

468



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ODONTOLOGÍA

PIXE Aplicado al Estudio de
Patologías Intraóseas

T E S I N A
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
CIRUJANO DENTISTA
P R E S E N T A

LEOBARDO URIEL RODRÍGUEZ TORRES

DIRECTOR: JOSE LUIS RUVALCABA SIL
ASESOR: C.D. DANIEL QUEZADA RIVERA

292233



MARZO

2001



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

Agradezco a DIOS :

Por permitirme antes que nada la vida y llegar a cumplir una de mis metas: mi titulación y por tener la familia que tengo y los amigos que me rodean.

Dedico este trabajo especialmente a mis padres:

Gerardo y Gloria por el cariño y amor que me han brindado en todos los momentos, y de quienes me siento orgulloso, les agradezco la educación que me brindaron, ambos saben lo mucho que los quiero.

A mis abuelitos:

Julián y Ofelia, que siempre me dan la mano cuando la necesito sin importar nada y su amor incondicional.

A mi abuelito Pancho por su cariño.

A mis hermanos **Gerardo Ian y Nayelly**.

A mis primos **Román, Roberto, y Octavio** a quienes quiero.

A mi sobrina (o), que viene en camino y a mi cuñada.

A mis tías con cariño.

Al Lic. **José A. Marván** por su apoyo y confianza.

A todas esas personas que han influido en mi vida, amigos y compañeros, algunos de ellos el grupo 1ra. Respuesta.

Saludos afectuosos al Güero y al Baby.

En memoria de:

† Mi abuelita **Cástula** por escucharme y platicar, además de sus consejos, siempre estará en mi recuerdo.

† A mi abuelita **Mercedes**, a quien no tuve mucho tiempo conmigo pero ella está con nosotros siempre.

† A mi tío **Ricardo** por que siempre me quiso y por el cariño que me demostraba a su manera.

† A mi tío **Román** a quien recuerdo lo alegre que era y cuanto nos quería.

AGRADECIMIENTOS

A la U.N.A.M. por darme la formación profesional.

Muy especialmente a mi director de tesina, Dr. José Luis Ruvalcaba Sil, por sus valiosos conocimientos aportados, su tiempo dedicado, confianza y apoyo incondicional para la realización de esta investigación por lo cual le doy mi gratitud.

Al C.D. Daniel Quezada Rivera mi asesor de tesina por brindarme su amistad, consejos y apoyo moral, de quién he aprendido bastante y por creer en mí.

A la Dra. Beatriz Catalina Aldape Barrios, por su amplia experiencia profesional de quién he aprendido mucho y por su confianza que he depositado en mí.

Al Instituto de Física de la U.N.A.M., y al apoyo de los proyectos CONACYT G0010-E y J32159-U para la realización de este trabajo, así como al Sr. Karim López por la operación del acelerador Peletrón del IFUNAM.



INDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	
2.1. Utilización de PIXE en el estudio de tejidos biológicos y órganos dentales.....	3
2.2. Función de algunos metales y elementos esenciales presentes en el organismo para el metabolismo.....	4
3. TEJIDOS SANOS	
3.1 . Hueso.....	7
3.2 Cemento.....	8
4. LESIONES FIBRO-OSEAS BENIGNAS	
4.1. Fibroma cemento-osificante central.....	10
4.2. Displasia fibrosa.....	11
4.2.1. Displasia fibrosa monostótica.....	13
4.2.1.1. Displasia fibrosa juvenil.....	13
4.2.1.2. Displasia fibrosa juvenil agresiva y del adulto.....	13
4.3.1. Displasia fibrosa poliestótica.....	14
4.3.1.1. Displasia fibrosa tipo Albright.....	14
4.3.1.2. Displasia fibrosa tipo Jaffe.....	15
5. LA TECNICA PIXE	
5.1. Generalidades.....	16
5.2 El acelerador Peletrón.....	17
5.3 Fundamentos de la Técnica PIXE.....	19
6. MATERIALES Y METODOS	
6.1 Dispositivo experimental.....	21
6.2 Selección y preparación de muestras.....	22
7. RESULTADOS	25
8. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	28
9. REFERENCIAS	30
10. GLOSARIO	32



1. INTRODUCCIÓN

Dentro del estudio de la Patología Bucal existen gran cantidad de lesiones, que en ocasiones llegan a compartir características clínicas, radiográficas, quirúrgicas e incluso histopatológicas. Como por ejemplo la displasia fibrosa y el fibroma cemento-osificante central. Por lo cual, a veces es difícil obtener un diagnóstico confiable¹. Aspecto de vital importancia para el tratamiento, pues éste es diferente para cada patología. Por otro lado, existen nuevas tecnologías para el estudio de dichas patologías y su biología en particular. Para este estudio acudimos al uso de un acelerador de partículas, el cual es un instrumento que nos permite obtener información acerca de la composición de elementos presentes en objetos y tejidos para encontrar diferencias en la composición de elementos de las diferentes patologías intraóseas. Existen varias técnicas de análisis basadas en el uso de aceleradores de partículas. La que nosotros empleamos fue la conocida como técnica de Emisión de Rayos X Inducida por Partículas (en inglés, PIXE, Particle Induced X-Ray Emission). Esencialmente el acelerador de partículas sirve para producir un rayo o un haz de partículas cargadas positivamente. Al estar en contacto con el material que se desea estudiar el haz produce como respuesta la emisión de radiación característica de los átomos que componen el objeto en estudio en forma de rayos X, y al contar con detectores específicos de radiación se puede determinar la composición de elementos del material en estudio de forma tanto cualitativa como cuantitativa².

Existen numerosas investigaciones que han recurrido al uso de los aceleradores de partículas en una gran variedad de disciplinas, incluyendo la medicina y odontología. En particular para el estudio de material biológico se ha usado para detectar las concentraciones de elementos en: Cáncer de pulmón³, en la enfermedad de Alzheimer⁴, en las células multinucleadas, en la apoptosis, y en un sarcoma irradiado⁵, por citar algunos ejemplos. No obstante, existen escasas investigaciones que involucren el análisis de tejidos patológicos dentales, por su enfoque de investigación este primer estudio representa un trabajo pionero en esta área.

El objetivo principal de este trabajo es realizar el análisis de tejido enfermos y sanos y establecer las condiciones apropiadas para su estudio mediante aceleradores de



PIXE Aplicado al Estudio de Patologías Intraóseas

partículas. Esto con el propósito de evaluar esta nueva metodología para el estudio de las patologías bucales y poder entender mejor su comportamiento biológico. En este trabajo se establecen algunas semejanzas y diferencias en cuanto a las concentraciones de los elementos presentes en cada tipo de tejido.



2. ANTECEDENTES

2.1. Utilización de PIXE en el estudio de tejidos y órganos dentales.

La mayor parte de los análisis realizados en dientes se ha circunscrito a contextos históricos y arqueológicos. Sólo recientemente se han abordado aspectos de salud, como los procesos cariogénicos, por ejemplo.

Dado que los dientes son tejidos muy estables, constituyen una fuente de información importante de las patologías y la salud de los individuos. De entre algunos estudios que se han realizado con PIXE en México puede mencionarse un análisis de dientes prehispánicos, coloniales y modernos en el área de la Ciudad de México donde se observa la presencia de plomo en dientes coloniales y dientes modernos (aunque en menor cantidad que en los dientes coloniales), pero su total ausencia en los prehispánicos. Se ha explicado esto por el tipo de cerámica y los procesos para la elaboración de vajillas que se utilizaron en cada época para la elaboración y consumo de alimentos ⁶.

Puesto que las condiciones de enterramiento son determinantes para la alteración de dientes, los cambios en el color de éstos también pueden ser estudiados. En esta línea de investigación recientemente se estudió la presencia de una coloración azul en dientes de ofrendas prehispánicas en Tlaltelolco y Tenochtitlán, donde los resultados indican que las concentraciones de Fe y Mn, son alrededor del doble de dientes sanos prehispánicos ⁷.

En otro estudio, un análisis de relleno de dientes prehispánicos empleando PIXE indicó que la composición del relleno y del esmalte son muy similares. Con base en esto, se ha propuesto que se trata de incrustaciones y rellenos elaborados con fragmentos de dientes sanos con fines terapéuticos ⁸.

Cabe señalar que en otros lugares (Laboratorio LARN, Namur, Bélgica) se han llevado a cabo análisis *in situ* e *in vivo* del esmalte dental. El propósito de dichos análisis fue estudiar el proceso de difusión del flúor en el esmalte debido a la aplicación y cepillado con un



PIXE Aplicado al Estudio de Patologías Intraóseas

dentífrico. Los resultados señalan que el tiempo de cepillado es muy importante para la fijación de flúor en la hidroxiapatita superficial que compone el esmalte.

En otras áreas de la salud como la medicina, al aplicar esta técnica se han encontrado diferencias en la presencia de elementos de diversas enfermedades como en la de Alzheimer. Los estudios mostraron la ausencia o niveles muy bajos de aluminio en el cerebro. En cuanto a los elementos presentes en sarcomas en sus células multinucleadas se observó la presencia de zinc en concentraciones altas, así como en la apoptosis se observa una elevada concentración de magnesio³.

2.2 Función de algunos metales y elementos esenciales presentes en el organismo para el metabolismo.

En el cuerpo humano se encuentran presentes algunos elementos importantes para el metabolismo. Se han reportado los siguientes en las concentraciones promedio indicadas:

$K = 150 \text{ g} : Cl = 85 \text{ g} : Cu = 70 \text{ mg} : Mn = 8 \text{ mg} : Ni = 6 \text{ mg} : Cr = 4 \text{ mg} : Fe = 3 \text{ g} : Zn = 1.8 \text{ g} : Ca = 1.1 \text{ kg}.$

Puesto que la información que se genera a través del análisis PIXE es de carácter elemental es muy importante conocer el papel de estos elementos en la fisiología y la relevancia de su presencia en células y tejidos. A continuación se describen algunas de las funciones de estos elementos y su importancia en el metabolismo humano.

Ca.- El calcio se encuentra principalmente en los huesos y dientes en forma de fosfato de calcio, importante en la regulación de funciones nerviosas y musculares, así como en funciones esqueléticas y cardíacas¹¹, es un regulador intracelular de gran cantidad de respuestas fisiológicas y bioquímicas. Las principales fuentes de este elemento son la ingestión de productos lácteos, frijoles, y hortalizas de hojas grandes ¹¹.

K.- Cation principal en el líquido intracelular, con el Na^+ , que es el principal cation extracelular, son importantes en la regulación del equilibrio del agua y de los electrolitos, así como el balance ácido-base en el organismo. Estos están regulados por las hormonas corticoides de la corteza adrenal, además regulan la función nerviosa y muscular. El K,



PIXE Aplicado al Estudio de Patologías Intraóseas

está presente en casi todos los alimentos que se ingieren, las principales fuentes son: jugo de tomate, los cítricos y los plátanos ¹⁰.

Cl.- Su función en forma de ión Cl^- junto con el bicarbonato, regula el equilibrio del agua y los electrolitos en el líquido extracelular para igualar las cargas positivas de los cationes. También está presente en el líquido gástrico ¹¹. Su principal fuente es la sal de mesa.

Mg.- Constituye huesos y dientes, donde se encuentra en mayor concentración ⁹. Se encuentra seis veces más Mg que K en la célula; se le requiere como catalizador de reacciones enzimáticas intracelulares, principalmente en el metabolismo de carbohidratos (cinasas, etc.) en reacciones dependientes del ATP. Cuando aumenta su concentración extracelular el Mg deprime la actividad del Sistema Nervioso y la contracción del músculo esquelético. Una concentración baja del magnesio, aumenta irritabilidad del sistema nervioso y produce vasodilatación periférica y arritmias cardíacas ¹⁰. La fuente de este elemento son las hortalizas de hoja verde (clorofila).

Cr.- Relacionado con el níquel, interviene en su forma trivalente en la regulación del consumo de glucosa, por los tejidos animales (su deficiencia provoca resistencia a la insulina por ejemplo) ¹⁹.

Cu.- Es esencial para aves, mamíferos y varios invertebrados ¹², es utilizado en sistemas enzimáticos, incluyendo el metabolismo de Fe, formación de colágena, formación de citocromo, lactación y pigmentación del cabello en ratas, hay por lo menos 12 enzimas que requieren estructuralmente del cobre (ej. Tirosinasa, Lisiloxidasa, Fenoxidasa). También se presenta en el grupo activo de la oxidasa de lisilo, enzima que establece enlace transversal entre las cadenas polipeptídicas en el colágeno y en la elastina (su ausencia causa anemia y cambio en la osificación y posiblemente se deba al colesterol plasmático. Un exceso causa daño cerebral ¹³.

Fe.- Es necesario para todas las formas de vida, es una parte integral de varios sistemas enzimáticos, responsable de la respiración celular y del transporte de oxígeno, incluyendo los citocromos, la hemoglobina, y la mioglobina. El hierro es básico en la producción de hemoglobina, dos tercios del hierro del cuerpo de encuentran en la hemoglobina, pero hay cantidades menores en otras formas, especialmente en el hígado y en la médula ósea. En



PIXE Aplicado al Estudio de Patologías Intraóseas

todas las células hay portadores de electrones que contienen hierro (especialmente los citocromos), indispensables para la oxidación intracelulares. Por lo tanto, el Fe es absolutamente esencial tanto para el transporte de oxígeno a los tejidos, como para la conservación de los sistemas enzimáticos oxidantes dentro de las células¹⁰. Además el Fe, en la transferrina y la ferritina, juega un papel importante en la división celular. Su deficiencia en los humanos produce anemias, y un exceso causa hemocromatosis¹³.

Mn.- Elemento esencial para vertebrados, aves y mamíferos. Se ha comprobado que hay varias metaloenzimas dependientes del Mn, entre las que se cuentan la arginasa (involucrada en la formación de urea), carboxilasa de piruvato (ciclo del ácido cítrico), superóxido dismutasa (destruye radicales libres), hidrolasa y transferrasa. El Mn es importante también como activador enzimático así como en el metabolismo de lípidos y carbohidratos y en la síntesis de glucoproteínas y proteoglicanos¹⁹.

Zn.- Está presente en los tejidos de plantas y animales, es esencial para los vertebrados y la mayoría de los invertebrados. Es importante para el crecimiento y desarrollo apropiado, funciona en una variedad de metaloenzimas. Más de 200 enzimas requieren del zinc para llegar a su máxima actividad catalítica; Algunas son alcohol deshidrogenasa, fosfatasa alcalina, delta amino levulinasa, superóxido dismutasa, y ADN polimerasa. Además se requiere para la regulación de muchas hormonas como la prolactina, hormona tiroidea y corticosteroides. También forma parte de varias enzimas, una de las más importantes es la anhidrasa carbónica, que existe en concentraciones elevadas en los glóbulos rojos. Está responsable de la rápida combinación del CO₂ en sangre periférica con el agua de los glóbulos rojos para la rápida liberación de CO₂ desde la sangre capilar pulmonar a los alveolos, por lo que es requerido para el metabolismo del CO₂¹¹. Además es importante para la estabilidad del ADN, su deficiencia causa úlceras en piel, pérdida de pelo, y enanismo con hipogonadismo¹⁹.

Ni.- En la tabla periódica el Ni es adyacente al Co (que es esencial para la vida animal), y por ello se piensa que también es esencial para ésta aunque no hay certeza de ello. Se requieren más estudios para determinar su función fisiológica. Pequeñas cantidades de Ni siempre están asociadas a Fe. El Ni y el Cr son carcinógenos plenamente reconocidos en concentraciones ya determinadas²⁰.



3. TEJIDOS SANOS

3.1. Hueso.

El hueso es un tejido viviente, con una matriz protéica llamada colágena, la cual está impregnada con sales minerales, principalmente fosfato de calcio, los huesos son el soporte del hueso proporcionan un almacén de Ca^{2+} y otros minerales como fosfato y carbonato, los minerales del hueso se encuentra bajo la forma principalmente de hidroxiapatita $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{OH}_2$. Además de estas sales también se encuentran pequeñas cantidades de sodio, magnesio y carbonato ¹¹.

Histológicamente hay tres tipos de huesos: Los huesos compactos que se encuentran en las diáfisis de los huesos largos y las superficies externas de los huesos planos. Se encuentran organizados en cilindros de huesos alrededor de un vaso sanguíneo central llamados osteonas o sistema haversiano. Los huesos esponjosos forman la trabécula que recubre las cavidades de la médula ósea. Los huesos reticulares la cual es una forma inmadura de hueso, que también se forma en la consolidación de fracturas. El hueso está formado por células y está bien vascularizado, durante la vida los minerales son constantemente intercambiados y los huesos son reabsorbidos y reconstruidos, el calcio en la infancia es intercambiado al 100% y en el adulto un 18% ¹¹.

Las células encargadas de la formación del hueso son los osteoblastos (células osteoprogenitoras de origen mesenquimatoso), los cuales forman una red de fibras de colágeno que luego se calcifican y forman los osteocitos ²⁰. Los osteocitos son células óseas rodeadas de una matriz calcificada que envían prolongaciones citoplásmicas hacia el sistema de conductos que se ramifican por todo el hueso y unirse entre sí y con los osteoblastos. Los osteoclastos son células multinucleadas que erosionan y reabsorben el hueso previamente formado, derivan de las células hematopoyéticas por vía de los monocitos ¹¹.

Acompañando a los osteoblastos en el nuevo hueso se encuentra una fosfatasa alcalina que hidroliza los ésteres de fosfato, los fosfatos elevados por hidrólisis de tales ésteres



elevan la concentración de fosfato en la vecindad de los osteoblastos hasta el punto en que se sobre pasa y se precipita el fosfato de calcio. Esta es una parte de los procesos que intervienen en la calcificación ¹¹.



Figura1. Hueso sano.

La vitamina D (colecalfiferol) favorece la absorción de calcio, y previene el raquitismo. El calcio tiene un papel esencial en muchas propiedades y actividades de la célula, una de ellas es la velocidad de las mitosis de ciertas células como las del timo y la médula ósea. Se ha visto aumento o disminución de las mitosis dependiendo de la concentración de calcio en el plasma. El calcio se encuentra en un 99% en el esqueleto y 1% en la sangre y en tejidos blandos. El fosforo se encuentra en un 90% en el esqueleto.

Los estrógenos inhiben la reabsorción del hueso, debido a que el estrógeno es una hormona que protege al hueso de la PTH. Hay dos hormonas que ayudan al equilibrio del calcio en el organismo que son: la calcitonina que actúa en la hipercalcemia y la glándula paratiroides que mantiene los niveles de calcio sanguíneo ¹⁸.

3.1 Cemento

La composición del cemento es igual al de la dentina, aunque la composición de cenizas es ligeramente menor aproximadamente 26% de calcio y 13% de fosfato. Se divide en dos tipos: El cemento primario o libre de células que casi siempre está presente en el tercio



coronario de la raíz y no contiene células o lagunas, sino que se compone de una serie de lámelas que corren paralelas a la dirección de la raíz. Y el cemento secundario o con células, que usualmente cubre los dos tercios apicales de la raíz, y la bifurcación de los dientes con más raíces. Ambos tipos de cemento contienen embebidas en ellos las fibras de colágeno de la membrana periodontal. La presencia de lámelas indica que el cemento se forma intermitentemente ¹⁸.

Al cemento lo forman las células llamados cementoblastos semejantes a los osteoblastos, se encuentran entre el borde de la membrana periodontal y una delgada capa de "precemento" no calcificado. Estas células se rodean del cemento que han producido y están presentes en las "lagunas". La formación del cemento continua durante toda la vida. Su grosor aumenta al triple con la edad de los 11- 76 años, con un diámetro de (0.189 a 0.585 mm) ¹⁸.

El esfuerzo oclusal influye tanto sobre la cantidad de cemento que se deposita como en su disposición. En los dientes en funcionamiento activo, el cemento se deposita en forma densa y compacta, ya sea como lámelas regulares o, en algunos dientes como parte de proyecciones del cemento ya presente. En los dientes no activos, aunque el cemento puede ser más grueso que en los dientes sujetos a fuerza oclusal.

Su función proporcionar fijación a las fibras del ligamento periodontal, las fibras fijas al cemento degeneran y son sustituidas por nuevas fibras, otra función es proteger a la raíz cuando se efectúa una fuerza anormal, el crecimiento es más pronunciado en la región periapical. El cemento no depende de la pulpa ni de la dentina para su nutrición, y por lo tanto, continúa funcionando aún si la pulpa muere, razón por la cual los dientes se retienen, por que las fibras están sujetas al cemento todavía vital ¹⁸.



4. LESIONES FIBRO-OSEAS BENIGNAS

4.1 Fibroma cemento-osificante central.

Esta patología consiste en una lesión intraósea expansiva del maxilar y de la mandíbula, delimitada y encapsulada, constituida por tejido fibroso celular que contiene calcificaciones esféricas y estructuras óseas irregulares, orientadas al azar. Cuando la lesión es de hueso y no contiene calcificaciones esféricas se denomina fibroma osificante¹.

En algunas lesiones las calcificaciones son exclusivamente cementículos por lo que se denomina fibroma cementificante. El comportamiento biológico de ambas lesiones es idéntico originando expansión de las corticales, donde el hueso normal está sustituido por tejido fibroso celular neoplásico, y formación de calcificaciones esféricas y estructuras óseas irregulares dispuestas al azar¹⁵.

Presenta rasgos histológicos parecidos a la displasia fibrosa, de la cual se distingue por sus características clínicas y radiográficas, pero siguen siendo similares. Además de que no se mezcla con el hueso circundante, sino que se encuentra limitada por una pequeña capa de tejido fibroso.



Figura 2. Fibroma cemento-osificante. Aspecto característico de hueso irregular entremezclado con tejido conjuntivo



Se presenta también una variante destructiva que se presenta en jóvenes menores de 15 años denominada fibroma osificante juvenil.

Se localiza con mayor frecuencia en la zona posterior de mandíbula, más frecuente en las mujeres que en los hombres, principalmente de los 20 a 30 años de edad. La lesión suele ser de crecimiento lento y asintomática presentando expansión bucal y lingual ¹⁴.

Radiográficamente pueden ser uniloculares o multiloculares. En etapas tempranas son radiolúcidas, conforme aumentan de tamaño aparecen cantidades mayores de radioopacidades, cuando son maduras a menudo la lesión es radioopaca, con un borde radiolúcido que se separa del hueso normal circundante, un hallazgo frecuente es la reabsorción de la raíz y el desplazamiento dental ¹.

Histológicamente las lesiones radiolúcidas están constituidas por tejido conjuntivo fibroso celular frecuentemente con un patrón espiral, a menudo hay presencia de calcificaciones amorfas esféricas (cementículos) distribuidas al azar que frecuentemente se entremezclan con estructuras calcificadas de forma irregular que contienen osteocitos y una amplia zona de osteoide y osteoblastos, y existe una zona de tejido conjuntivo fibroso que lo separa del hueso normal vecino.

El tratamiento se ha realizado con éxito es la extirpación mediante legrado, excisión local y resección en bloque ¹.

4.2 Displasia fibrosa.

Enfermedad del tejido óseo, es una alteración asintomática del hueso donde es reemplazado el hueso por material fibroso y estructuras óseas no funcionales de aspecto trabecular, las lesiones pueden ser monostóticas o poliostóticas ¹⁵. Aunque ambas lesiones no guardan relación en que una pueda transformarse en la otra. Este término fue dado por Lichtenstein en 1938 ¹⁵.

La displasia fibrosa es una lesión fibroósea benigna, no es una neoplásia, porque su crecimiento es autolimitado, donde se sustituye el hueso medular por tejido fibroso que a su vez es sustituido por hueso metaplásico reticular que madura a hueso lamelar denso, aparece principalmente en niños y jóvenes ¹.

PIXE Aplicado al Estudio de Patologías Intraóseas

Hay dos tipos de displasia fibrosa, cada una con diversos subtipos:

i) Monostótica: - Juvenil

- Juvenil agresiva.
- Adulta.

ii) Poliostótica: - Craneofacial.

- McCune Albright.
- Jaffe.



Figura 3. Displasia fibrosa. Presencia de material calcificado de forma semiesférica.



4.2.1 Displasia fibrosa monostótica.

4.2.1.1 Displasia fibrosa juvenil.

Es la más común pertenece a la monostótica, donde sólo se ve afectado un hueso, es de crecimiento lento pero continuo; aumenta de tamaño el hueso afectado; este crecimiento continua hasta la pubertad o en la segunda década de la vida, esta forma es menos grave¹⁵.

4.2.1.2 Displasia fibrosa juvenil agresiva y del adulto.

Es una variedad que crece a un ritmo más rápido, provocando una deformidad importante, con pérdida de la función del hueso afectado, es asintomática con predilección por el maxilar, se ve clínicamente desplazamiento dental, da sintomatología cuando se traumatiza o úlcera.

Histológicamente varía en las diversas etapas, hay tejido conjuntivo celular, que ha desplazado a las trabéculas y a la médula normal, poco a poco emergen islotes de hueso metaplásico a partir del fondo del tejido fibroso, en la edad adulta el hueso madura y se aproxima a la normalidad, se extienden fibras colágena dentro del tejido fibroso.

Radiográficamente varían las características de acuerdo a la etapa en que se encuentre, inicialmente es radiolúcida pasando a radioopaca, conforme aumenta el hueso y se pierde el trabeculado se denomina "vidrio esmerilado". Hay expansión de corticales y desplazamiento de la raíz dental¹⁵.

Su tratamiento es por cuestión estética (osteoplastia), en el tipo juvenil no requiere tratamiento, hasta que el paciente alcanza la edad adulta. Las lesiones no deben tratarse con radioterapia por que se activa o conduce a su malignización en algún tipo de sarcoma.

El tipo de displasia fibrosa del adulto, es parecido a la juvenil excepto que se presenta en la edad adulta y al no ser autolimitada requiere un tratamiento continuo.



4.3.1 Displasia fibrosa poliostótica.

Clínicamente se manifiesta en etapas tempranas, con deformación, engrosamiento, y encurvamiento de los huesos largos, a menudo de distribución unilateral, presentan dolor óseo, con frecuencia se lesionan los huesos del cráneo y de la cara y puede haber asimetría obvia, se afectan las clavículas, huesos iliacos, metacarpianos, huesos largos provocando fracturas espontáneas ¹.

Se presentan lesiones cutáneas denominadas "café con leche", que consisten en manchas melanóticas irregulares. En las mujeres se presenta pubertad precoz que comienza a los dos o tres años con sangrado vaginal, manifestación común. Alteraciones del sistema endócrino: Tiroides, paratiroides y ovarios ¹⁵.

En boca hay expansión y deformación de los maxilares, las anomalías endocrinas modifican la secuencia de erupción. Radiográficamente es de aspecto quístico multilocular. En el examen de laboratorio no existen cambios en el fósforo o en el calcio del suero aunque el nivel de fosfatasa alcalina sérica está elevado ¹.

Al microscopio presenta un tejido conectivo fibrilar, donde hay numerosas trabéculas óseas de forma irregular, los osteocitos son bastantes grande y se pueden ver fibras colágena extendiéndose dentro del tejido conjuntivo fibroso, hay formación ósea por osteoblastos estrellados aunque no existen fibras de osteoblastos cuboidales que revisten las superficies de las trabéculas, hay amplias líneas osteoides ¹.

Su tratamiento es quirúrgico, las lesiones graves son imposibles de tratar, debido a que tienden a ser progresivas. Una complicación es la transformación maligna tanto de la forma monostótica como de la poliostótica en un osteosarcoma, en los pacientes que no han recibido radioterapia ¹. La enfermedad no complicada suele ser compatible con la vida.

4.3.1.1 Displasia fibrosa poliostótica tipo McCune Albright.

Es una displasia fibrosa aún más grave, que lesiona casi todos los huesos del esqueleto, presenta las manchas en la piel, pero también alteraciones endocrinas como son glándula tiroides, paratiroides, y ovarios ¹.



4.3.1.2 Displasia fibrosa polisotótica tipo Jaffe.

Es una displasia fibrosa que afecta un número variable de huesos, aunque la mayor parte del esqueleto es normal y se acompaña por lesiones pigmentadas de la piel o manchas "café con leche", pero sin alteraciones endócrinas ¹.



5. LA TÉCNICA PIXE

5.1 Generalidades.

Los primeros experimentos en la Física Nuclear se efectuaron por medio de dos fuentes productoras de partículas energéticas; las fuentes emisoras de partículas alfa (como el radio, el polonio y el torio), y los rayos cósmicos. Cuando Ernest Rutherford comenzó sus experimentos alrededor de 1907, contaba tan sólo con siete miligramos de radio. La emisión de partículas alfa es muy pequeña; no obstante, pudieron descubrir varios fenómenos fundamentales, como son: el modelo nuclear del átomo, la primera transmutación del átomo, la radioactividad artificial, el neutrón y la fisión nuclear.

A principios de los años treinta se comenzaron a construir dispositivos que permitieran mejorar las condiciones experimentales para la investigación en la Física Nuclear. De esta manera aparecieron el acelerador de Cockroft-Walton(1932), el acelerador lineal de Sloan y Lawrens (1931), el ciclotrón (1931) , y el acelerador Van de Graaff(1935) ¹⁷.

Aproximadamente en 1929, Robert J. Van de Graaff, inventó el generador electrostático, que lleva su nombre, utilizando una lata, una banda de seda y un motor. Poco después, logró predecir la reacción nuclear que Cockroft y Walton produjeron en Cambridge en 1931. Hacia 1935 fue posible, al fin , realizar el primer experimento en Física Nuclear utilizando un acelerador de este tipo. Desde entonces, sus aplicaciones han sido múltiples, debido a que proporciona un haz bien definido, con energía bien determinada y fácilmente modificable ¹⁷.

En México se cuenta con experiencia en el uso de aceleradores de partículas desde 1952. Actualmente el Instituto de Física cuenta con tres de ellos, de los cuales el más nuevo es el Acelerador Peletrón, el cual se adquirió en 1992 ¹⁶. Sus aplicaciones conciernen estudios de física nuclear de baja energía, modificación de superficies y sus propiedades, y aplicaciones de técnicas de análisis con haces de iones, la mayor parte de éstas de tipo interdisciplinario.

5.2 El acelerador Peletrón.

Es un acelerador electrostático, que posee la ventaja de producir haces de mayor energía con el mismo potencial en la terminal que otros tipos de aceleradores como el Van de Graaff, funciona con un proceso de doble aceleración de los iones.

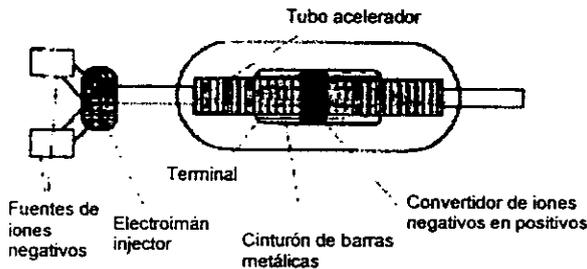


Figura 4. Diagrama del acelerador de partículas Peletrón

En el peletrón se carga la terminal mediante una o más cadenas, formados por rótulas metálicas y plásticas en forma de pastilla alternadas, sustituyendo la banda de los aceleradores Van de Graaff. Se utiliza una fuente de iones negativos, externa al tanque del acelerador para que la estabilidad de la energía sea mayor.

Este acelerador cuenta con dos tipos de fuentes de iones. La primera es para gases, y se conoce como Alphasross, donde hay un cilindro de cuarzo, al cual se inyecta el gas a ionizar. Una fuente de radiofrecuencia ioniza el gas, el cual es extraído del cilindro hacia una cámara rellena de vapores de rubidio. La interacción de los iones positivos con el rubidio provoca que dichos iones se conviertan en negativos mediante la captura de electrones¹⁷.

Puesto que la fuente en su conjunto se halla a un potencial de -50 KV, los iones negativos se ven empujados hacia la línea donde se encuentra el electroimán inyector, que los conduce hacia el acelerador propiamente dicho.

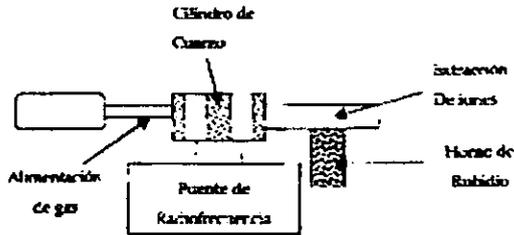


Figura 5. Diagrama de la fuente de iones alphasource.

La segunda fuente es la conocida como (SNICS). El elemento del cual se desean producir iones se encuentra como sólido en un cátodo, formado fundamentalmente de cobre, el cual se bombardea con un haz de iones de cesio. Esto produce una erosión en el cátodo, y los átomos expulsados interactúan con los vapores de cesio, produciendo un haz de iones negativos mediante la captura electrónica. Al igual que en la fuente Alphasource, estos iones negativos se encaminan al acelerador mediante el electroimán inyector¹⁷.

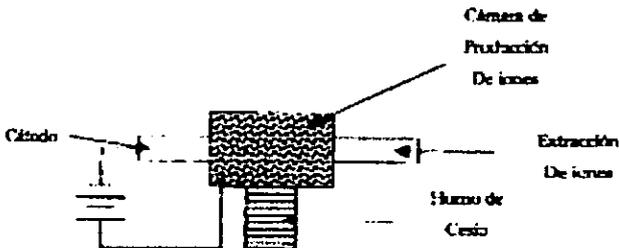


Figura 6. Diagrama de la fuente de iones SNICS.



5.3 Fundamentos de la Técnica PIXE

PIXE (Particle Induced X-Ray Emission), o Emisión de Rayos X Inducida por Partículas, es el nombre de una técnica analítica de origen nuclear que permite efectuar análisis cuantitativos multielementales de diversos materiales mediante los rayos X emitidos ¹⁶.

Esta técnica permite determinar la composición de elementos de número atómico superior a 11 (sodio) con una alta sensibilidad que alcanza algunos $\mu\text{g/g}$. Para determinar la composición elemental de una muestra, esta técnica combina varios procesos. Por un lado se produce la excitación de los átomos constituyentes del material mediante su ionización por las partículas incidentes, lo cual genera la producción de dos tipos de rayos X: continuos y característicos, estos últimos debido a las recombinaciones de las órbitas electrónicas de los átomos excitados (ver figura 7).

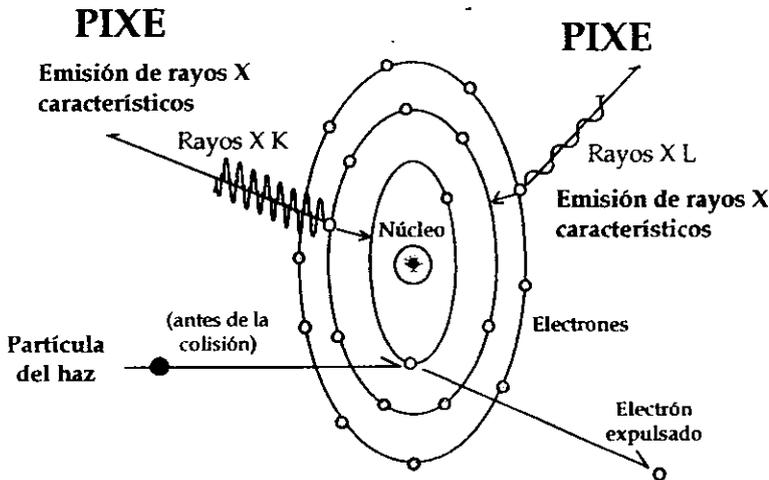


Figura 7. Diagrama de la emisión de rayos X inducida por la irradiación de partículas.



PIXE Aplicado al Estudio de Patologías Intraóseas

La energía del fotón emitido es característica del elemento en cuestión, por lo que mediante la medición de dicha energía, se determina la composición de los materiales por los elementos, no por los compuestos. Como puede verse en la figura anterior, un electrón es expulsado de una órbita interna del átomo en cuestión, las capas internas presentan electrones de baja energía por lo que son los primeros en ser desplazados, por lo que se produce una vacante en esa capa, la cual será llenada por la transición de un electrón de otra capa más externa, emitiéndose el excedente de energía como un fotón cuya energía es característica de la transición. (Johansson et al 1988 y 1995). Con esta técnica es posible analizar los elementos con número atómico superior a once (sodio)¹⁷.

La energía del fotón depende del átomo que se trate y es igual a la diferencia en energía entre los subniveles del átomo involucrados en la transición. El electrón que llena la vacante puede provenir de un gran número de subcapas, limitado solamente por las reglas de selección de transiciones atómicas²⁰.

La producción eficaz de fotones de rayos X depende de varios factores tales como el tipo de haz, la energía de incidencia y el tipo de átomo sobre el cual va a interactuar. Para cada línea o tipo de rayos X se define una sección eficaz de producción de rayos X¹⁷, esta puede entenderse simplemente como la probabilidad de excitar a un átomo de un cierto elemento por la irradiación.

El fin deseado de bombardear un espécimen con protones o iones pesados es arrancar electrones de las órbitas internas (capas K ó L) de los átomos, con la subsecuente emisión de rayos X característicos. Las secciones eficaces de ionización juegan un importante papel en esta técnica. Las secciones eficaces tienden a ser máximas cuando la energía del proyectil se iguala a la velocidad orbital del electrón que será expulsado de los átomos. Por lo general se produce la irradiación con protones o iones de helio. Se estudia en el objeto una profundidad de entre 10 μm y 100 μm y un área de sección circular de 10 micras hasta algunos mm de diámetro. Cuando se utiliza un dispositivo de haz externo, como en esta investigación, el objeto de estudio como tal no tiene limitación en cuanto a tamaño y forma²⁰. En este caso el área de irradiación y por lo tanto de análisis es de algunos mm^2 .



6. MATERIALES Y METODOS

Dado que la cavidad bucal, no se encuentra formada únicamente por los dientes sino también de estructuras, alrededor de éstos que se encuentran en muchas ocasiones involucrados por una gran variedad de lesiones, las cuales pueden clasificarse de acuerdo a su etiología en: hiperplásicas, degenerativas, cancerizables, neoplásicas benignas y malignas, inflamatorias, infecciosa y reactivas. Algunas muestran una histología compleja, donde intervienen varios tejidos en su conformación. En este trabajo piloto, se propone el uso de la técnica PIXE (Emisión de Rayos X Emitida por Partículas) para encontrar variaciones que nos ayuden a entender el comportamiento de las lesiones, tomando en cuenta que la técnica PIXE es muy sensible, pues determina la composición de la mayor parte de los elementos químicos presentes en el material estudiado.

6.1 Dispositivo experimental

Se aplicó la técnica PIXE al estudio de las siguientes muestras biológicas: Hueso sano, cemento radicular sano, fibroma cemento-osificante central, displasia fibrosa e hiper cementosis.

Para conocer si existen diferencias significativas y/o variaciones en cuanto a su composición y a los elementos presentes entre tejidos sanos y estas lesiones, bajo las mismas condiciones de análisis. Para este estudio piloto se obtuvieron las muestras sin criterios de selección específica, en cuanto a edad, sexo, evolución, etc. Los análisis se llevaron a cabo utilizando el dispositivo de haz externo del acelerador Peletrón del Instituto de Física de la UNAM.

La muestra a analizar se sitúa delante del haz a una distancia de típica de 1.5cm. El detector de rayos X se dispone según la geometría requerida. El espectro PIXE es obtenido tras el procesamiento de las señales del detector. Pueden utilizarse más de un detector y filtros para modificar la absorción de los rayos X detectados y realizar la detección de los elementos trazas según se requiera. En este caso se utilizaron un filtro de 40 μ y de Al y un colimador de 0.5 mm (ver figura 8).

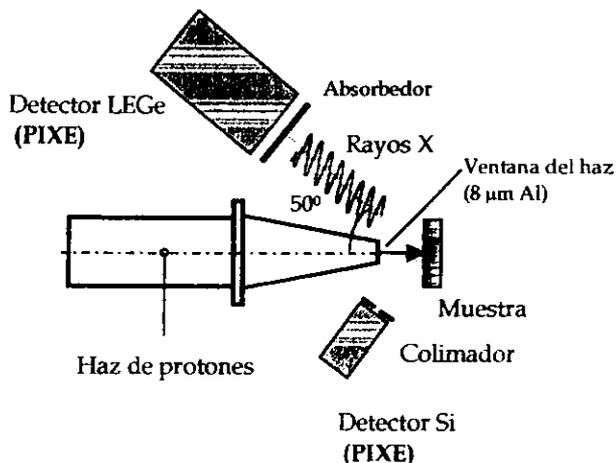


Figura 8. Dispositivo experimental del haz externo para análisis PIXE.

6.2. Selección y preparación de muestras

La preparación de las muestras biológicas para su análisis por PIXE se llevó a cabo de la siguiente manera:

En primer lugar se acudió al registro del departamento de patología bucal para buscar los diagnósticos requeridos; después se solicitaron las inclusiones en parafina, de la que se explica su proceso de preparación de tejidos a continuación.

El objetivo de la fijación es conservar el protoplasma, con la menor alteración posible con respecto al tejido vivo. Por lo que la inclusión en formalina se debe realizar a la brevedad posible, para evitar digestión del tejido por las enzimas que se encuentran en él (autólisis). La mayoría de los fijadores coagulan el protoplasma para hacerlo insoluble y endurecer el tejido para facilitar el corte. Se emplea comúnmente formalina al 10 %¹³.

Una vez hecha la biopsia se debe colocar lo mas pronto posible en una solución fijadora, en este caso se utiliza formalina al 10 % amortiguado con un pH neutro, quedando en la solución en un promedio de 12 a 24 horas para mayor penetración de la solución en el



PIXE Aplicado al Estudio de Patologías Intraóseas

tejido, después pasa a enjuagarse con agua corriente de algunos minutos a horas para eliminar el excedente de fijador, el siguiente paso es la desmineralización para los tejidos duros, para lo que se usa el ácido nítrico al 5 %, que dependiendo de la cantidad de material calcificado será el tiempo que permanezca en los ácidos, en este caso la displasia fibrosa se mantuvo 2 días, el fibroma osificante 5 días y la hiper cementosis 6 días, después se enjuaga en agua corriente y pasa al Histokinette® (con alcoholes ascendentes, xilol, parafina), proceso que lleva un promedio de 17 horas. Posteriormente se orienta y se hace la inclusión en parafina, para continuar con los cortes en el microtomo (cortes de 4-5 micrometros). Y posteriormente efectuar la tinsión con hematoxilina y eosina. Para este estudio únicamente se hizo la prueba sobre los tejidos inmersos en cubos de parafina sin teñir. La laminilla se uso para la focalización del haz de particulas sobre la muestra de tejido.

Además, del análisis de las muestras anteriores, se realizó la irradiación de un cubo de tejidos blandos para ser utilizado como un parámetro para inferir que tanto puede influir el proceso de desmineralización y fijación, en cuanto a la presencia de elementos presentes en las sustancias del proceso.

A los cubos se les eliminó la capa superficial de parafina por medio de la cuchilla del microtomo y enseguida se aplicó tolueno, con la finalidad de eliminar la mayor cantidad de parafina y facilitar la irradiación con el haz de protones.

Usando el acelerador Peletrón se colocaron los cubos y se focalizó en diversas áreas, previamente seleccionadas a traves de cortes histológicos observados en un estereoscopio y en un microscopio de campo claro, para localizar zonas representativas del tejido patológico y del tejido normal, que se señalaron con puntos de tinta indeleble.

Cada zona fue irradiada por 5-7 min en promedio, considerado como el tiempo óptimo para obtener espectros confiables. Se determina la región de irradiación por medio de la intersección de dos haces de rayos láser, apoyándonos en un monitor instalado junto a la computadora para corroborar la zona que se está irradiando. Los detectores de rayos X se colocaron lo más próximo a la muestra a angulos de 30° con respecto a su superficie. En el lapso de tiempo de la irradiación se obtienen los resultados por medio de los espectros (gráficos) que aparecen en el monitor de la computadora conectada al Peletrón. Las



PIXE Aplicado al Estudio de Patologías Intraóseas

ordenadas corresponden a la energía de los rayos X mientras que las abscisas corresponden a su intensidad, la cual es proporcional a su concentración.



7. RESULTADOS

Los resultados obtenidos mostraron la presencia de S, Cl, Ca, Fe, Cu, Ti, Pb, K, Zn, Mn, en los tejidos irradiados. Un típico espectro PIXE se muestra en la figura 9.

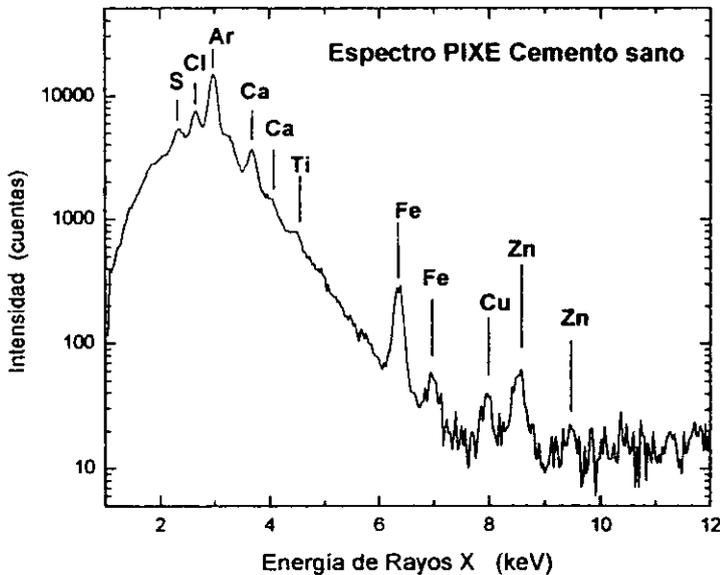


Figura 9. Espectro típico de los tejidos analizados mediante PIXE.

En este caso se realizó sólo un análisis cualitativo como un primer paso en la aplicación de la metodología. La comparación entre las muestras se realiza a través de los rayos X normalizados por la señal de argón atmosférico, el cual funciona como un monitor de la irradiación de las muestras.



PIXE Aplicado al Estudio de Patologías Intraóseas

Existen diferencias entre las diferentes patologías y los tejidos sanos (figura 10) Estas se describen a continuación.

En el caso de la displasia fibrosa no se observó la presencia de Cl y existen alrededor de 4 veces más de Fe y 10 veces más de Ca en este tejido que en las otras patologías. En cambio la hiper cementosis se muestra la presencia de Pb (único tejido con esta característica), además de la ausencia de Cu. Por ello se distinguieron las tres diferentes patologías, cabe señalar que también en los tejidos sanos existe presencia de Zn y K. Por otra parte, en los tejidos blandos hay presencia de K, Mn, y Zn, ausencia de S y Cl.

Las concentraciones de Ti observadas son casi iguales en el tejido patológico y sano y corresponden a señales de parafina en las cuales está incluido el tejido, también en la parafina aparecen señales de Fe pero las cantidades observadas en las muestras sí son representativas de los tejidos porque en la parafina está en pequeñas cantidades (10 veces menos que en los tejidos). Esto podría deberse al proceso de preparación de las muestras, por lo que deberá confirmarse a partir de una nueva preparación de muestras más apropiada.

Ahora se describirán las diferencias más específicas de cada una de las patologías: En el fibroma cemento-osteificante central (figura 11) se observa la presencia de Cu en la zona sana y de interfase (entre tejido sano y patológico), la región sana contiene 3 veces más Ca, lo cual indica que en la región de transición y en el tejido enfermo el Ca se degrada. Asimismo, las cantidades de S y Cl en la región sana son una tercera parte menores que en las otras regiones.

En la displasia fibrosa (figura 12), además de las diferencias en los elementos señalados previamente, difieren las concentraciones de Cu (aproximadamente el doble) entre la región sana y la patológica, asimismo, en una de las regiones sanas se observa 4 veces más Ca que en las otras regiones, la diferencia podría deberse a una heterogeneidad en el tejido por lo cual se requiere una revisión microscópica de la región irradiada.

En la hiper cementosis (figura 13) hay variaciones en cuanto a cantidades de Ca, en algunos casos hay ausencia y en otros presencia. Las regiones de hueso sano presentan el doble de Fe que en las zonas patológicas y el mismo hueso sano presenta alrededor de la mitad en cuanto a las concentraciones de Pb.

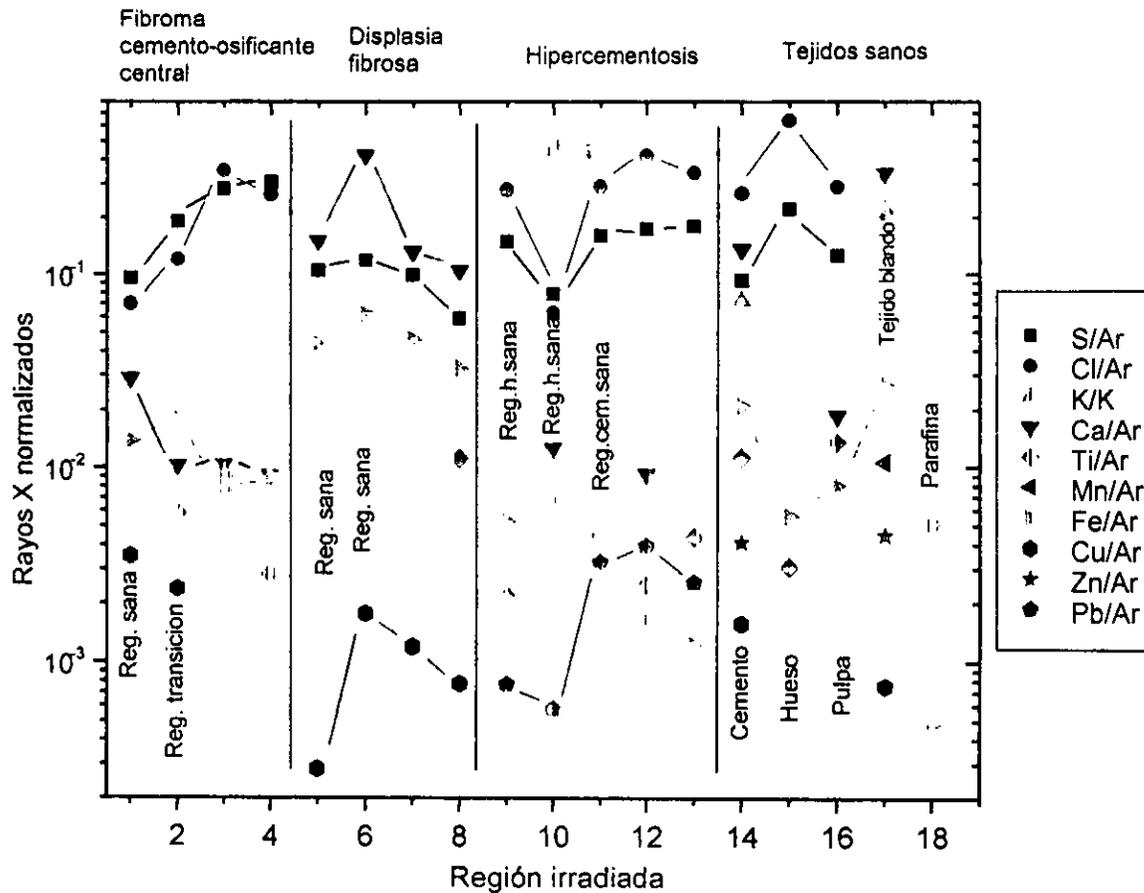


Figura 10. Comparación de intensidades de rayos X entre las diferentes muestras

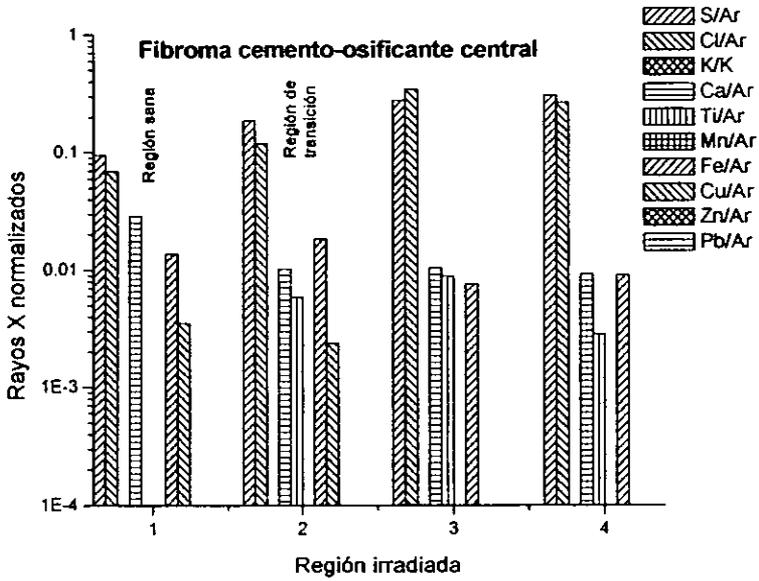


Figura 11. Resultados fibroma cemento-osificante central

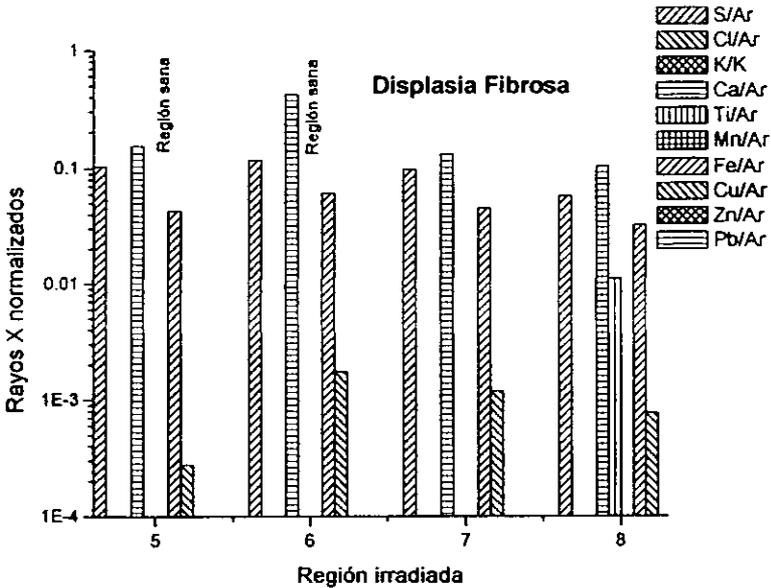


Figura 12. Resultados displasia fibrosa

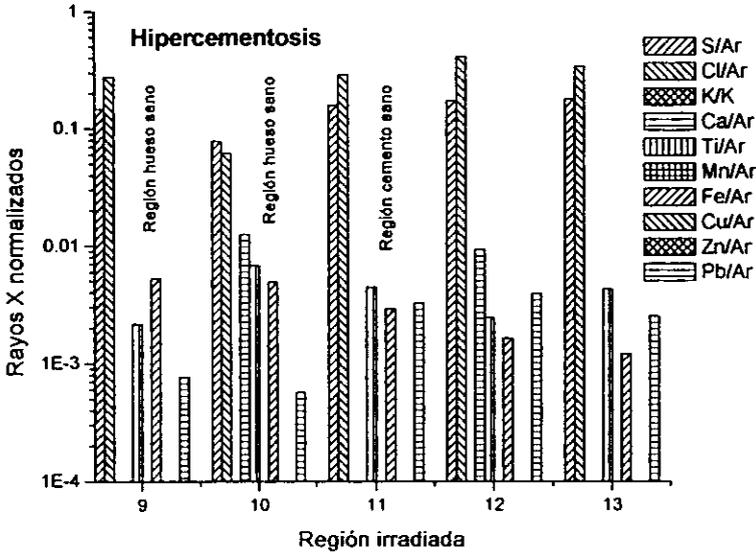


Figura 13. Resultados hipercementosis

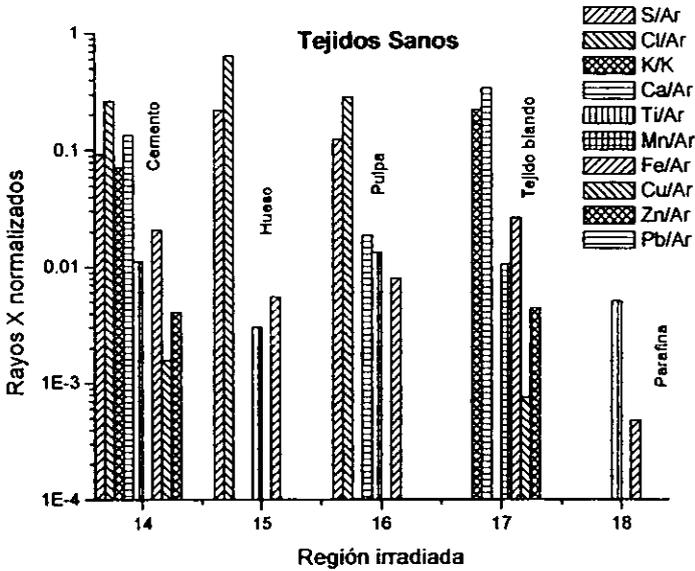


Figura 14. Resultados tejidos sanos



PIXE Aplicado al Estudio de Patologías Intraóseas

Una comparación entre los componentes del tejido sano muestran diferencias congruentes (figura 14). Por ejemplo en los niveles de Ca contenidos en el cemento en comparación a la pulpa, donde el cemento presenta nueve veces más Ca, además presenta el doble de Fe que los otros componentes así como la presencia de K, Zn, y Cu.

En lo que respecta al tejido blando (sin desmineralizar), hay ausencia de Cl y S, niveles elevados niveles de Ca, presencia de K, Mn y Zn. Esto podría deberse al proceso de preparación de las muestras.



8. DISCUSION Y CONCLUSIONES

Los resultados muestran diferencias entre los tejidos estudiados. Sin lugar a dudas, se requieren estudios más profundos para los procesos patológicos y su relación con las concentraciones de los elementos observados.

La metodología PIXE es apropiada para mostrar diferencias entre los tejidos normales y las patologías, y podría utilizarse para estudiar otras patologías, como en la pigmentación de dientes y hueso por el uso de tetraciclinas, conocer que partículas se presentan en las lesiones de tatuaje por amalgama, composición de elementos en la amelogenénesis imperfecta, e hipoplasia del esmalte, etc. Para poder realizar un análisis cuantitativo de la composición elemental se debe tener mayor control en la preparación de las muestras.

Las variaciones observadas en los elementos presentes en las patologías podrían ayudar a entender los procesos de desarrollo que siguen las patologías, por lo cual se propone considerar los siguientes aspectos para futuros estudios:

- 1) Optimización de los dispositivos experimentales en cuanto al uso de haces de iones más finos.
- 2) Métodos de preparación de muestras con un mínimo de intervención de químicos (por ej. congelación de muestras).
- 3) Protocolos bien establecidos en cuanto a preparación de muestras de carácter universal.
- 4) Realizar un muestreo en la medición de patologías en diferentes etapas de desarrollo y realizar su análisis PIXE con el fin de entender el proceso de la patología en cuanto a variación de elementos en las diferentes etapas de su desarrollo.



PIXE Aplicado al Estudio de Patologías Intraóseas

Con el presente trabajo se pone en evidencia la importancia del empleo de nuevas metodologías para el entendimiento de las patologías y su proceso de desarrollo. En este sentido este trabajo presenta una propuesta nueva y original de investigación que abre en esta área de la Odontología, la cual debe seguirse desarrollando.

**ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA**

AVISO DE PRIVACÍA Y CONFIDENCIALIDAD

LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTA COMUNICACIÓN ES CONFIDENCIAL Y DE USO EXCLUSIVO PARA LA PERSONA A LA CUAL SE DIRIGE Y A AQUELLOS INDIVIDUOS AUTORIZADOS PARA RECIBIRLA. SI USTED NO ES RECEPTOR AUTORIZADO, CUALQUIER DIFUSIÓN, COPIA, DISTRIBUCIÓN O ACCIÓN QUE SE TOMÉ EN RELACION AL CONTENIDO DE ESTA INFORMACIÓN ESTA PROHIBIDO



REFERENCIAS

- (1) Regezi J., Patología bucal, edit. Interamericana, México 1991, p.p. 579.
- (2) Ruvalcaba Sil J.L., Estudios Arqueométricos mediante la técnica PIXE y RBS, Antropología y Técnica, Instituto de Investigaciones Antropológicas, UNAM, en prensa.
- (3) Kubala-Kukus A., Trace element load in cancer and normal lung tissue, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 150 (1999) 193-199.
- (4) Makjanic J., Nuclear microscopy in Alzheimer's disease, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B150 (1999) 167-172.
- (5) Harada S., The two inverse pathway: the apoptosis and the multinucleated cell switched by the magnesium/zinc balance in irradiated Sarcoma in vivo, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 150 (1999) 158-166.
- (6) Solis C., Oliver A., Rodríguez- Fernández L., Andrade E., Chávez Lomeli M.E., Macilla J., Saldivar O., Lead levels in mexican human teeth from different historical periods using PIXE, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 118, pag. 359.
- (7) Rodríguez-Fernández L., Ruvalcaba Sil J.L., Ontalba Salamanca M.A., Román-Bellereza J.A., Gallardo, M.L., Grimaldi D.M., de Lucio O.G., Miranda J., IBA of ancient Mexican colored teeth from archaeological sites in Mexico City, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 150 (1999) 663.
- (8) Andrade E., Pineda J.C., Zavala E.P., Murillo G., Chavéz R., Lascuraín R., Espinosa Ma. L., Villanueva O., IBA analysis of a possible therapeutic ancient tooth inlay, Nuclear Instruments and methods in Physics Research B 136-138 (1998) 908-912.
- (9) Lenhinger 1988, Principios de bioquímica, Editorial Omega S.A. Barcelona, p.p. 1013.



PIXE Aplicado al Estudio de Patologías Intraóseas

- (10) Guyton A., Fisiología Humana, Edit. Interamericana, México 1994.

- (11) Murray, Impact of Cancer: years of life lost Dueto Cancer. The Journal of tha National Cancer Institute, 52 (1974) p. 3-7.

- (12) Hopkin S.P. Ecophysiology of metals in terrestrial Invertebrats, El Sencer Applied Science, Nueva York citado en: Parametrix 1995, Persistence, bioacumulation and foxicity of metal compounds, The international Council on metals an environmet ottawa (Canada p.93).

- (13) Ganong, Fisiología Médica, Edit. El manual moderno, décima edición, México, D.F. 1986.

- (14) Sapp J .Eversole L, Patología Oral y Maxilofacial Contemporanea, Edit. Harcourt, 1ra edición 1997.

- (15) Shafer W. Tratado de patologia bucal, Eddit. Interamericana ,4ta. Edición.

- (16) Ruvalcaba Sil J.L., Arqueología, Arte y Aceleradores de Partículas, Revista de Divulgación Científica de la UNAM, Como Ves?, México, 2000.

- (17) Miranda J., Técnicas Analíticas de Origen Nuclear, 2da. Edición, Instituto de Física, UNAM, México, 2000.

- (18) Jenkins G.N., Fisiología y bioquímica bucal, Editorial Limusa, México 1983.

- (19) Figueroa G., Determinación de metales pesados y otros elementos en el parénquima pulmonar de pacientes con cáncer broncogénico y otros padecimientos respiratorios, tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias, UNAM, México, 1997.

- (20) Alvarez, J.L., Análisis de material biológico con PIXE, tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias, UNAM, México, 1996



GLOSARIO

- Anión.**- ion con una o más cargas negativas que en un campo eléctrico, se desplaza hacia en ánodo o electrodo positivo.
- Apoptosis.**- Muerte celular programada.
- Carcinógenos.**- Sustancia química o factor físico, especialmente, radiaciones ionizantes(alfa, beta o gama), rayos X, susceptibles de producir cancer.
- Catión.**- ion con carga positiva de un electrólito (especialmente un hidrogenión, H⁺, u otro ion metálico).
- Citocromos.**- proteína que contiene una ferroporfirina como grupo prostético (hemoproteína), presente en la célula de todos los organismos que utilizan oxígeno, actúa como catalizador redox.
- Estereoscopio.**- Instrumento óptico utilizado en estereoscopia(observación de un par de semiimágenes preparadas y ofrecidas por separado para cada ojo.
- Fotón.**-Rémino que pone de manifiesto el carácter corpuscular de la luz y que hace referencia a una partícula luminica de masa 0; Energía cuántica.
- Hidrólisis.**- escisión o rotura de un compuesto llevada a cabo por medio del agua, p. ej., de una sal en un ácido y una base.
- Hipercementosis.**- Engrosamiento localizado o generalizado del cemento de la raiz, sobre todo como reacción inflamatoria.
- Hipogonadismo.**- Hipofunción hormonal de las gónadas con los siguientes signos patológicos ,insuficiencia testicular, malformación o atrófia de los testículos.
- Ion.**- Partícula de carga eléctrica derivadas de átomos o moléculas por la eliminación de uno o varios electrones(catión, anión).
- Microtomo.**- Instrumento de sección para la preparación de finos cortes histológicos.
- Mioglobina.**- Micohemoglobina, miocromo, proteína similar a la hemoglobina, consta de una cadena polipeptídica como un contenido de hierro y un grupo hemo unido a ella.
- Monostótico.**- Relativo a un solo hueso.
- PIXE.**- (Particle Induced X-Ray Emisión) Emisión de rayos X por inducción de partículas.
- Pollostótico.**- Relativo o que afecta varios huesos.
- Protoplasma.**- Plasma elemental de la célula, es un sistema coloidal de sustancias consistente en agua, proteínas, grasa, hidratos de carbono, vitaminas y sales minerales.
- PHT.**- Hormona paratiroidea.