2.0 ppm de níquel. Se obtuvieron las lecturas de absorbancia en el Espectrofotómetro de Absorción Atómica a una longitud de onda de 232.0 nm con flama, empleando como gas aire-acetileno.

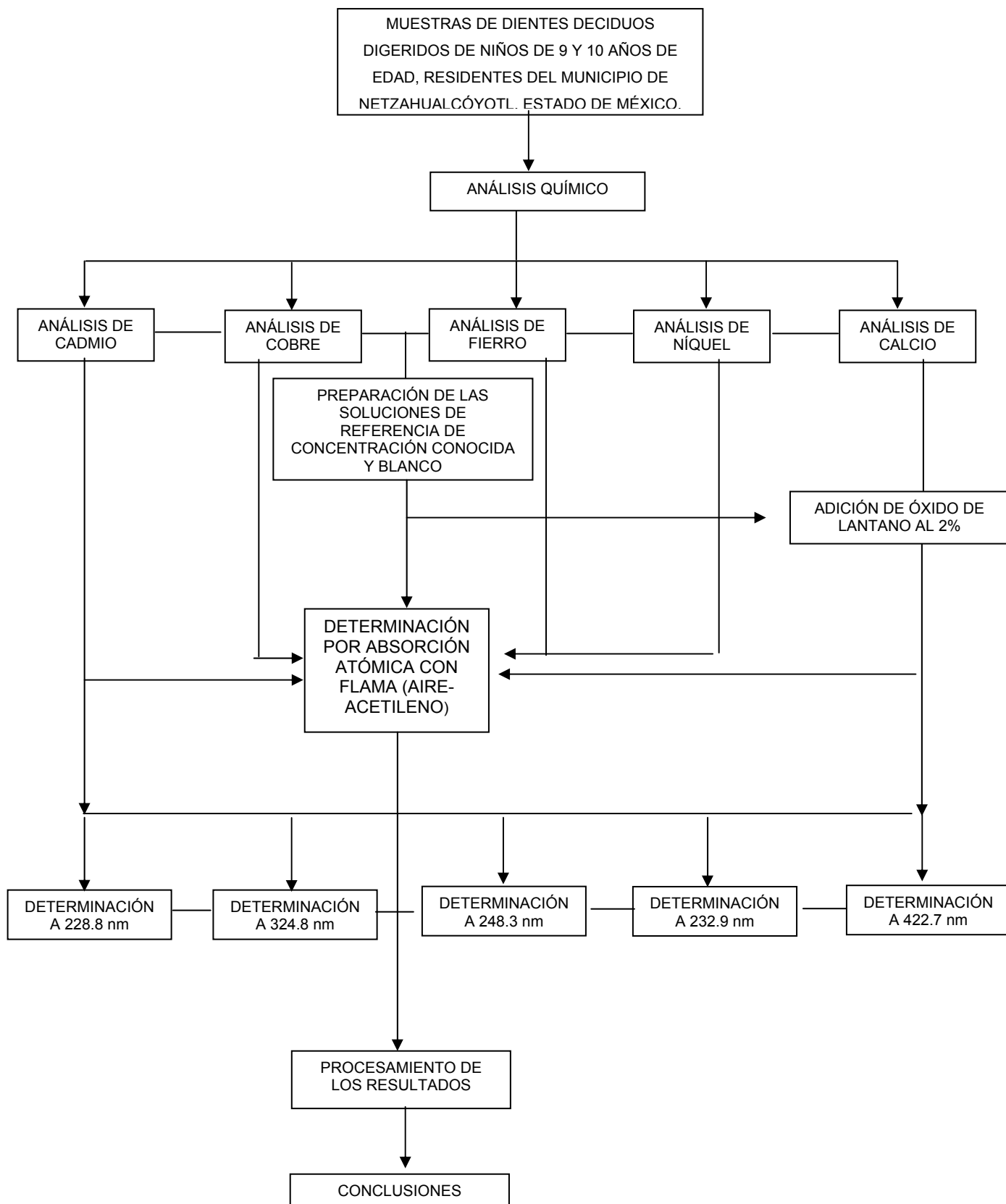
Las muestras y las soluciones de referencia se analizaron siguiendo las indicaciones de operación del Espectrofotómetro de Absorción Atómica.

Se aplicó un Análisis Estadístico de Varianza y la Prueba de Tukey, con la finalidad de corroborar la existencia de alguna diferencia estadística significativa entre las medias globales de las muestras de diente. Se tomó en cuenta, el sexo del donador, ubicación del diente en la arcada en el que se dividieron en dientes anteriores y posteriores, así como por tipo de diente, formándose para este manejo, tres grupos: un grupo de primeros molares, un segundo grupo por segundos molares y un tercer grupo formado por caninos e incisivos centrales y laterales.

Los análisis estadísticos fueron realizados con la ayuda del software de Análisis Estadístico (STATGRAPHICS Y SPSS), para el Diseño Completamente al Azar (DCA).<sup>28</sup>



### 7. Diagrama de Flujo





## VII. RESULTADOS

El objetivo general del presente estudio fue la determinación de la concentración de los elementos metálicos Ca, Cd, Cu, Fe y Ni en dientes deciduos de niños de 9 a 10 años, del Municipio de Nezahualcóyotl, Estado de México, mediante la técnica de Espectrofotometría de Absorción Atómica con Flama.

Cabe mencionar de manera particular, lo referente a calcio, lo cual no se reporta en el presente trabajo, debido a que se presentaron problemas metodológicos de índole técnica, donde los valores obtenidos estuvieron fuera de rango. Los resultados se muestran en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Media de concentración de cobre, hierro, cadmio y níquel en dientes deciduos de niños de 9 a 10 años de edad, mediante la técnica de Espectrofotometría de Absorción Atómica con Flama. Mpo. de Nezahualcóyotl. Edo. de México. 1993.

<i>Metal</i>	<i>n</i>	<i>Media de concentración</i>	<i>Mínimos</i>	<i>Máximos</i>
Cu	267	10.34 ± 7.37	0.06	38.36
Fe	312	86.32 ± 52.91	11.93	260.53
Cd	292	11.00 ± 6.93	0.53	38.38
Ni	283	25.78 ± 16.85	0.73	85.93

Fuente: Directa

Concentración: ppm

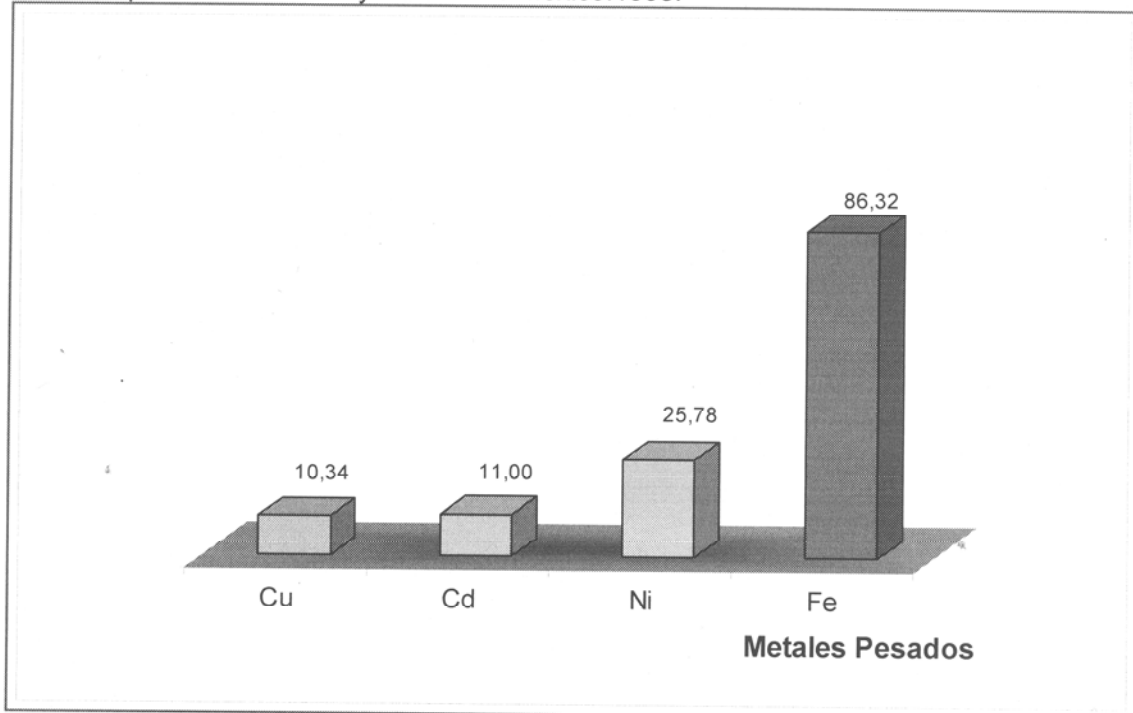
n: número de muestras

La media de concentración de los metales analizados presentaron una desviación estándar superior al 50 por ciento, lo que denotó una gran dispersión de la concentración de estos elementos en dientes deciduos, esto también puede evaluarse con los valores máximos y mínimos, como el níquel. Los resultados se muestran en el Cuadro 1.

La Gráfica 1 muestra que el metal más abundante fue el hierro y el que se encontró en menor cantidad fue el cobre. Los elementos cobre y cadmio estuvieron presentes en menor concentración en la totalidad de los dientes analizados.



Gráfica 1. Media de concentración de Cu, Fe, Cd, y Ni en dientes deciduos de niños de 9 a 10 años de edad, mediante la técnica de Espectrofotometría de Absorción Atómica con Flama. Mpo. de Nezahualcóyotl. Edo. de México. 1993.



Concentración: ppm

## DISTRIBUCIÓN DE METALES PESADOS EN DIENTES DECIDUOS

A continuación se presentan los resultados del análisis químico realizado en dientes deciduos de niños de 9 a 10 años de edad. El análisis se efectuó por sexo del donador; ubicación del diente en la arcada (anteriores y posteriores); así como por tipo de diente, formándose para este manejo tres grupos: un grupo de primeros molares, un segundo grupo de segundos molares y un tercer grupo formado por caninos e incisivos centrales y laterales.

### 1. Cuantificación de Cobre

#### *Análisis por sexo del donador*

De acuerdo al análisis, se obtuvo una concentración mínima de 0.06 ppm, en los donadores del sexo masculino. También se presentó una coincidencia con el valor máximo que fue 38.36 ppm tanto para donadores del sexo femenino como del masculino.

De acuerdo al procedimiento estadístico aplicado para el cobre, se concluyó que la concentración media fue semejante para ambos sexos ( $p > 0.05$ ). Lo que significa que el sexo del donador no determina la concentración de este elemento en los dientes analizados. Esto se puede observar en el Cuadro 2. Gráfica 2.



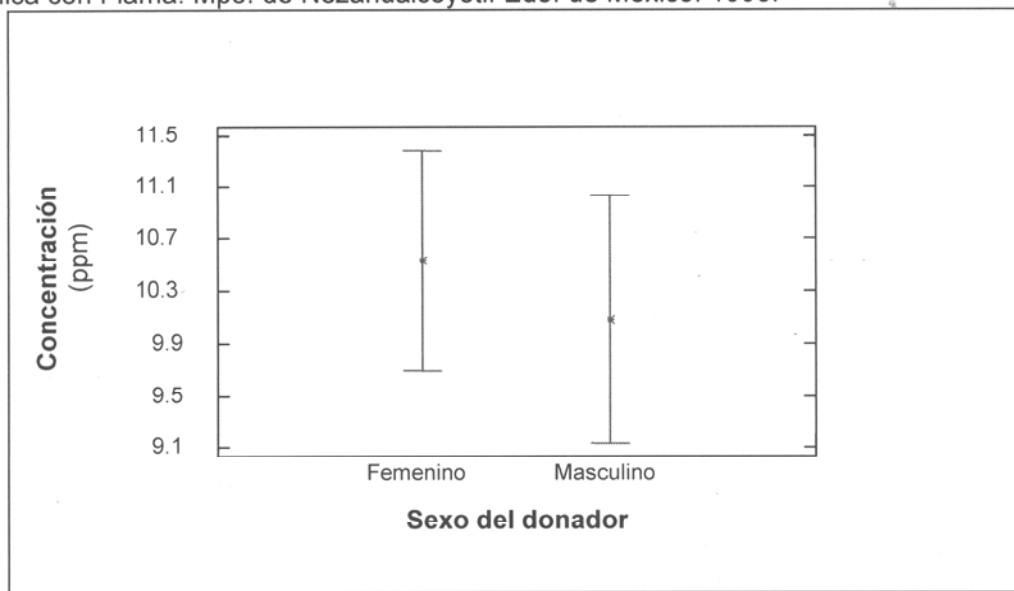


Cuadro 2. Media, máximos y mínimos de concentración de cobre por sexo del donador en dientes deciduos de niños de 9 a 10 años de edad, mediante la técnica de Espectrofotometría de Absorción Atómica con Flama. Mpo. de Nezahualcóyotl. Edo. de México. 1993.

Sexo	C o b r e			
	Media de Concentración	Mínimos	Máximos	$p > 0.05$
Femenino	10.53 ± 7.46	0.82	38.36	--
Masculino	10.08 ± 7.27	0.06	38.36	--

Fuente: Directa  
Concentración: ppm

Gráfica 2. Concentración media de cobre por sexo del donador en dientes deciduos de niños de 9 a 10 años de edad, mediante la técnica de Espectrofotometría de Absorción Atómica con Flama. Mpo. de Nezahualcóyotl. Edo. de México. 1993.



*Análisis por diente según su ubicación en la arcada*

Por ubicación del diente en la arcada, se determinó, que la media de concentración del cobre no presentó diferencia estadísticamente significativa ( $p > 0.05$ ). Lo anterior se puede apreciar en el Cuadro 3. Gráfica 3

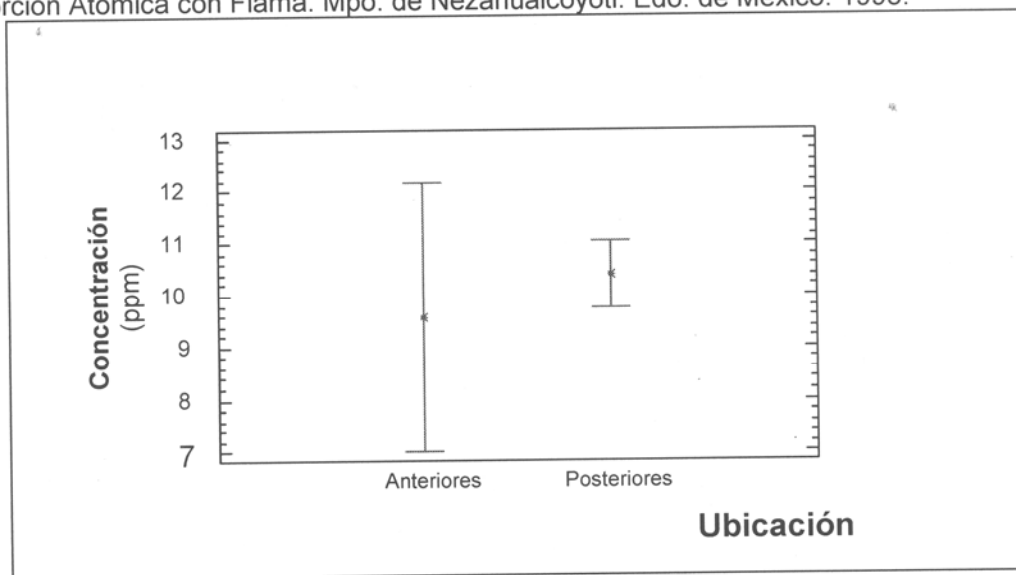


Cuadro 3. Concentración media de cobre en dientes deciduos de niños de 9 a 10 años de edad, según su ubicación en la arcada, mediante la técnica de Espectrofotometría de Absorción Atómica con Flama. Mpo. de Nezahualcóyotl. Edo. de México. 1993.

Dientes	Cobre	Prueba de Tukey
	Media de Concentración	$p > 0.05$
Anteriores	$9.57 \pm 9.86$	--
Posteriores	$10.38 \pm 7.20$	--

Fuente: Directa  
Concentración: ppm

Gráfica 3. Concentración media de cobre en dientes deciduos de niños de 9 a 10 años de edad, según su ubicación en la arcada, mediante la técnica de Espectrofotometría de Absorción Atómica con Flama. Mpo. de Nezahualcóyotl. Edo. de México. 1993.



#### Análisis por tipo de diente

De acuerdo al análisis estadístico por tipo de diente, se concluyó que no existe diferencia estadísticamente significativa ( $p > 0.05$ ). Por lo tanto, podemos afirmar con un 95 % de confianza que la concentración media de cobre es uniforme para el conjunto de incisivos centrales, laterales, caninos, primer y segundo molar. Ver Cuadro 4. Gráfica 4.

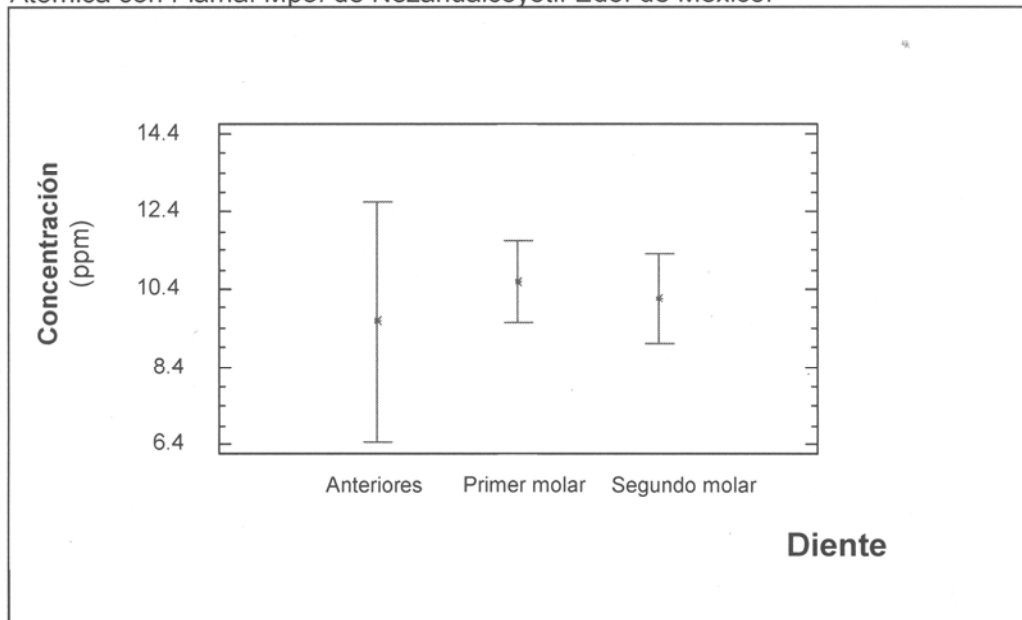


Cuadro 4. Concentración media de cobre en dientes deciduos de niños de 9 a 10 años de edad por tipo de diente, mediante la técnica de Espectrofotometría de Absorción Atómica con Flama. Mpo. de Nezahualcóyotl. Edo. de México. 1993.

<i>Dientes</i>	<i>Cobre</i> <i>Media de Concentración</i>	<i>Prueba de Tukey</i> <i>p&gt;0.05</i>
Anteriores	9.57 ± 9.86	--
Primer molar	10.59 ± 7.56	--
Segundo molar	10.14 ± 6.78	--

Fuente: Directa  
Concentración: ppm

Gráfica 4. Concentración media de cobre en dientes deciduos de niños de 9 a 10 años de edad por tipo de diente, mediante la técnica de Espectrofotometría de Absorción Atómica con Flama. Mpo. de Nezahualcóyotl. Edo. de México.



## 2. Cuantificación de Cadmio

A pesar de que la concentración de cadmio solo varió por 6 décimas, coloca a este elemento como el segundo de menor concentración en el presente estudio.

### *Análisis por sexo del donador*

De acuerdo al análisis comparativo entre el sexo femenino y masculino para el cadmio, se puede concluir que no existe diferencia significativa entre ambos sexos. Por lo tanto el sexo del donador no influye el nivel de cadmio determinado en los dientes analizados. Ver Cuadro 5. Gráfica 5.

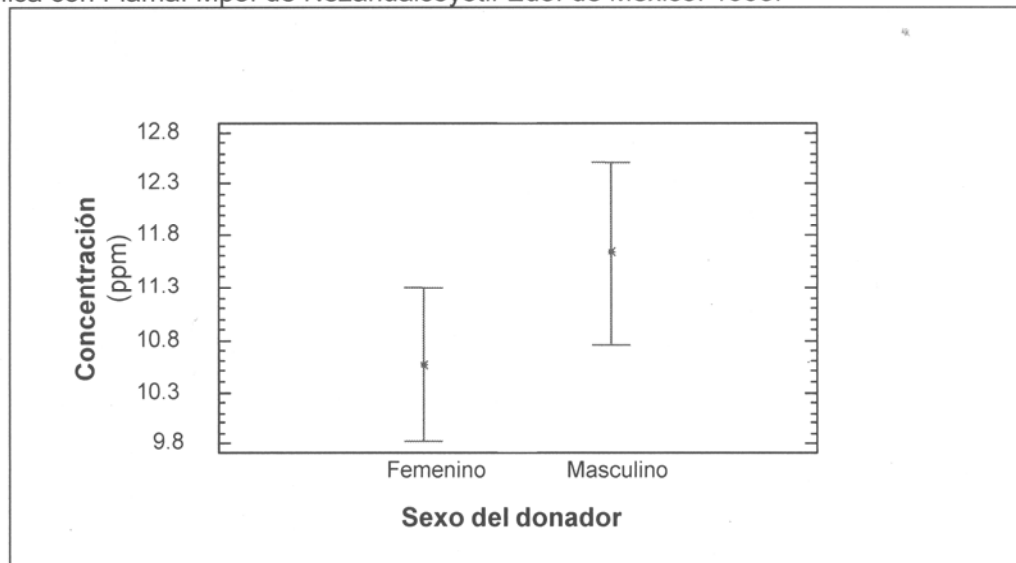


Cuadro 5. Media, máximos y mínimos de concentración de cadmio por sexo de donador en dientes deciduos de niños de 9 a 10 años de edad, mediante la técnica de Espectrofotometría de Absorción Atómica con Flama. Mpo. de Nezahualcóyotl. Edo. de México. 1993.

Sexo	C a d m i o			
	Media de Concentración	Mínimos	Máximos	p>0.05
Femenino	10.57 ± 6.56	0.53	38.38	--
Masculino	11.64 ± 7.42	0.81	36.31	--

Fuente: Directa  
Concentración: ppm

Gráfica 5. Concentración media de cadmio por sexo del donador en dientes deciduos de niños de 9 a 10 años de edad, mediante la técnica de Espectrofotometría de Absorción Atómica con Flama. Mpo. de Nezahualcóyotl. Edo. de México. 1993.



*Análisis por diente según su ubicación en la arcada*

La concentración media de cadmio presentó una variación significativa ( $p < 0.05$ ) de acuerdo a la ubicación del diente en la arcada; encontrando la menor concentración en los dientes posteriores, esto se puede ver en el Cuadro 6. Gráfica 6.

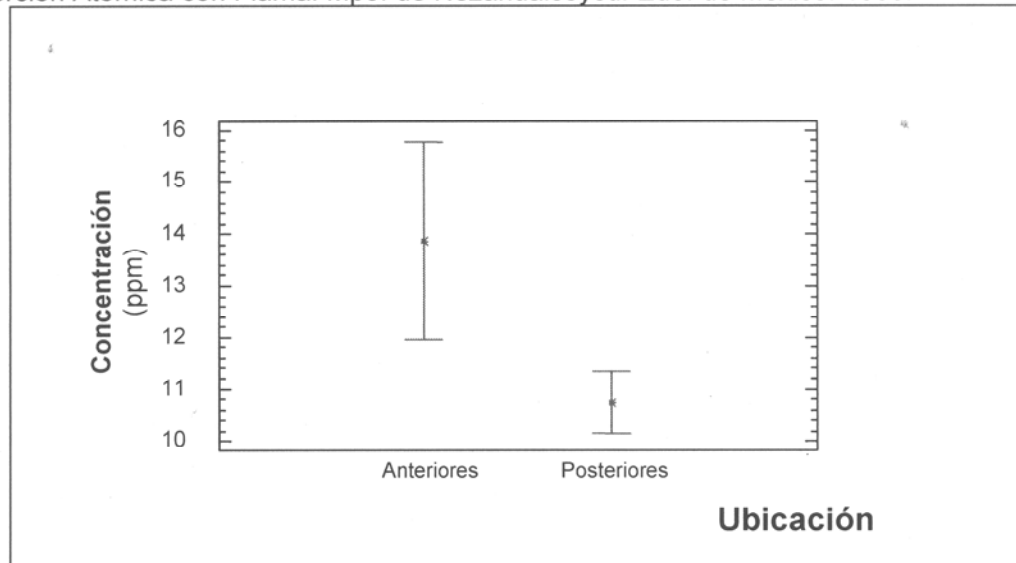


Cuadro 6. Concentración media de cadmio en dientes deciduos de niños de 9 a 10 años de edad, según su ubicación en la arcada, mediante la técnica de Espectrofotometría de Absorción Atómica con Flama. Mpo. de Nezahualcóyotl. Edo. de México. 1993.

<i>Dientes</i>	<i>Cadmio</i> <i>Media de Concentración</i>	<i>Prueba de Tukey</i> <i>p&lt;0.05</i>
Anteriores	13.858 ± 8.04	--
Posteriores	10.74 ± 6.78	--

Fuente: Directa  
Concentración: ppm

Gráfica 6. Concentración media de cadmio en dientes deciduos de niños de 9 a 10 años de edad, según su ubicación en la arcada, mediante la técnica de Espectrofotometría de Absorción Atómica con Flama. Mpo. de Nezahualcóyotl. Edo. de México. 1993.



#### *Análisis por tipo de diente*

La concentración media de cadmio no fue igual en el primer y segundo molar, así como en los caninos e incisivos centrales y laterales (Cuadro 7), la diferencia fue estadísticamente significativa ( $p<0.05$ ).

La tabla de análisis de varianza permitió rechazar  $H_0$  ( $p<0.05$ ), es decir, que al menos un par de medias es diferente. La comparación de las medias con las Pruebas de Tukey y de Rango Múltiple determinaron que la concentración de cadmio fue diferente entre los dientes anteriores y los segundos molares. Ver Cuadro 8.

Como se observa en la Gráfica 7, los dientes anteriores (caninos, incisivos centrales y laterales) presentaron la mayor concentración y los segundos molares son los que presentaron la concentración más baja.



Cuadro 7. Concentración media de cadmio en dientes deciduos de niños de 9 a 10 años de edad por tipo de diente, mediante la técnica de Espectrofotometría de Absorción Atómica con Flama. Mpo. de Nezahualcóyotl. Edo. de México. 1993.

<i>Dientes</i>	<i>Cadmio</i> <i>Media de Concentración</i>	<i>Prueba de Tukey</i> <i>p&lt;0.05</i>
Anteriores	13.86 ± 8.04	--
Primer molar	11.62 ± 7.28	--
Segundo molar	9.69 ± 6.00	--

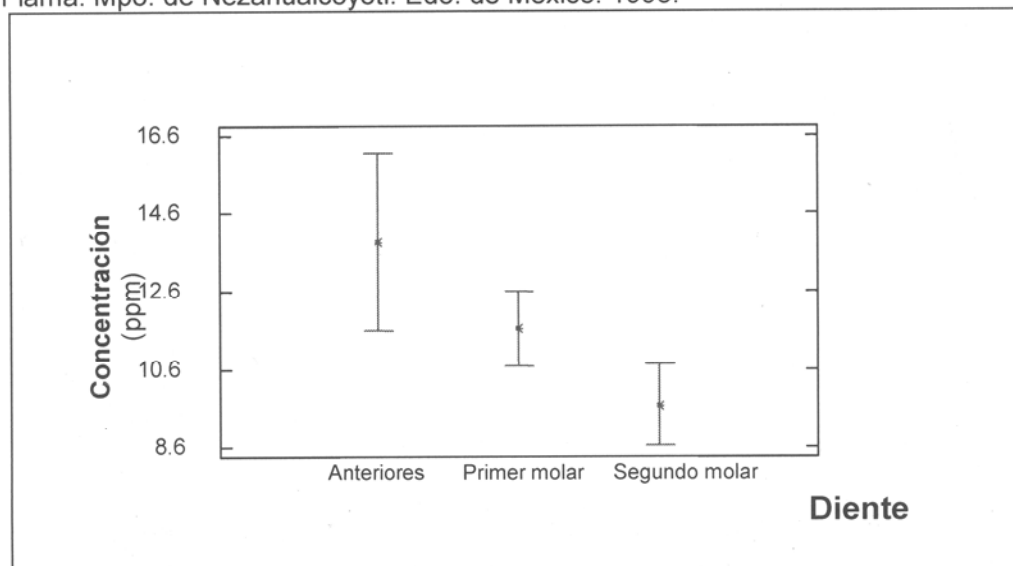
Fuente: Directa  
Concentración: ppm

Cuadro 8. Prueba de Tukey y de Rango Múltiple para cadmio por tipo de diente.

<i>Comparación por tipo de diente</i>	<i>Diferencia de medias</i>	<i>± Limites</i>
anteriores - primer molar	2.23055	3.50
anteriores - segundo molar	**4.16825	3.55
primer molar - segundo molar	1.93769	1.99

\*\* denota diferencia estadísticamente significativa

Gráfica 7. Concentración media de cadmio en dientes deciduos de niños de 9 a 10 años de edad por tipo de diente, mediante la técnica de Espectrofotometría de Absorción Atómica con Flama. Mpo. de Nezahualcóyotl. Edo. de México. 1993.





### 3. Cuantificación de Hierro

#### Análisis por sexo del donador

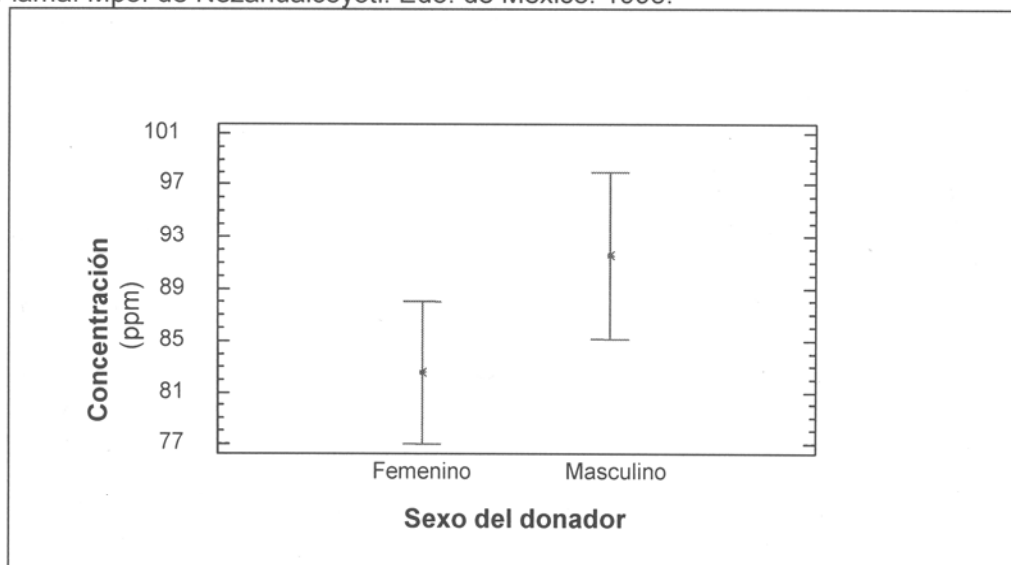
De acuerdo al análisis estadístico aplicado para comparar las medias globales, se determinó, que la media de concentración de hierro es semejante en el sexo femenino y masculino ( $p > 0.05$ ), por lo tanto esta variable no interfiere en las concentraciones determinadas. Ver Cuadro 9. Gráfica 8.

Cuadro 9. Media, máximos y mínimos de concentración de hierro por sexo de donador en dientes deciduos de niños de 9 a 10 años de edad, mediante la técnica de Espectrofotometría de Absorción Atómica con Flama. Mpo. de Nezahualcóyotl. Edo. de México. 1993.

<i>Fierro</i>				
<i>Sexo</i>	<i>Media de Concentración</i>	<i>Mínimos</i>	<i>Máximos</i>	<i>p &gt; 0.05</i>
Femenino	82.55 ± 53.58	11.93	260.53	--
Masculino	91.53 ± 51.72	15.21	232.34	--

Fuente: Directa  
Concentración: ppm

Gráfica 8. Concentración media de hierro por sexo del donador en dientes deciduos de niños de 9 a 10 años de edad, mediante la técnica de Espectrofotometría de Absorción Atómica con Flama. Mpo. de Nezahualcóyotl. Edo. de México. 1993.



#### Análisis por diente según su ubicación en la arcada

La concentración media de hierro no fue igual en dientes anteriores y posteriores, sí existió una diferencia estadísticamente significativa ( $p < 0.05$ ). Donde los dientes anteriores



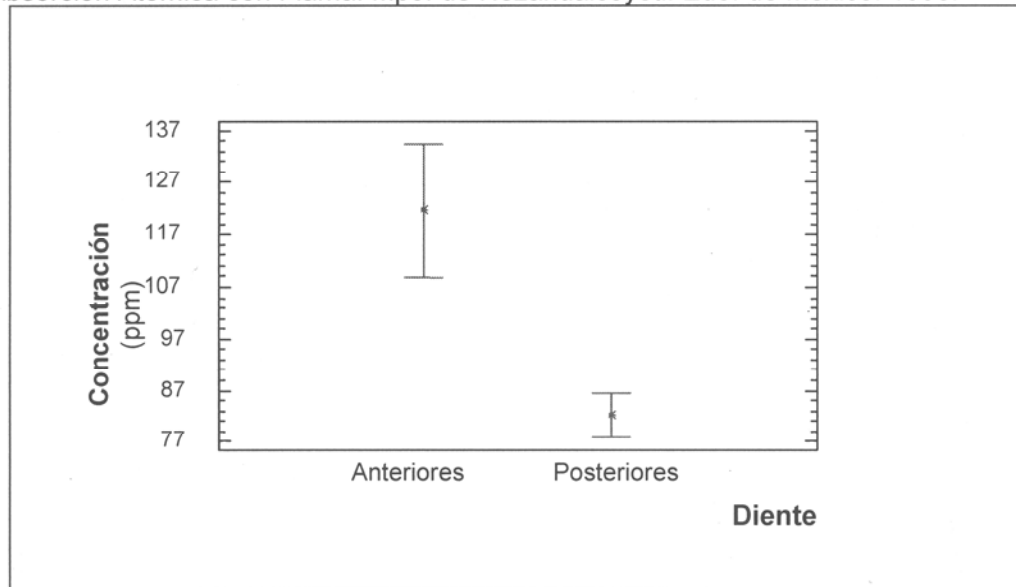
presentaron la mayor concentración. Ver Cuadro 10 y Gráfica 9.

Cuadro 10. Concentración media de fierro en dientes deciduos de niños de 9 a 10 años de edad, según su ubicación en la arcada, mediante la técnica de Espectrofotometría de Absorción Atómica con Flama. Mpo. de Nezahualcóyotl. Edo. de México. 1993.

<i>Dientes</i>	<i>Fierro</i> <i>Media de Concentración</i>	<i>Prueba de Tukey</i> <i>p&lt;0.05</i>
Anteriores	121.68 ± 61.70	--
Posteriores	82.28 ± 50.37	--

Fuente: Directa  
Concentración: ppm

Gráfica 9. Concentración media de fierro en dientes deciduos de niños de 9 a 10 años de edad, según su ubicación en la arcada, mediante la técnica de Espectrofotometría de Absorción Atómica con Flama. Mpo. de Nezahualcóyotl. Edo. de México. 1993.



#### *Análisis por tipo de diente*

Referente al análisis por tipo de diente se concluyó que la concentración media para fierro presentó una diferencia fue estadísticamente significativa ( $p<0.05$ ). Esto se puede apreciar en el Cuadro 11.

Se realizó una comparación simultánea entre las medias obtenidas después de rechazar  $H_0$  (Prueba Tukey y de Rango Múltiple) donde la diferencia significativa (\*\*) estuvo entre los dientes anteriores (caninos, incisivos centrales y laterales) con los primeros y segundos molares (Cuadro 12). De acuerdo al estadígrafo de prueba aplicado se concluyó que el





primer y segundo molar tuvieron concentraciones medias de fierro semejantes, y los dientes que presentaron la mayor concentración de fierro fueron los dientes anteriores. Ver Gráfica 10.

Cuadro 11. Concentración media de fierro en dientes deciduos de niños de 9 a 10 años de edad por tipo de diente, mediante la técnica de Espectrofotometría de Absorción Atómica con Flama. Mpo. de Nezahualcóyotl. Edo. de México. 1993.

<i>Dientes</i>	<i>Fierro</i> <i>Media de Concentración</i>	<i>Prueba de Tukey</i> <i>p&lt;0.05</i>
Anteriores	121.68 ± 61.70	--
Primer molar	87.13 ± 54.04	--
Segundo molar	76.09 ± 44.73	--

Fuente: Directa  
Concentración: ppm

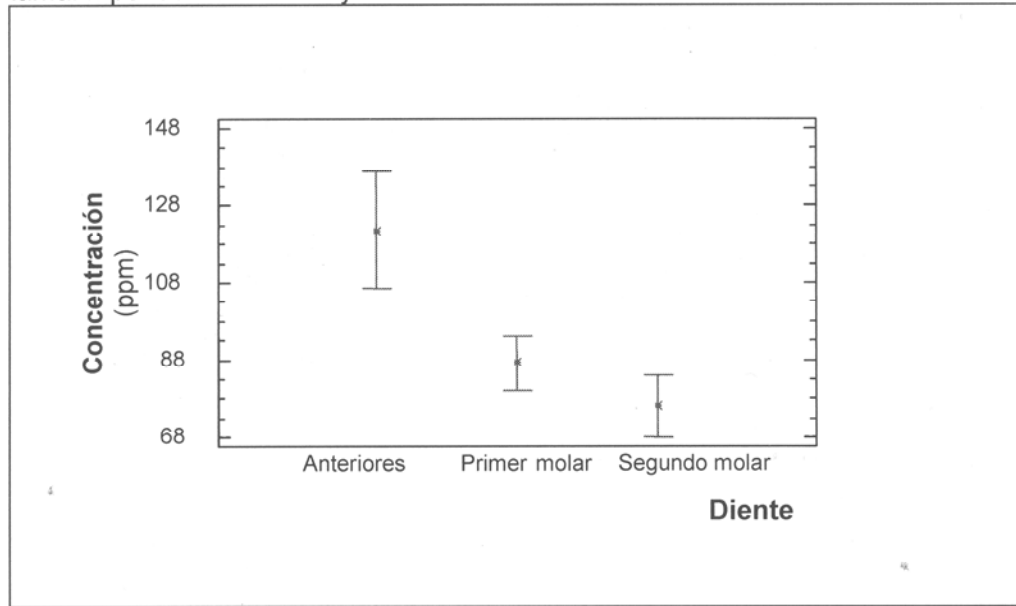
Cuadro 12. Prueba de Tukey y de Rango Múltiple para fierro por tipo de diente.

<i>Comparación por tipo de diente</i>	<i>Diferencia de medias</i>	<i>± Limites</i>
anteriores - primer molar	** 34.54	23.50
anteriores - segundo molar	** 45.89	24.04
primer molar - segundo molar	11.04	14.59

\*\* denota diferencia estadísticamente significativa.



Gráfica 10. Concentración media de fierro en dientes deciduos de niños de 9 a 10 años de edad por tipo de diente, mediante la técnica de Espectrofotometría de Absorción Atómica con Flama. Mpo. de Nezahualcóyotl. Edo. de México. 1993.



### 3. Cuantificación de Níquel

#### Análisis por sexo del donador

En el presente estudio el níquel fue el segundo elemento traza de mayor concentración con una media global de 25.79 ppm ( $\pm 16.85$ ) por sexo del donador, lo cual se muestra en el Cuadro 13. De acuerdo al análisis estadístico se realizó la comparativa de las medias de concentración para níquel, concluyéndose que la concentración media de níquel es semejante tanto en el sexo femenino como masculino ( $p > 0.05$ ).

Cuadro 13. Media, máximos y mínimos de concentración de níquel por sexo de donador en dientes deciduos de niños de 9 a 10 años de edad, mediante la técnica de Espectrofotometría de Absorción Atómica con Flama. Mpo. de Nezahualcóyotl. Edo. de México. 1993.

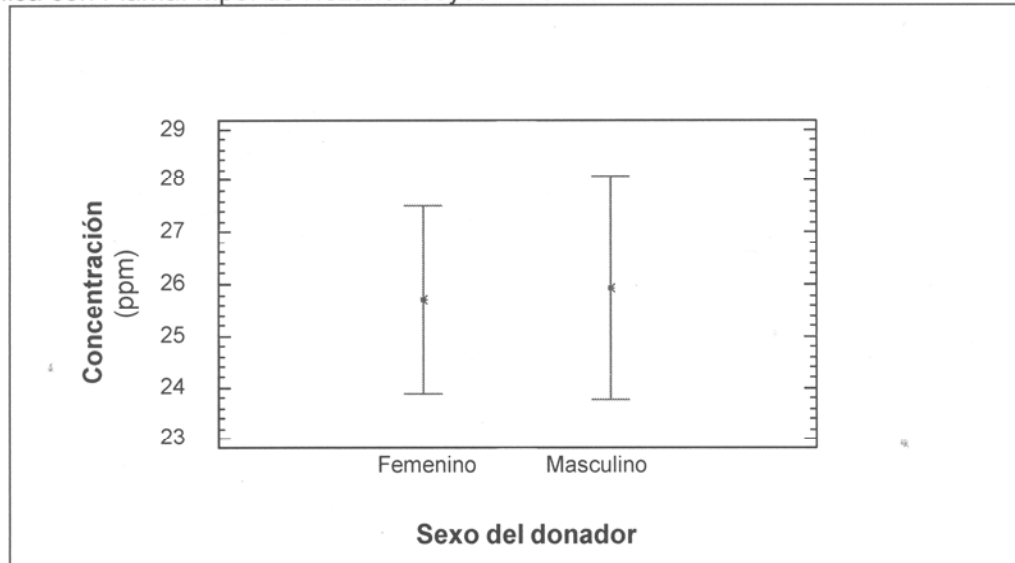
Sexo	N í q u e l			$p > 0.05$
	Media de Concentración	Mínimos	Máximos	
Femenino	25.69 $\pm$ 16.67	0.73	85.93	--
Masculino	25.92 $\pm$ 17.18	0.74	84.82	--

Fuente: Directa  
Concentración: ppm



La desviación estándar para níquel fue alta, lo cual se pudo deber a la dispersión y diversidad de los datos obtenidos en este estudio. Ver Gráfica 11.

Gráfica 11. Concentración media de níquel por sexo del donador en dientes deciduos de niños de 9 a 10 años de edad, mediante la técnica de Espectrofotometría de Absorción Atómica con Flama. Mpo. de Nezahualcóyotl. Edo. de México. 1993.



#### *Análisis por diente según su ubicación en la arcada*

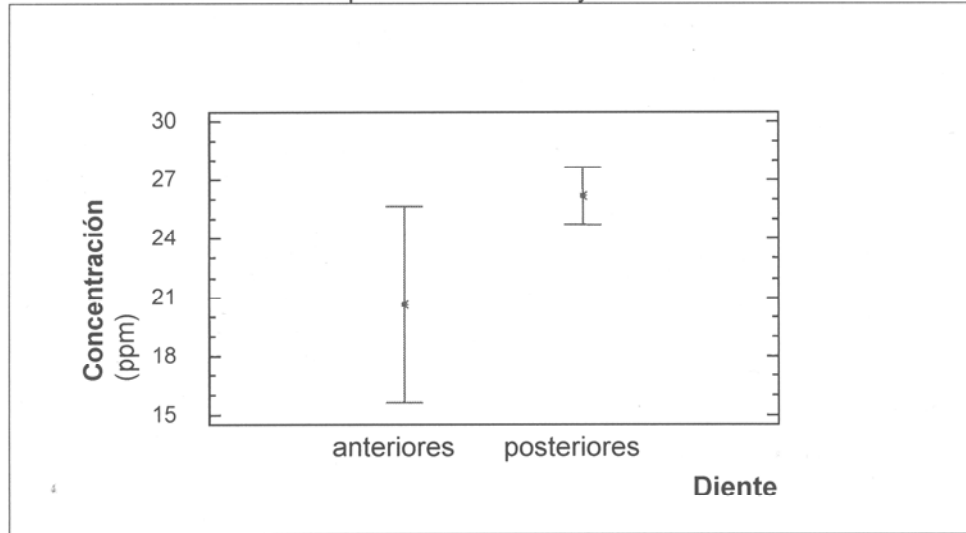
Respecto al análisis realizado al níquel por ubicación en la arcada, se concluyó que no existe diferencia estadísticamente significativa ( $p > 0.05$ ). Lo que significa que la concentración media de níquel es semejante tanto en los dientes anteriores como los posteriores. Como se muestra en el Cuadro 14 y Gráfica 12.

Cuadro 14. Concentración media de níquel en dientes deciduos de niños de 9 a 10 años de edad según su ubicación en la arcada, mediante la técnica de Espectrofotometría de Absorción Atómica con Flama. Mpo. de Nezahualcóyotl. Edo. de México. 1993.

<i>Dientes</i>	<i>Níquel</i> <i>Media de Concentración</i>	<i>Prueba de Tukey</i> <i><math>p &gt; 0.05</math></i>
Anteriores	20.65 ± 17.67	--
Posteriores	26.22 ± 16.74	--

Fuente: Directa  
Concentración: ppm

Gráfica 12. Concentración media de níquel en dientes deciduos de niños de 9 a 10 años de edad según su ubicación en la arcada, mediante la técnica de Espectrofotometría de Absorción Atómica con Flama. Mpo. de Nezahualcóyotl. Edo. de México. 1993.



#### Análisis por tipo de diente

De acuerdo al estadígrafo de prueba aplicado, se puede asegurar con un 95 % de confianza que no hay diferencia estadísticamente significativa para el níquel por tipo de diente ( $p > 0.05$ ). Se puede expresar que la concentración media de níquel es similar en dientes anteriores, primer y segundo molar, como se observa en el Cuadro 15. Sin embargo, la concentración fue mayor en los segundos molares, lo cual podemos observar en el Gráfico 13.

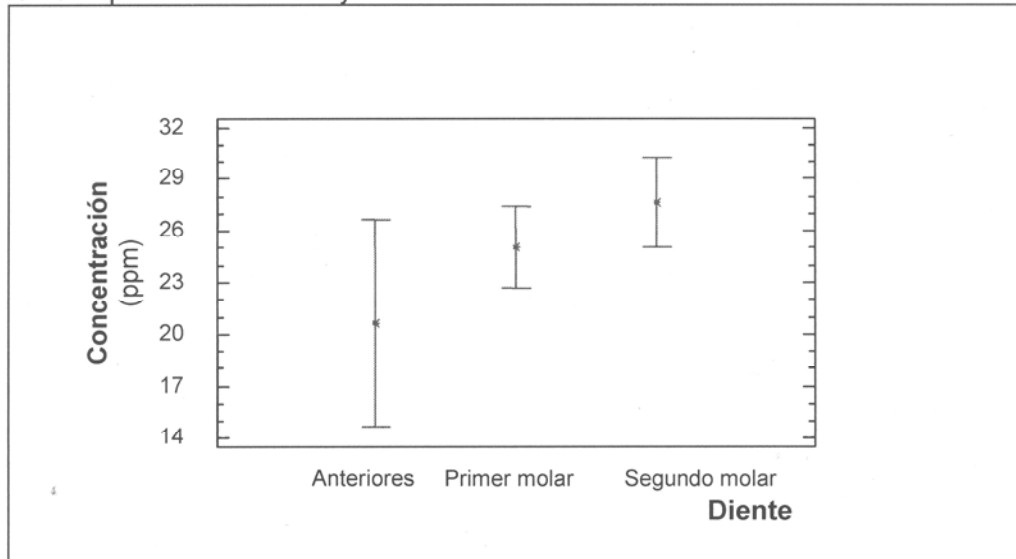
Cuadro 15. Concentración media de níquel en dientes deciduos de niños de 9 a 10 años de edad por tipo de diente, mediante la técnica de Espectrofotometría de Absorción Atómica con Flama. Mpo. de Nezahualcóyotl. Edo. de México. 1993.

Dientes	Níquel Media de Concentración	Prueba de Tukey $p > 0.05$
Anteriores	20.65 ± 17.67	--
Primer molar	25.02 ± 17.81	--
Segundo molar	27.63 ± 15.35	--

Fuente: Directa  
Concentración: ppm



Gráfica 13. Concentración media de níquel en dientes deciduos de niños de 9 a 10 años de edad por tipo de diente, mediante la técnica de Espectrofotometría de Absorción Atómica con Flama. Mpo. de Nezahualcóyotl. Edo. de México. 1993.





## VIII. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La concentración determinada en diente total para Cu, Cd, Fe y Ni por sexo del donador, presentaron una uniformidad de contenido. No obstante, por ubicación en la arcada y por tipo de diente los datos fueron semejantes solo para Cu y Ni, pero no para Fe y Cd donde la diferencia fue significativa, por tanto la hipótesis planteada en el presente estudio se rechaza.

La creciente contaminación ambiental, durante los últimos años, ha provocado un incremento de la exposición de los seres humanos a metales pesados, los cuales no son fáciles de desechar e incluso pueden ser nocivos para la salud. Algunos de estos metales, como el cobre y fierro son conocidos por ser elementos traza esenciales, los cuales participan en funciones específicas del metabolismo como componentes de enzimas.<sup>17, 34</sup> Otros, tales como el níquel y cadmio, son considerados como no esenciales y ejercen solo efectos tóxicos en los sistemas biológicos.

La detección de la exposición crónica a estos elementos se ha intentado en muestras tales como los huesos, la sangre, las uñas y el pelo; sin embargo, diversos reportes<sup>5, 21, 34, 37, 38</sup> han señalado que el análisis químico de los dientes son los mejores indicadores de una exposición crónica a dichos metales, debido a la estabilidad física que muestran.

El estudio de metales traza se ha efectuado en dientes temporales y dientes permanentes, ya sea separando el tejido que constituye el diente, en esmalte,<sup>8, 11, 27, 39, 41-43</sup> dentina<sup>10, 13, 21, 40</sup> y pulpa,<sup>37, 44</sup> o bien como diente total.<sup>5, 12, 14, 38, 45</sup>

Los factores que establecen el tratamiento que se le dará a la muestra, así como el método de análisis más conveniente para la determinación del cobre son la edad de los dientes,<sup>14, 21, 41, 42</sup> y el estado del diente, que puede ser sin caries,<sup>2, 3, 4, 43</sup> o con caries,<sup>14, 22, 27, 41, 43</sup> trayendo como consecuencia una diferencia entre las técnicas empleadas tanto para la preparación de la muestra, como para la determinación química, lo que dificulta grandemente la comparación entre diversos estudios. A este respecto, Losee y cols., apuntan que se deben de tomar en cuenta, incluso, los tipos de dientes utilizados, la historia de la zona geográfica,



así como el origen y los métodos experimentales utilizados, ya que si no se cuenta con estos referendos resulta sumamente difícil realizar una comparativa con la literatura.

## 1. Cobre

La presencia de cobre en los dientes temporales de niños de 9 a 10 años no está influida por ninguna de las variables consideradas en el presente estudio, es decir, no está influida por el sexo, por el tipo de diente, ni por su ubicación en la arcada. De acuerdo a diversos estudios las variaciones en la concentración de cobre en diente, dependen de la zona geográfica de donde provienen las muestras.<sup>8, 14, 22, 27, 44, 42</sup> Ello está, básicamente, ligado al contenido de cobre que se pueda encontrar en el suelo,<sup>14, 41</sup> y el agua,<sup>8, 13, 14, 41, 46</sup> los que simultáneamente se incluyen en la dieta.<sup>11, 38, 41</sup> En el caso particular de los dientes temporales es necesario hacer énfasis que estos se forman durante la gestación del feto,<sup>24</sup> por lo cual el contenido de diversos elementos, tales como el cobre, en este tipo de dientes, depende directamente de la dieta de la madre del donador.

El contenido de cobre en diente total obtenido en este estudio es similar a la reportada por Lappalainen y Knuutila, en 1979.<sup>14</sup> Así como al rango reportado en el estudio de Brown y cols.,<sup>38</sup> que fue de 1-45 µg/g. Sin embargo, hay estudios que difieren de nuestros resultados como los de Attramadal y cols.,<sup>5</sup> cuyas concentraciones se encuentran en el rango de 0.20-0.64 µg/g, que son concentraciones sumamente bajas.

Cabe señalar que fueron detectadas concentraciones similares en esmalte y dentina de dientes permanentes, en dos estudios<sup>21,27</sup> realizados en 1974; no obstante, también se han reportado valores más bajos a lo obtenido en esta investigación, como los de Söremark y Samsahl<sup>39</sup> que reportaron valores de 0.26 ppm en esmalte y de 0.21 ppm en la dentina, o como el de Carvalho y cols.<sup>37</sup> que reportaron valores en dentina de raíz de 2.2 µgCu/g (± 1.7), en pulpa 2.0 µgCu/g (± 1.5), en corona de dentina 2.5 µgCu/g (± 1.7) y en esmalte 2.1 µgCu/g (± 1.6).

En un estudio realizado en diente total permanente, originarios de diferentes áreas geográficas de Finlandia, reportaron un valor mínimo de 2.98 µgCu/g y un valor máximo de 21.4 µgCu/g; donde describieron que el factor que interviene en la captación de este elemento traza es su presencia en la tierra.<sup>14</sup> Losee y cols.<sup>27</sup> realizaron un estudio más completo sobre elementos traza en esmalte, en diferentes comunidades de Estados Unidos, reportando un valor mínimo de 2 µgCu /g y un valor máximo de 43 µgCu /g.



Al parecer, para dientes permanentes la edad puede influir, tal como fue reportado en el estudio realizado por Derise y Ritchey<sup>21</sup> en el cual se agruparon las muestras por edad y sexo, se encontraron diferencias significativas en el grupo de 13-16 años de edad.

Knychalska y cols.,<sup>12</sup> en el estudio realizado en dientes permanentes y temporales, utilizando la técnica de microanálisis por rayos X, determinaron que la cantidad de cobre, está en menor proporción en dientes temporales. Otro estudio<sup>44</sup> realizado en el año 2000 en dientes antiguos, donde se aplicó la técnica de Espectrometría de Fluorescencia de Rayos X, reportaron la concentración menor en la porción del esmalte.

## 2. Cadmio

Se han realizado estudios respecto a la concentración de cadmio en diferentes partes del diente, tales como: esmalte<sup>27, 42, 43</sup> y dentina<sup>45</sup>, así mismo, ha sido determinado tanto en dientes primarios<sup>14, 47</sup> como permanentes<sup>5, 16</sup>. Los resultados de todos estos estudios son altamente heterogéneos, por ejemplo, tenemos el estudio de Grunke y cols.,<sup>45</sup> que obtuvieron un valor medio de 0.01 µgCd/g y los de Losee y cols.,<sup>27</sup> que obtuvieron un valor medio de 14.9 µgCd/g con un rango de 0.4-74 µgCd/g. Por otra parte investigaciones realizadas con muestras provenientes de Estados Unidos y Nueva Zelanda reportan datos con un valor medio de 0.99 µgCd/g y 3.3 µgCd/g respectivamente.<sup>5</sup>

Los resultados sobre cadmio obtenidos en la presente investigación difieren notablemente, con lo reportado en la literatura por diversos autores entre los que pueden citarse a Lappalainen,<sup>14</sup> Vrbic,<sup>11</sup> Losee,<sup>27</sup> Meyer,<sup>48</sup> Nowak,<sup>47</sup> cuyas determinaciones fueron realizadas por la técnica de Espectrofotometría de Absorción Atómica, al igual que este estudio, por lo que la mencionada variación no puede ser explicada por la diferencia en el método analítico.<sup>19</sup>

Debido a lo cual se realizó una revisión más amplia del entorno o zona de residencia de los donadores, observándose que esta diferencia puede ser explicada por la zona geográfica de donde provienen las muestras, como ha sido señalado por Curzon y cols.<sup>8</sup> El Municipio de Nezahualcóyotl,<sup>49</sup> tiene en las inmediaciones tiraderos de basura, en los cuales se originan grandes cantidades de lixiviados,<sup>25</sup> que contienen una alta cantidad de cadmio, que al secarse son arrastrados por el viento. Es probable que la mayor parte del cadmio encontrado en el diente haya sido en forma adventicia, ya que los resultados obtenidos en el presente estudio mostraron que la concentración en dientes anteriores fue mayor que en los posteriores. No obstante Grunke y cols.,<sup>45</sup> analizaron dientes primarios, afirmando que la





variación en la concentración de cadmio depende tanto del tipo de diente como de su posición en la arcada, lo cual se pudo constatar en el presente estudio.

Suponemos que gran parte de cadmio se incorpora al organismo por medio del agua de consumo humano,<sup>50</sup> así como por la dieta del donador, ya que estudios realizados en animales, revelaron que la dieta baja en calcio, proteínas, zinc, fierro y cobre puede incrementar la absorción del cadmio en el intestino. El estar relacionado con gente fumadora, expone al donador a inhalar el humo del tabaco, ya que un cigarrillo contiene 1.5 a 2.0 µg de cadmio, y un 70 por ciento del humo se mezcla con el aire que respiramos.<sup>16,29</sup>

De una a otra zona del planeta, se multiplican los trabajos que descubren niveles elevados de cadmio, tanto en seres vivos, como en aguas y suelos de áreas sometidas a una fuente de contaminación. Los efectos de la contaminación por cadmio del subsuelo y de las aguas subterráneas, permanecen de forma aún no determinada. Se han detectado concentraciones elevadas de cadmio, en diversas zonas después de más de 50 años. Los efectos nocivos de la contaminación ambiental por cadmio sobre la salud humana son bien conocidos. En 1968 se describió el síndrome de Itai-Itai, en familias agrícolas de Toyama (Japón), y recientemente se han descrito casos similares por exposición crónica al cadmio en Tiangxi (China), relacionados con la contaminación de alimentos por aguas de regadío procedentes de lugares próximos a explotaciones mineras de tungsteno. En Europa, los casos conocidos de exposición ambiental al cadmio se han ligado tanto a la contaminación atmosférica como a los residuos sólidos y, sobre todo, a la contaminación de las aguas de superficie. El cadmio es incorporado al aire, teniendo como fuentes, la minería, la industria, y al quemar carbón y desechos domésticos. También entra al agua y al suelo de vertederos y de derrames o escapes en sitios de desechos peligrosos. Todos estos factores repercutirían en un aumento del contenido de cadmio en los alimentos vegetales, con los efectos nocivos sobre la salud humana que esto conlleva. El cadmio permanece en el organismo por largo tiempo y puede acumularse después de años de exposición a bajos niveles. La vida media del cadmio en el organismo es aproximadamente de 10 a 30 años.<sup>16</sup>

Existen otras técnicas de análisis como la Emisión de Rayos X inducido por protón, Espectrometría de Rayos Gama, Activación de Neutrón, técnicas que fueron usadas en décadas pasadas, y hoy en día además de la Espectrofotometría de Absorción Atómica en sus diferentes modalidades (flama, grafito y generación de hidruros), contamos con técnicas más sofisticadas como es la técnica de Partícula Inducida de Emisión de Rayos X (PIXE) ó la Espectrometría de Fluorescencia de Rayos X (XRFS), las cuales hoy en día marcan el adelanto tecnológico en la determinación de metales traza. Sin embargo, la literatura



consultada,<sup>3, 5, 8, 11, 14, 27, 43, 45, 47, 51</sup> maneja en la mayoría de las determinaciones la Espectrofotometría de Absorción Atómica, por lo que nuestros datos los podemos ubicar aquí.

### 3. Fierro

Se localiza en el medio ambiente, ya sea en el aire, agua y suelo. Se considera un mineral esencial y un importante componente de proteínas, que está presente en el transporte del oxígeno y en el metabolismo. Como metal traza, en altas concentraciones puede resultar tóxico al organismo, razón por la cual, muchos investigadores han utilizado tanto, dientes permanentes<sup>16, 41, 42</sup> como dientes primarios de humanos,<sup>21, 27, 43</sup> para conocer la exposición a metales pesados, además de proporcionar información relacionada al medio ambiente y los hábitos de la dieta.<sup>37</sup> Se han realizados estudios respecto a la concentración de fierro, para poder relacionar su contenido con la caries dental y la forma en que este pudiera afectar al diente.<sup>41, 42</sup>

Los métodos de análisis utilizados para la determinación de la concentración de los elementos traza han mejorado simultáneamente con el avance tecnológico, permitiendo a los investigadores obtener datos que son cada vez más precisos y exactos, lo que ha ayudado a la eliminación de interferencias durante los análisis.

En el año de 1959 se realizaron análisis en diente total, llevando a cabo la determinación, por métodos titulométricos.<sup>22</sup> Carvalho y cols.<sup>37</sup> realizaron estudios en diferentes regiones del diente, raíz de dentina, corona de dentina, esmalte y pulpa; reportando un mayor contenido de fierro en la pulpa, donde los valores mínimo y máximo fueron de 14  $\mu\text{gFe/g}$  y 57  $\mu\text{gFe/g}$ . En otra de sus investigaciones<sup>52</sup> en dientes restaurados con amalgamas, donde la mayor concentración se obtuvo en la dentina, reportó un valor medio de 52  $\mu\text{gFe/g}$  y un rango de 6.6-211  $\mu\text{gFe/g}$ , afirmando con esto, que la cantidad de fierro puede diferir de acuerdo a la región escaneada (XRFS), y se puede relacionar con la contaminación proveniente de las restauraciones en los dientes y del proceso de mineralización individual de los dientes, así como de la diversidad de los materiales empleados, tanto en dentina, como en el esmalte.

El contenido de fierro se ha podido estudiar no solo en dientes contemporáneos, sino también en muestras pertenecientes a nuestros antepasados, como el estudio realizado al Sur de Polonia en dientes pertenecientes a la era del Neolítico y la Edad de Bronce, cuyas muestras presentaban una enfermedad patológica, donde se reportaron valores medios de 20.01  $\mu\text{gFe/g}$  ( $\pm 10.14$ ) para dientes enfermos, y 16.57  $\mu\text{gFe/g}$  ( $\pm 4.16$ ) para dientes no



enfermos, donde el contenido de hierro no dependió de la edad de las muestras, ni del tipo de diente, sexo y patología.<sup>53</sup> Otro estudio se realizó en dientes de especímenes prehistóricos provenientes de Europa Occidental, donde la mayor concentración se presentó en la raíz de dentina con un valor medio de 100  $\mu\text{gFe/g}$  y un rango de 25-173  $\mu\text{gFe/g}$ .<sup>44</sup>

La concentración media de hierro obtenida en algunos estudios realizados solo en esmalte, son menores a la concentración media en diente total aquí reportada, tal es el caso de Losee y cols.,<sup>27</sup> Curzon y cols.<sup>42</sup>. Así mismo, hay estudios en los que se han realizado las determinaciones de hierro en esmalte y dentina conjuntamente en un mismo diente, como el de Retief y Cleaton,<sup>10</sup> que reportaron una concentración en esmalte de 118.27 ppm ( $\pm 71.65$ ) y en dentina de 93.38 ppm ( $\pm 35.05$ ), que comparadas con las de diente total, del presente estudio, son superiores incluso por separado. Derise y Ritchey,<sup>21</sup> que reportaron una concentración en esmalte de 39.5 ppm y en dentina de 42.8 ppm; Lakomaa y Ritomaa,<sup>41</sup> que reportaron los contenidos de hierro más bajos, donde la anemia por deficiencia de hierro es usualmente común en Finlandia, los valores en esmalte fueron de 3.53 ppm ( $\pm 3.16$ ) y los valores en dentina fueron de 5.43 ppm ( $\pm 3.14$ ).

Los resultados de la concentración de hierro obtenidos mostraron dependencia con relación a su ubicación en la arcada y por tipo de diente ( $p < 0.05$ ), determinando que la mayor concentración la encontramos en los dientes anteriores, por lo que suponemos que gran cantidad del hierro determinado se acumula en los dientes por el exceso de contaminación a causa de los lixiviados producto de la basura en descomposición, los cuales arrojan un alto contenido de hierro, que al secarse es arrastrado por el viento y que pueden ser depositados en la superficie dental.

No se elimina la posibilidad de que también el hierro haya sido depositado *in útero*,<sup>54, 64</sup> debido a la ingesta de la madre que puede estar contaminada ya sea por aire, como se señaló anteriormente, o por agua ya que este tipo de desechos, se mueven verticalmente, penetrando el subsuelo y en muchas ocasiones, alcanza los mantos freáticos y acuíferos, lo que causa contaminación del agua subterránea, principal fuente de abastecimiento de agua potable.<sup>24</sup>



#### 4. Níquel

Es un metal traza que se encuentra distribuido en el suelo, agua, aire y la biosfera. En la corteza terrestre hay un porcentaje medio de 0.008 por ciento. En el agua natural, los niveles oscilan entre 2 y 10  $\mu\text{g/litro}$  (agua dulce) y de 0.2 a 0.7  $\mu\text{g/litro}$  (agua de mar). El níquel ya sea en su forma metálica o en forma de compuestos, han sido ampliamente utilizados en la industria metalúrgica, y aunque no pasan masivamente al ambiente representan un factor de riesgo poblacional y ocupacional debido a que son potentes cancerígenos, además de utilizarse como catalizador en forma de compuesto, en pigmentos y en la elaboración de pilas y baterías.<sup>55</sup>

El níquel forma parte de la elaboración de pilas y baterías, las cuales constituyen una fuente importante de contaminación al ser depositadas en rellenos sanitarios a cielo abierto, donde son expuestas a incendios y a reacciones químicas incontroladas. La composición de los residuos sólidos urbanos está compuesta por un 0.20 por ciento de pilas y baterías, los cuales van directamente a los rellenos sanitarios.<sup>56</sup> El níquel que es depositado en el aire se adhiere a partículas de polvo, trasladándolo en su recorrido en el suelo, o bien en forma de lixiviado; donde presenta una gran movilidad dentro del perfil edáfico hasta alcanzar las aguas subterráneas y con ello, los ríos y lagos. La lluvia ácida favorece la movilización del níquel del suelo, la cual fue muy común en los años 90`s en la Ciudad de México.

Otras formas en la que está presente el níquel es a través de los utensilios de cocina que lo liberan, lo que contribuye a su ingesta, así como también en el cigarro. Fumando 40 cigarrillos diarios puede absorberse a través de los pulmones de 2-23  $\mu\text{g/día}$ .<sup>55</sup> La cantidad de níquel determinada en dientes deciduos en el presente trabajo, no estuvo influenciada por factores como el sexo, posición en la arcada y tipo de diente, sin embargo, la contaminación del entorno pudo favorecer el depósito de níquel.

Lappalainen y Knuuttila,<sup>14</sup> determinaron el contenido de níquel para cinco áreas geológicas de Finlandia, reportando valores medios para Tyrnava de 34.4  $\mu\text{gNi/g}$  ( $\pm 3.2$ ) con un rango de 42.8-30.8  $\mu\text{gNi/g}$ , para Kuhmo de 31.1  $\mu\text{gNi/g}$  ( $\pm 3.1$ ) con un rango de 34.6-27.1  $\mu\text{gNi/g}$ , para Puumala de 30.9  $\mu\text{gNi/g}$  ( $\pm 3.0$ ) con un rango de 36.4-26.9  $\mu\text{gNi/g}$ , para Miehikkala de 33.6  $\mu\text{gNi/g}$  ( $\pm 3.4$ ) con un rango de 39.0-25.0  $\mu\text{gNi/g}$  y para Turku de 28.6  $\mu\text{gNi/g}$  ( $\pm 4.8$ ) con un rango de 44.8-23.1  $\mu\text{gNi/g}$ . Todas estas concentraciones fueron similares a lo obtenido en esta investigación y la variación entre las áreas geológicas fue pequeña, afirmando que un factor que influye para la captación de elementos traza es su presencia en la tierra.



Así mismo, encontramos resultados que son más bajos que los nuestros. Investigadores como Nowak y Chmielnicka,<sup>47</sup> reportaron valores de níquel de 6.1 µg/g ( $\pm 3.5$ ), esta baja concentración podría estar influenciada por un alto contenido de plomo, de acuerdo a los hallazgos de su investigación.

Se han realizado estudios en esmalte de dientes permanentes para asociar la concentración de níquel con la caries dental, como el de Losse y cols.,<sup>27</sup> y el de Curzon y Crocker<sup>43</sup> quienes obtuvieron valores por debajo de los límites establecidos, el valor obtenido en la presente investigación en diente total también se encuentra fuera de esos límites.

También en dientes permanentes se reportan estudios de la concentración de níquel realizados solo en dentina, como es el caso de los resultados obtenidos por Lappalainen y Knuuttila en 1982,<sup>13</sup> reportando un valor medio de 0.9 µgNi/g ( $\pm 0.7$ ) con un rango de 0.4-1.7 µgNi/g, estos datos denotan que la concentración en dentina es sumamente baja respecto a la concentración obtenida en esta investigación.



## IX. CONCLUSIONES

No hay diferencia estadísticamente significativa en relación al sexo del donador por lo que este no influye en las concentraciones de los elementos determinados en este estudio.

El tipo de diente y posición en la arcada determinaron la concentración de fierro y cadmio

Las concentraciones más elevadas correspondieron al fierro, y las de menor concentración corresponden al cobre en los dientes analizados.

Una de las técnicas que son comúnmente utilizadas en estas determinaciones es la Espectrofotometría de Absorción Atómica, por ser una técnica altamente específica, precisa y casi libre de interferencias.

La concentración de cobre y níquel, probablemente, sea producto de la exposición de la madre a estos elementos ya que los dientes deciduos son formados *in útero*.

El fierro se deposita en mayor concentración en los dientes incisivos centrales, incisivos laterales y caninos, es decir, en los dientes anteriores.

Un buen indicador a la exposición de metales traza son los dientes temporales, los cuales pueden proveernos de información sobre la contaminación del medio ambiente a largo plazo, como lo es el caso del cadmio.

La variación geológica es un factor que afecta la concentración de elementos traza en el diente, por lo que la concentración fierro y cadmio pudo ser de tipo adventicio por la conocida contaminación ambiental del Municipio de Nezahualcóyotl.

La concentración de cadmio en los dientes de la población suburbana de la Ciudad de México fue notablemente mayor que las encontradas en los dientes de residentes de diversas zonas geológicas volcánicas.



Este estudio me permitió corroborar que los resultados determinados puedan estar influenciados por la selección de la muestra, método de preparación y la técnica aplicada.



## XI RECOMENDACIONES.

Realizar un muestreo de la misma zona de estudio, donde se recolecten dientes deciduos recién exfoliados de niños entre 9 y 10 años de edad, para evaluar el grado de exposición que existe en la actualidad.

Tomar muestras de todos los tipos de dientes, anotando los datos del paciente, especificando la edad y sexo, características físicas de la muestra, tipo de diente, posición, en la arcada, sano(o con caries), con restauración (tipo), con raíz o corona etc. Sería recomendable tratar por separado los dientes sanos y enfermos, con restauración y sin restauración, y de esta manera poder realizar un comparativo entre las diferentes medias para verificar su comportamiento.

Aplicar técnicas de análisis más modernas como la técnica de Partícula Inducida de Emisión de Rayos X (PIXE) o la Espectrometría de Fluorescencia de Rayos X (XRFS), para verificar que ventajas pueden presentarse respecto a la técnica aquí aplicada.

Muestrear dientes de diferentes edades, agrupando las muestras por rango de edad, para conocer que grupos han sido más vulnerables a la exposición por metales pesados de la zona de muestreo, conocida por sus altos índices de contaminantes.

Dar a conocer a las instancias encargadas de algún cambio relevante en la concentración de elementos contaminantes que puedan causar daños en la salud.

Realizar la determinación de calcio en muestras de dientes recién exfoliados, añadiendo otros cationes que ayuden a evitar interferencias durante el análisis.





## XI. ANEXOS

### A. DISEÑO ESTADÍSTICO

#### ***Análisis de Varianza***

El diseño de experimentos hace referencia a una amplia gama de técnicas estadísticas que permiten comparar la igualdad o semejanza entre más de dos medias. En otras palabras, sirve para probar el siguiente juego de hipótesis.<sup>6,57</sup>

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_a$$

$$H_a: \mu_i \neq \mu_j \quad \text{para toda } i \neq j; \quad i, j = 1, 2, 3, \dots, a$$

Que se lee:  $H_0$ , La respuesta promedio de los  $a$  tratamientos de un experimentos son estadísticamente iguales o semejantes; contra  $H_a$ , al menos un par de respuestas promedio son diferentes entre si.

La técnica estadística que permite probar esta hipótesis, sin perder confiabilidad, es el análisis de varianza.

De antemano el investigador asume que hay diferencia, si no carece de sentido el experimento. También se sabe que en cada tratamiento debe haber un efecto de variaciones debida a la causa o factor que se está controlando (temperatura, presión, etc.) y una variación debida al azar, la cual es inevitable.

Análisis de varianza de una vía (ONE-WAY) o diseño completamente al azar (DCA)

La característica esencial es que se realiza un experimento o estudio donde todas las posibles fuentes de variación o de influencia están controladas y sólo hay efecto de un solo factor en estudio, para el cual se consideran al menos 3 niveles o tratamientos, con  $n$  repeticiones dentro de cada nivel.



## Modelo Estadístico del ANVA, para un Diseño Completamente al Azar (DCA)

Partiendo de la hipótesis de trabajo.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_a$$

$$H_a: \mu_i \neq \mu_j \quad \text{para toda } i \neq j; \quad i, j = 1, 2, 3, \dots, a$$

**Tabla del Análisis de Varianza**

Todos los cálculos de esta técnica se condensan en una tabla o cuadro, de acuerdo al siguiente formato.

<i>Fuente de Variación</i> <i>F.V.</i>	<i>Suma de Cuadrados</i> <i>S.C.</i>	<i>Grados de Libertad</i> <i>g.l.</i>	<i>Cuadrados Medios</i> <i>C.M.</i>	<i>F<sub>o</sub></i>
<i>Tratamientos</i>	$SC_{TRATAMIENTOS}$	$a - 1$	$\frac{SC_{TRATAMIENTOS}}{a - 1}$	$\frac{CM_{TRATAMIENTOS}}{CM_{ERROR}}$
<i>Error</i>	$SC_{ERROR}$	$N - a$	$\frac{SC_{ERROR}}{N - a}$	
<i>Total</i>	$SC_{TOTAL}$	$N - 1$		

Considerar el valor ( $Pr > F$  o signif. según el software que se utilice) implica dejar de consultar las tablas de F, ya que se recurre a la siguiente regla práctica: Si el valor es menor de 0.05 rechazar  $H_0$ , en caso contrario no se rechaza  $H_0$ .

**Prueba de Tukey (Diferencia Honestamente Significativa, DHS)**

Esta prueba está diseñada para comparar todas las parejas posibles de medias, manteniendo en  $\alpha$  el error tipo I para todo el conjunto completo de comparaciones. El método se basa en utilizar el cuadrado medio del error, que se obtiene de un ANVA, para calcular un valor de referencia,  $\omega$  que se compara con las diferencias de cada par de medias, si el resultado es mayor de  $\omega$  se asumen medias diferentes en caso contrario se consideran semejantes o estadísticamente iguales.



### Modelo Estadístico para Cobre

Se realizó el Análisis de Varianza y la Prueba de Tukey para determinar diferencias significativas con respecto a la concentración media global de cobre en los dientes.

Por sexo del donador se planteó el siguiente juego de hipótesis:

1. Hipótesis nula: No existe diferencia estadísticamente significativa entre los valores medios globales en la concentración de cobre por sexo del donador.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

2. Hipótesis alterna: Si existe diferencia estadísticamente significativa entre los valores medios globales en la concentración de cobre por sexo del donador.

$$H_a: \mu_1 \neq \mu_2$$

Criterio de rechazo  $H_0$  si  $Pr < F$

Donde:

Pr = Probabilidad asociada

F = Nivel de significancia ( $\alpha=0.05$ ).

Por lo tanto si  $Pr > F$  se acepta la Hipótesis nula ( $H_0$ ). Ver Tabla I.

Tabla I. Análisis de Varianza por sexo del donador, para la concentración media de cobre en dientes deciduos.

Fuente de Variación	g.l.	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	Fo	Pr
Tratamientos	1	13.2532	13.2532	0.24	0.6224
Error	265	14444.3	54.5069		
Total	266	14457.6			

g.l.=grados de libertad

Pr = Probabilidad asociada

F = Nivel de significancia ( $\alpha=0.05$ ).

Por ubicación del diente en la arcada se planteó el siguiente juego de hipótesis:



1. Hipótesis nula: No existe diferencia estadísticamente significativa entre los valores medios globales en la concentración de cobre para dientes anteriores y posteriores.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

2. Hipótesis alterna: Si existe diferencia estadísticamente significativa entre los valores medios globales en la concentración de cobre para dientes anteriores y posteriores.

$$H_a: \mu_1 \neq \mu_2$$

Criterio de rechazo  $H_0$  si  $Pr < F$

Donde:

Pr = Probabilidad asociada

F = Nivel de significancia ( $\alpha = 0.05$ ).

Por lo tanto si  $Pr > F$  se acepta la Hipótesis nula ( $H_0$ ). Ver Tabla II.

Tabla II. Análisis de Varianza, por ubicación en la arcada para la concentración media de cobre en dientes deciduos.

Fuente de Variación	g.l.	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F <sub>o</sub>	Pr
Tratamientos	1	10.0172	10.0172	0.18	0.6685
Error	265	14447.6	54.5191		
Total	266	14457.6			

g.l.=grados de libertad

Pr =Probabilidad asociada

F =Nivel de significancia ( $\alpha=0.05$ ).

Para determinar la igualdad entre las medias globales por tipo de diente, se planteó el siguiente juego de hipótesis:

1. Hipótesis nula: No existe diferencia estadísticamente significativa entre los valores medios globales en la concentración de cobre por tipo de diente; anteriores, primer y segundo molar.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$$



2. Hipótesis alterna: Si existe diferencia estadísticamente significativa entre los valores medios globales en la concentración de cobre por tipo de diente; anteriores, primer y segundo molar.

$$H_a: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$$

Criterio de rechazo  $H_0$  si  $Pr < F$

Donde:

Pr = Probabilidad asociada

F = Nivel de significancia ( $\alpha=0.05$ )

Por lo tanto si  $Pr > F$  se acepta la Hipótesis nula ( $H_0$ ). Ver Tabla III.

Tabla III. Análisis de Varianza por tipo de diente, para la concentración media de cobre en dientes deciduos.

Fuente de Variación	g.l.	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F <sub>o</sub>	Pr
Tratamientos	2	22.6158	11.3079	0.21	0.8133
Error	264	14435.0	54.6779		
Total	266	14457.6			

g.l.=grados de libertad

Pr = Probabilidad asociada

F = Nivel de significancia ( $\alpha=0.05$ )



### Modelo Estadístico para Fierro

Se realizó el Análisis de Varianza y la Prueba de Tukey para determinar diferencias significativas con respecto a la concentración media global de fierro en los dientes.

Por sexo de donador se planteó el siguiente juego de hipótesis:

1. Hipótesis nula: No existe diferencia estadísticamente significativa entre los valores medios globales en la concentración de fierro por sexo del donador.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

2. Hipótesis alterna: Si existe diferencia estadísticamente significativa entre los valores medios globales en la concentración de fierro por sexo del donador.

$$H_a: \mu_1 \neq \mu_2$$

Criterio de rechazo  $H_0$  si  $Pr < F$

Donde:

Pr = Probabilidad asociada

F = Nivel de significancia ( $\alpha = 0.05$ ).

Por lo tanto si  $Pr > F$  se acepta la Hipótesis nula ( $H_0$ ). Ver Tabla I.

Tabla I. Análisis de Varianza por sexo del donador, para la concentración media de fierro en dientes deciduos.

Fuente de Variación	g.l.	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F <sub>o</sub>	Pr
Tratamientos	1	6125.01	6125.01	2.20	0.1394
Error	310	864525.0	2788.79		
Total	311	870650.0			

g.l.=grados de libertad

Pr = Probabilidad asociada

F = Nivel de significancia ( $\alpha = 0.05$ )



Por ubicación del diente en la arcada se planteó el siguiente juego de hipótesis:

1. Hipótesis nula: No existe diferencia estadísticamente significativa entre los valores medios globales en la concentración de fierro para dientes anteriores y posteriores.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

2. Hipótesis alterna: Si existe diferencia estadísticamente significativa entre los valores medios globales en la concentración de fierro para dientes anteriores y posteriores.

$$H_a: \mu_1 \neq \mu_2$$

Criterio de rechazo  $H_0$  si  $Pr < F$

Donde:

Pr = Probabilidad asociada

F = Nivel de significancia ( $\alpha = 0.05$ ).

Por lo tanto si  $Pr < F$  se rechaza la Hipótesis nula ( $H_0$ ) y se acepta la Hipótesis alterna ( $H_a$ ). Ver Tabla II.

Tabla II. Análisis de Varianza por ubicación en la arcada, para la concentración media de fierro en dientes deciduos.

Fuente de Variación	g.l.	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F <sub>o</sub>	Pr
Tratamientos	1	44564.7	44564.7	16.72	0.0001
Error	310	826085.0	2664.79		
Total	311	870650.0			

g.l.=grados de libertad

Pr = Probabilidad asociada

F = Nivel de significancia ( $\alpha = 0.05$ )

Para determinar la igualdad entre las medias globales por tipo de diente, se planteó el siguiente juego de hipótesis:



1. Hipótesis nula: No existe diferencia estadísticamente significativa entre los valores medios globales en la concentración de fierro por tipo de diente; anteriores, primer y segundo molar.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$$

2. Hipótesis alterna: Si existe diferencia estadísticamente significativa entre los valores medios globales en la concentración de fierro por tipo de diente; anteriores, primer y segundo molar.

$$H_a: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$$

Criterio de rechazo  $H_0$  si  $Pr < F$

Donde:

Pr = Probabilidad asociada

F = Nivel de significancia ( $\alpha = 0.05$ )

Por lo tanto si  $Pr < F$  se rechaza la Hipótesis nula ( $H_0$ ) y se acepta la Hipótesis alterna ( $H_a$ ).  
Ver Tabla III.

Tabla III. Análisis de Varianza por tipo de diente, para la concentración media de fierro en dientes deciduos.

Fuente de Variación	g.l.	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F <sub>o</sub>	Pr
Tratamientos	2	52978.5	26489.2	10.01	0.0001
Error	309	817671.0	2646.19		
Total	311	870650.0			

g.l.=grados de libertad

Pr =Probabilidad asociada

F =Nivel de significancia ( $\alpha = 0.05$ )





### Modelo Estadístico para Cadmio

Se realizó el Análisis de Varianza y la Prueba de Tukey para determinar diferencias significativas con respecto a la concentración media global de cadmio en los dientes.

Por sexo del donador se planteó el siguiente juego de hipótesis:

1. Hipótesis nula: No existe diferencia estadísticamente significativa entre los valores medios globales en la concentración de cadmio por sexo del donador.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

2. Hipótesis alterna: Si existe diferencia estadísticamente significativa entre los valores medios globales en la concentración de cadmio por de sexo del donador.

$$H_a: \mu_1 \neq \mu_2$$

Criterio de rechazo  $H_0$  si  $Pr < F$

Donde:

Pr = Probabilidad asociada

F = Nivel de significancia ( $\alpha = 0.05$ ).

Por lo tanto si  $Pr > F$  se acepta la Hipótesis nula ( $H_0$ ). Ver Tabla I.

Tabla I. Análisis de Varianza por sexo del donador, para la concentración media de cadmio en dientes deciduos.

Fuente de Variación	g.l.	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	Fo	Pr
Tratamientos	1	81.258	81.258	1.69	0.1943
Error	290	13925.7	48.0197		
Total	291	14007.0			

g.l.=grados de libertad

Pr = Probabilidad asociada

F = Nivel de significancia ( $\alpha = 0.05$ )

Por ubicación del diente en la arcada se planteó el siguiente juego de hipótesis:



1. Hipótesis nula: No existe diferencia estadísticamente significativa entre los valores medios globales en la concentración de cadmio para dientes anteriores y posteriores.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

2. Hipótesis alterna: Si existe diferencia estadísticamente significativa entre los valores medios globales en la concentración de cadmio para dientes anteriores y posteriores.

$$H_a: \mu_1 \neq \mu_2$$

Criterio de rechazo  $H_0$  si  $Pr < F$

Donde:

Pr = Probabilidad asociada

F = Nivel de significancia ( $\alpha = 0.05$ ).

Por lo tanto si  $Pr < F$  se rechaza la Hipótesis nula ( $H_0$ ) y se acepta la Hipótesis alterna ( $H_a$ ).  
Ver Tabla II.

Tabla II. Análisis de Varianza por ubicación en la arcada, para la concentración media de cadmio en dientes deciduos.

Fuente de Variación	g.l.	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F <sub>o</sub>	Pr
Tratamientos	1	221.946	221.946	4.67	0.0315
Error	290	13785.0	47.5346		
Total	291	14007.0			

g.l.=grados de libertad

Pr = Probabilidad asociada

F = Nivel de significancia ( $\alpha = 0.05$ )

Para determinar la igualdad entre las medias globales por tipo de diente, se planteó el siguiente juego de hipótesis:

1. Hipótesis nula: No existe diferencia estadísticamente significativa entre los valores medios globales en la concentración de cadmio por tipo de diente; anteriores, primer y segundo molar.



$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$$

2. Hipótesis alterna: Si existe diferencia estadísticamente significativa entre los valores medios globales en la concentración de cadmio por tipo de diente; anteriores, primer molar y segundo molar.

$$H_a: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$$

Criterio de rechazo  $H_0$  si  $Pr < F$

Donde:

Pr = Probabilidad asociada

F = Nivel de significancia ( $\alpha = 0.05$ )

Por lo tanto si  $Pr < F$  se rechaza la Hipótesis nula ( $H_0$ ) y se acepta la Hipótesis alterna ( $H_a$ ). Ver Tabla III.

Tabla III. Análisis de Varianza por tipo de diente, para la concentración media de cadmio en dientes deciduos.

Fuente de Variación	g.l.	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F <sub>o</sub>	Pr
Tratamientos	2	470.709	235.355	5.02	0.0072
Error	289	13536.3	46.8383		
Total	291	14007.0			

g.l.=grados de libertad

Pr = Probabilidad asociada

F = Nivel de significancia ( $\alpha = 0.05$ )

*Modelo Estadístico para Níquel*

Se realizó el Análisis de Varianza y la Prueba de Tukey para determinar diferencias significativas con respecto a la concentración media global de níquel en los dientes.

Por sexo del donador se planteó el siguiente juego de hipótesis:

1. Hipótesis nula: No existe diferencia estadísticamente significativa entre los valores medios globales en la concentración de níquel por sexo del donador.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

2. Hipótesis alterna: Si existe diferencia estadísticamente significativa entre los valores medios globales en la concentración de níquel por sexo del donador.

$$H_a: \mu_1 \neq \mu_2$$

Criterio de rechazo  $H_0$  si  $Pr < F$

Donde:

Pr = Probabilidad asociada

F = Nivel de significancia ( $\alpha = 0.05$ )

Por lo tanto si  $Pr > F$  se acepta la Hipótesis nula ( $H_0$ ). Ver Tabla I.

Tabla I. Análisis de Varianza por sexo del donador, para la concentración media de níquel en dientes deciduos.

Fuente de Variación	g.l.	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F <sub>o</sub>	Pr
Tratamientos	1	3.41675	3.41675	0.01	0.9129
Error	281	80088.3	285.012		
Total	282	80091.7			

g.l.=grados de libertad

Pr = Probabilidad asociada

F = Nivel de significancia ( $\alpha = 0.05$ )



Por ubicación del diente en la arcada se planteó el siguiente juego de hipótesis:

1. Hipótesis nula: No existe diferencia estadísticamente significativa entre los valores medios globales en la concentración de níquel para dientes anteriores y posteriores.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

2. Hipótesis alterna: Si existe diferencia estadísticamente significativa entre los valores medios globales en la concentración de níquel para dientes anteriores y posteriores.

$$H_a: \mu_1 \neq \mu_2$$

Criterio de rechazo  $H_0$  si  $Pr < F$

Donde:

Pr = Probabilidad asociada

F = Nivel de significancia ( $\alpha = 0.05$ )

Por lo tanto si  $Pr > F$  se acepta la Hipótesis nula ( $H_0$ ). Ver Tabla II.

Tabla II. Análisis de Varianza por ubicación en la arcada, para la concentración media de níquel en dientes deciduos.

Fuente de Variación	g.l.	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F <sub>o</sub>	Pr
Tratamientos	1	628.400	628.400	2.22	0.1372
Error	281	79463.3	282.788		
Total	282	80091.7			

g.l.=grados de libertad

Pr = Probabilidad asociada

F = Nivel de significancia ( $\alpha = 0.05$ )

Para determinar la igualdad entre las medias globales por tipo de diente, se planteó el siguiente juego de hipótesis:



1. Hipótesis nula: No existe diferencia estadísticamente significativa entre los valores medios globales en la concentración de níquel por tipo de diente; anteriores, primer molar y segundo molar.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$$

2. Hipótesis alterna: Si existe diferencia estadísticamente significativa entre los valores medios globales en la concentración de níquel por tipo de diente; anteriores, primer molar y segundo molar.

$$H_a: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$$

Criterio de rechazo  $H_0$  si  $Pr < F$

Donde:

Pr = Probabilidad asociada

F = Nivel de significancia ( $\alpha = 0.05$ )

Por lo tanto si  $Pr > F$  se acepta la Hipótesis nula ( $H_0$ ). Ver Tabla III.

Tabla III. Análisis de Varianza por tipo de diente, para la concentración media de níquel en dientes deciduos.

Fuente de Variación	g.l.	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F <sub>o</sub>	Pr
Tratamientos	2	1069.08	534.542	1.89	0.1524
Error	280	79022.7	282.224		
Total	282	80091.7			

g.l.=grados de libertad

Pr = Probabilidad asociada

F = Nivel de significancia ( $\alpha = 0.05$ )



## B. DIENTES DECIDUOS O PRIMARIOS

Los dientes deciduos forman parte de la primera dentición que posee el ser humano, los cuales erupcionan durante la primera infancia. En total son 20 elementos dentarios, distribuidos considerando una hemiarcada, de la siguiente manera: un incisivo central (IC), un incisivo lateral (IL), un canino (C), un primer molar y un segundo molar, o sea un total de cinco dientes que por ser simétricos suman 10 por arcada. El término de diente deciduo procede de la palabra latina *deciduus*, que significa caer, denominándose también dientes temporales, dientes caducos y dientes de leche.

Los primeros elementos deciduos erupcionan en la cavidad bucal entre el primer y segundo año de vida completándose dicha dentición hacia los tres años de edad. Los dientes primarios son reemplazados con posterioridad de forma progresiva por la dentición permanente a partir de los seis años aproximadamente. Este proceso de cambio de una dentición a favor de una nueva, se realiza mediante un fenómeno fisiológico denominado exfoliación de los dientes de leche o caducos.

Las arcadas dentarias del niño sólo puede albergar un determinado número de piezas dentarias, cuyo tamaño es menor a las piezas de la dentición permanente, especialmente en lo que respecta a su dimensión vertical, se ubican perpendicularmente respecto al plano oclusal, las coronas son más bajas y más redondeadas, la región cervical es más voluminosa, la unión amelocementaria es muy marcada, la raíz es más corta y presenta amplios conductos radiculares; así mismo, las cámaras pulpares son grandes y la dentina y el esmalte son de menor espesor. El tiempo de desarrollo es considerablemente corto, por ejemplo la mineralización de la corona comienza intrauterinamente y se completa poco después del nacimiento.<sup>64</sup>

### **Composición del diente**

El diente totalmente desarrollado representa un tipo muy especializado, ya que está formado por tres estructuras calcificadas diferentes como son la dentina el esmalte y el cemento. La dentina, la más abundante y la más interna de las tres, limita la cavidad pulpar y protege su contenido frágil de vasos sanguíneos y terminaciones nerviosas. A su vez, la dentina se halla protegida por el esmalte a nivel de la porción expuesta del diente y por cemento sobre las raíces de los dientes. La cantidad de minerales en cada uno de estos es bastante diferente, oscilando entre 50 por ciento por peso en el cemento y 75 por ciento en la dentina y 98 por ciento en el esmalte.



## **Cemento**

Es un tejido conectivo mineralizado derivado de la capa celular ectomesenquimática del saco o folículo que rodea al germen dentario. Este se encuentra cubriendo la dentina, aunque sólo en la porción radicular. Tiene como función principal anclar las fibras del ligamento periodontal a la raíz del diente.

## **Dentina**

Las células encargadas de la formación de la dentina son los odontoblastos, que inician el proceso elaborando una capa de predentina no calcificada a lo largo de la cavidad basal a nivel de la unión dentino-esmalte.

La dentina es el eje estructural del diente y constituye el tejido mineralizado que conforma el mayor volumen de la pieza dentaria. La dentina está formada por aproximadamente 70 por ciento de materia inorgánica, 18 por ciento de materia orgánica y 12 por ciento de agua.

Está compuesta principalmente por cristales de hidroxiapatita, los cuales son más pequeños y delgados comparados con los cristales de hidroxiapatita del esmalte. Esta fracción mineral contiene además de los cristales de hidroxiapatita, cierta cantidad de fosfatos amorfos, carbonatos, sulfatos y oligoelementos como fluoruro, cobre, zinc, hierro y magnesio.

## **Esmalte**

Es considerado como una sustancia extracelular altamente mineralizada, su función es cubrir la corona anatómica de los dientes. Las células que le dan origen no quedan incorporadas a él, por esto es considerado una estructura acelular, avascular y sin inervación. Más del 95 por ciento de su masa es material inorgánico, donde la mayoría se halla en estado cristalino (hidroxiapatita). Se le considera como una membrana semipermeable que permite el flujo de agua, iones y sustancias de pequeño peso molecular a través de los poros que existen entre los cristales del esmalte, del medio bucal hacia el interior.<sup>15, 27,64</sup>

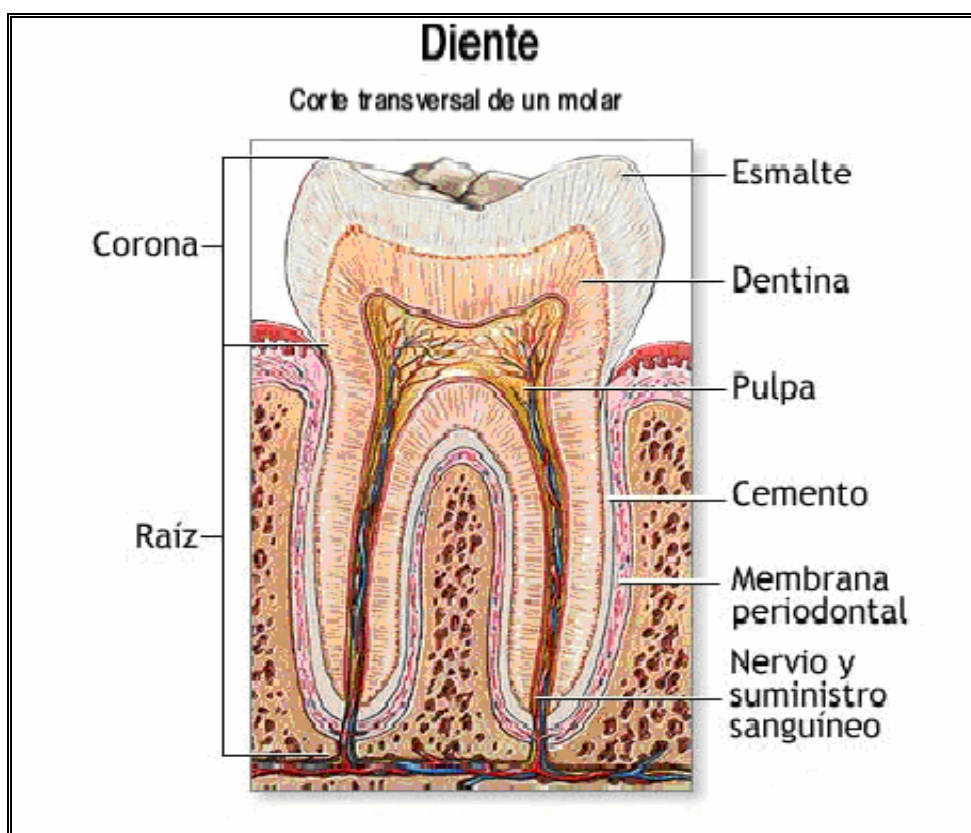
## **Pulpa**

La pulpa es un tejido conectivo especializado, de origen mesenquimático, ricamente inervado y vascularizado que se encuentra contenido dentro del espacio central del diente y rodeado por dentina. Tiene funciones formativas, nutritivas, sensitivas y de protección. La



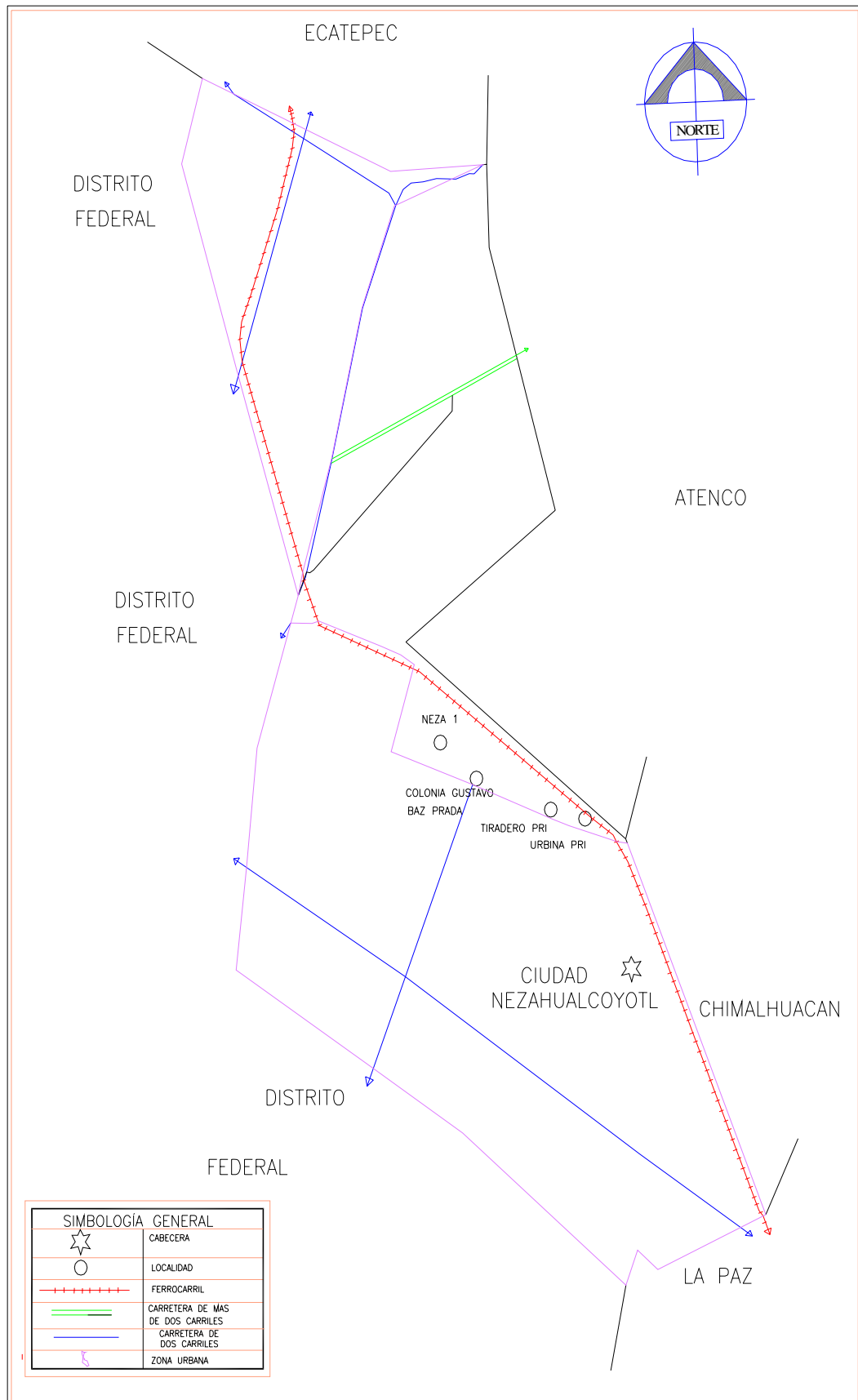


formación de la dentina es la primera función de la pulpa tanto en secuencia como en importancia.





### C. CARTA TOPOGRAFICA DEL MUNICIPIO DE NEZAHUALCÓYOTL, EDO. DE MEXICO





## D. LIXIVIADOS

Los basureros causan problemas ambientales que afectan el suelo, el agua y el aire, la capa vegetal originaria de la zona desaparece, hay una erosión del suelo y contamina la atmósfera con materiales inertes y microorganismos. Con el tiempo, alguna parte de ellos se irán descomponiendo y darán lugar a nuevos componentes químicos como los lixiviados que provocarán la contaminación del medio, y harán que el suelo pierda muchas de sus propiedades originales, como su friabilidad, textura, porosidad, permeabilidad, intercambio catiónico, concentración de macro y micronutrientes.

Los lixiviados son líquidos residuales generados por la descomposición biológica de la parte orgánica o biodegradable de las basuras en proceso de degradación, que al percolarse por las capas del suelo u otro material sólido permeable, van disolviéndolo en su totalidad o a algunos de sus componentes. Su aspecto es negro, de olor fuerte y penetrante, fluido y en zonas de acumulación y/o estancamiento, presentan una capa superficial de varios centímetros de espuma.

La composición media de estos líquidos varía considerablemente según las áreas geográficas, tiempo que se lleve depositando en el vertedero y tipo de residuo colocado en el mismo.

Actualmente, en muchos vertederos, los lixiviados no son controlados de un modo exhaustivo. A pesar de los controles, una fracción se filtra en el terreno, y contamina el suelo y pueden alcanzar los mantos freáticos contaminando el agua.



## XII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Stoker Stephen H. Química Ambiental Contaminación del Aire y del Agua. Barcelona: Blume; 1981. p. 259-269.
2. Agreda Correa J. Determinación de Magnesio y Zinc en Dientes Temporales. Tesis de Licenciatura para la Carrera de Q.F.B., F.E.S. Zaragoza: U.N.A.M.; 2002.
3. Camacho Guerrero E. Determinación de Cadmio, Cromo y Magnesio en Esmalte de Diente, por Espectroscopia de Absorción Atómica Electrotérmica. Tesis de Licenciatura para la Carrera de Q.F.B., F.E.S. Zaragoza: U.N.A.M.; 1999.
4. De la Cruz. DC, Juárez SN, Castillo GL, Pérez VF. Concentración y Distribución de Magnesio en Esmalte de Dientes Deciduos. Revista ADM 47(6); 1991.
5. Attramadal A, Jonsen J. The Content of Lead, Cadmio, Zinc and Copper in deciduous and Permanent Human Teeth. Acta Odont Scand. 1976; 34:127-31.
6. Cervantes SA, Marqués DM. Diseño de Experimentos. Apuntes de Curso Práctico. UNAM; 2005.
7. Lazzari EP. Bioquímica Dental. 2ª ed. México: Interamericana; 1978. p.1-7, 89-98.
8. Curzon ME, Losee FL, Macalister AD. Trace de Elements in the Enamel of Teeth from New Zealand and the USA. Dent J. 1975; 71: 80-3.
9. Antilla A. Proton-Induced X-Ray Emission Analysis of Zn, Sr, and Pb in Human Deciduous Tooh enamel and its Relationship to Dental Caries Scores. Arch Oral Biol. 1986; 31: 723-6.
10. Retief DH, and Cleaton-Jones PE. The Quantitative Analysis of Sixteen Elements in Normal Human Enamel an Dentine by Neutron Activation Analysis and High-Resolution Gamma-Spectrometry. Arch Oral Biol. 1971; 16: 1257-67.



11. Vrbic V, Stupar J, Byrne AR. Trace Element Content of Primary and Permanent Tooth Enamel. *Caries Res.* 1987; 21: 37-9.
12. Knychalska Z, Pawlicki R, and Karwan T. Ultrastructural Analysis and Quantitative Distribution of Macro-and Microelements in Young Teeth hard Tissues by the Use of an X-ray Microanalyser. *Folia Histochemica et Cytochemica.* 1981; 19: 87-92.
13. Lappalainen R, Knnuttila M. Atomic Absorption Spectrometric Evidence of Relationships between some Cationic Elements in Human Dentine. *Arch Oral Biol.* 1982; 25:827-30.
14. Lappalainen R, Knnuttila M. The Distribution and Accumulation of Cd, Zn, Pb, Cu, Co, Ni, Mn and K in Human Teeth from Five Different Geological Areas of Finland. *Arch Oral Biol.* 1979; 24: 363-8.
15. Ferrer A. Intoxicación por metales. *Anales Sis San Navarra.* [online]. 2003, vol.26 supl.1 [citado 28 Agosto 2006], p.141-153. Disponible en la World Wide Web: <http://www.scielo.isciii.es>
16. Patrick L. Toxic Metals and Antioxidants: Part II. The Role of Antioxidants in Arsenic and Cadmium Toxicity. *Alternative Medicine Review.* 2003; 8(2): 106-28.
17. Carson LB, Ellis HV, McCann JL. *Toxicology and Biological Monitoring of Metals in Humans.* 2ª ed. Philadelphia: Lewis Publishers; 1987. p. 51-63, 93-8,124-7,162-5.
18. Jenkins GN. *Fisiología y Bioquímica Bucal.* México: Limusa; 1983. p. 67-100.
19. Drill JR. *Farmacología Médica.* 2ª ed. México: La Prensa Médica Mexicana; 1971. p. 1100-10.
20. Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades, Cobre. Atlanta: Septiembre 2004 [2 de marzo 2005]. Disponible en: [http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es\\_tfacts132.html](http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts132.html)
21. Derise NL, and Ritchey SJ. Mineral Composition of Normal Human Enamel and Dentine and Relation of Composition to Dental Caries: II. Microminerals. *J Dent Res.* 1974; 53(4); 853-8.



22. Steadman LT, Brudevold F, Smith FA, Gardner DE, and Little MF. Trace Elements in Ancient Indian Teeth. J Dent Res. 1959; 38(2): 285-92.
23. Nixon GS, Livingston HD, Smith H. Estimation of Zinc in Human Enamel by Activation Analysis. Arch Oral Biol. 1967; 12: 411-16.
24. Greenpeace: México; 2005 [acceso 19 de mayo de 2005]. Entregamos a la Semarnat una Montaña de Pilas. Disponible en:<http://www.greenpeace.org/mexico/news/entregamos-a-la-semarnat-una-m>
25. Tiraderos sin Control Ambiental. Veneno bajo Nuestros Pies. México: La Jornada. [actualizada el 25 enero 1998. Acceso 7 junio de 2006]. Disponible en:[www.jornada.unam.mx/1998/01/25/mas-veneno.html\(lixiviados\)](http://www.jornada.unam.mx/1998/01/25/mas-veneno.html(lixiviados))
26. Cristian Freís. Online Magazine Waste, Naturaleza, Ciencia, Medio Ambiente [base de datos en Internet].2000. Acceso 23 de mayo de 2005. Disponible en: [Reciclaje de pilas. http://waste.ideal.es/pilas.htm](http://waste.ideal.es/pilas.htm)
27. Losee FL, Curzón MEJ, and Little MF. Trace Element Concentrations in Human Enamel. Arch Oral Biol. 1974; 19: 467-70.
28. Baltazar Cruz G, Torres López E. Pruebas de Desempeño para la Cuantificación de Cd, Co, Cr, Ni y Pb por Espectrofotometría de Absorción Atómica. Tesis de Licenciatura para la Carrera de Q.F.B., F.E.S., Zaragoza: U.N.A.M., 2002.
29. Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades, Cadmio. Atlanta: junio de 1999 [12 de abril 2005].Disponible en:[http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es\\_tfacts5.html](http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts5.html)
30. Hayat S, Pichtel J. Heavy Metal Contamination of Soil Problems and Remedies, India: Science Publisers Inc Enfield NH; 2005. p. 25-37.
31. Propiedades Físico-químicas del Hierro. [Acceso 3 de febrero de 2005]. Disponible en <http://www.lenntech.com>
32. Goodman GA, et al. Las Bases Farmacológicas de la Terapéutica. 8ª ed. Bogota: Panamericana; 1991. p. 1244-47,1447-50,1549-50.



33. Tomo III. Catálogo de Estándares Ambientales, Níquel. Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ). [12 de abril 2005]. Disponible en: <http://www2.gtz.de/uvp/publika/Spanish/Vol336.htm#Níquel>
34. Priest DN, Van De Vyver LF. Trace Metals and Fluoride in Bones and Teeth. Priest DN, Editors. United State: CRC Press; 1990. p. 186-7, 219-26, 258-60.
35. Walton HF. Análisis Químico e Instrumental Moderno. Barcelona: Reverté; 1983. p. 243-68.
36. Skoog DA, Donald WM. Análisis Instrumental. México: Interamericana; 1975. p. 27-35.
37. Carvalho ML, Casaca C, Marques JP, Pinheiro T, and Cunha AS. Human Teeth Elemental Profiles Measured by Synchrotron X-Ray Fluorescence: Dietary Habits and Environmental Influence. X-Ray Spectrom. 2001; 30: 190-3.
38. Brown CJ, Chenery SR, Mason C, Tomkins A, Roberts GJ, Sserunjogi L, et al. Environmental Influences on the Trace Element Content of Teeth—Implications for Disease and Nutritional Status. Arch Oral Biol. 2004; 49: 705-17.
39. Söremark R, and Samsahl K. Gamma-Ray Spectrometric Analysis of Elements in Normal Human Enamel. Arch Oral Biol. 1961; 6: 275-83.
40. Söremark R, and Samsahl K. Gamma-Ray Spectrometric Analysis of Elements in Normal Human Dentin. J Dent Res. 1961; 41(3): 603-6.
41. Lakomaa EV, and Rytomaa I. Mineral Composition of Enamel and Dentin of Primary and Permanent Teeth in Finland. J Dent Res. 1976; 85: 89-95.
42. Curzon ME, Losee FL. Dental Caries and Trace Element Composition of Whole Human Enamel: Eastern United States. JADA. 1977; 94: 1148-50.
43. Curzon ME, and Croker DC. Relationships of Trace Elements in Human Tooth Enamel to Dental Caries. Arch Oral Biol. 1978; 23: 647-53.



44. Carvalho ML, Casaca C, Marques JP, Chevallier P and Cunha AS. Analysis of Human Teeth and Bones from the Chalcolithic Period by X-Ray Spectrometry. Nucl Instrum Meth Phys Res. 2000; 168: 559-65.
45. Grünke K, Stark HJ, Wennrich R, Franck U. Determination of Traces of Heavy Metals (Mn, Cu, Zn, Cd and Pb) in Microsamples of Teeth Material by ETV-ICP-MS. J Anal Chem. 1996; 354: 633-5.
46. Afseth J, Oppermann R, Rolla G. Accumulation of de Cu and Zn in Human Dental Plaque in Vivo. Caries Res. 1983; 17: 310-4.
47. Nowak B, and Chmielnicka J. Relationship of Lead and Cadmium to Essential Elements in Hair, Teeth and Nails of Environmentally Exposed People. Environ Res. 2000; 10: 265-73.
48. Meyer TH, Eide R, Riise T. Heavy Metals in Human Primary Teeth some Factors Influencing the Metal Concentrations. Sci Environ. 2000; 255: 21-7.
49. Sistemas Nacionales Estadístico y de Información Geográfica Aspectos Geográficos. México; 2005 [acceso 19 de marzo de 2005]. Información de su Entidad Federativa. Disponible en: <http://www.inegi.gob.mx/inegi/default.asp>
50. Danielsson LC, Magnusson B, Wasterlund S. An Improved Metal Extraction Procedure for the Determination of Trace Metals in sea Water by Atomic Absorption Spectrometry with Electrothermal Atomization. Acta Analy Chimica, 1978; 98: 47-57.
51. González PA, Esquivel HB. Cuantificación de Metales Pesados en Suelos y Plantas del D.F. Rev Soc Quim Mex. 1981; 25(4): 483-7.
52. Aseo Urbano Disposición de Residuos Sólidos. Manual de Instrucciones. Madrid; 1978 [actualizada el 22 de febrero de 1999; acceso 12 de julio de 2006]. Disponible en: <http://www.cepis.org.pe/eswww/fulltext/curso/aseourba/aseourba.html>
53. Gléna-Habuch E, Szostek K, and GeAEB H. Criba Orbitalia and Trace Element Content in Human Teeth from Neolithic and Early Bronze Age Graves in Southern Poland. Am J Phys Anthropol. 1997; 207: 200-7.





54. Gredalia I and Shapira L. Effect of Prenatal and Postnatal Fluoride on the Human Deciduous Dentition a Literature Review. *Dent Res*; 1989; 3(2): 168-76.
55. International Programme on Chemical Safety Environmental Health Criteria 108, Nickel. Geneva; 1991. [acceso 22 de mayo de 2006]. Disponible en: <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc108.htm>
56. Tot Compost, El Problema de los Residuos. Composición de los Residuos Sólidos Urbanos. [Acceso 22 de mayo de 2006]. Disponible en: <http://tierra.org/residuos/composicionrsu.htm>
57. Márquez DM J. Probabilidad y Estadística. UNAM; México.1988, p. 364-81.
58. Arredondo M, Cambiazo V, Tapia L, González-Aguero M, Núñez MT, Uauy R, et al. Copper Overload Affects Copper and Iron Metabolism in Hep-G2 cells. *Am J Physiol Gastrointest Liver Physiol*. 2004; 287(1): 27-32.
59. Asgar K. Chemical Analysis of Human Teeth. *J Dent Res*. 1955; 35(5): 742-8.
60. Carvalho ML, Pinheiro T, Barreiros MA, Casaca C, Cunha AS, Chevallier P, et al. Amalgam Components Drift in Teeth-Toxicity Risk: a Reliminary Approach, *Nucl Instrum Meth Phys Res*. 1998; 136: 913-8.
61. Biorecuperación de Lixiviados en Rellenos Sanitarios. [Acceso 15 de abril de 2006]. Disponible en: <http://www.agroindustrial-amc.com/files/Proyecto%20para%20el%20Tratamiento%20de%20Lixiviados%20en%20Rellenos%20Sanitarios.htm>
62. Minerales, Metales, Compuestos Químicos, Seres Vivos: Una Difícil pero Inevitable Convivencia. [Acceso 15 de abril de 2006]. Disponible en: [http://www.ucm.es/info/crismine/Geologia\\_Mineria\\_toxicidad.htm](http://www.ucm.es/info/crismine/Geologia_Mineria_toxicidad.htm)
63. Agency for Toxic Substances and Disease Register. Níquel. Atlanta; 2005. [Actualizada agosto de 2005; acceso 21 de abril de 2006]. Disponible en: [http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es\\_tfacts15.html](http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts15.html)
64. Gómez FM, Campos MA. Histología y Embriología Bucodentaria. 2ª ed. Medica Panamericana, 2003. p. 274, 387-9, 408-18.