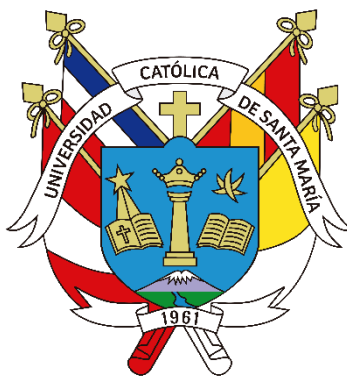


**Universidad Católica de Santa María**  
**Facultad de Odontología**  
**Escuela Profesional de Odontología**



**Potencial remineralizante de la Arcilla Chaco en lesiones iniciales de  
caries: Estudio in vitro**

Tesis presentada por la Bachiller:

**Palomino Catasi, Mavila Yameli**

**ORCID: 0009-0008-1953-9459**

para optar el Título Profesional de Cirujana Dentista

Asesor:

**Dr. Escalante Otárola, Wilfredo Gustavo**

**ORCID: 0000-0003-4879-3938**

Arequipa - Perú  
2025

UCSM-ERP

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA**

**ODONTOLOGIA**

**TITULACIÓN CON TESIS**

**DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR**

Arequipa, 28 de Mayo del 2025

**Dictamen: 014303-C-EPO-2025**

Visto el borrador del expediente 014303, presentado por:

**2020245662 - PALOMINO CATASI MAVILA YAMELI**

Titulado:

**POTENCIAL REMINERALIZANTE DE LA ARCILLA CHACO EN LESIONES INICIALES DE  
CARIES:ESTUDIO IN VITRO**

Nuestro dictamen es:

**APROBADO**

Título Profesional/Título de Segunda Especialidad/Grado Académico a optar:

**CIRUJANO DENTISTA**

**29238358 - SALAS ROJAS MONICA HILDA CLEOFE  
DICTAMINADOR**



**30862017 - FIGUEROA BANDA RUFO ALBERTO  
DICTAMINADOR**



**44601950 - ALVARADO GOMEZ ALBERTO ARMANDO  
DICTAMINADOR**



# Potencial remineralizante de la Arcilla Chaco en lesiones iniciales de caries: Estudio in vitro

## INFORME DE ORIGINALIDAD

30%

INDICE DE SIMILITUD

28%

FUENTES DE INTERNET

11%

PUBLICACIONES

7%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="https://repositorio.unap.edu.pe">repositorio.unap.edu.pe</a> Fuente de Internet	8%
2	Submitted to Universidad Católica de Santa María Trabajo del estudiante	3%
3	<a href="https://repositorio.unsaac.edu.pe">repositorio.unsaac.edu.pe</a> Fuente de Internet	3%
4	<a href="https://upc.aws.openrepository.com">upc.aws.openrepository.com</a> Fuente de Internet	2%
5	<a href="https://www.dspace.unitru.edu.pe">www.dspace.unitru.edu.pe</a> Fuente de Internet	2%
6	<a href="https://rccm-umss.com">rccm-umss.com</a> Fuente de Internet	1%
7	Roque Almanza, Luis. "Caracterización físico – química y grado de conocimiento de los consumidores y comercializadores de las arcillas comestibles (cha'qo) de la Región de	1%

## *Dedicatoria*

*Este trabajo es dedicado:*

*Con todo mi amor y gratitud a mis padres por ser mi red de apoyo, por guiarme e inspirarme a luchar por mis sueños y siempre creer en mí, gracias por su esfuerzo incansable cada día, por sus sacrificios y por estar presentes en cada paso de este camino*

***A mi mamá Aurelia***

*por no darse por vencida nunca, por demostrarme la valentía y la fortaleza con su ejemplo y amor*

***A mi papá Adrian***

*por sus palabras de aliento y apoyo incondicional*

***A mi hermano Ricardo***

*por su apoyo y por los recuerdos que siempre llevaré conmigo*

***A Reyna***

*por ser luz en mi camino*

***A mi amada mascota Chaparro***

*que fue una fuente constante de alegría, compañía y consuelo. Aunque no llegó al final de esta carrera, su recuerdo vive y vivirá por siempre en mi corazón.*

### *Agradecimientos*

*En primer lugar, a Dios por ser mi guía y mi protector, por darme fortaleza en los momentos más difíciles, por permitirme alcanzar uno de los sueños más grandes de mi vida, y por todas las bendiciones que ha permitido lleguen a mí.*

*A la Escuela Profesional de Odontología y a sus docentes por brindarme sus enseñanzas y conocimientos durante mi formación profesional, así como palabras de aliento que me impulsaron a seguir esforzándome cada día más.*

*Quiero expresar mi gratitud sincera a mi Asesor Dr. Wilfredo Escalante Otárola por su gran ayuda y colaboración desde el inicio de este trabajo, por su tiempo, paciencia y amplio conocimiento que ha sido una fuente invaluable de aprendizaje y desarrollo profesional.*

*A las personas que me brindaron su valioso apoyo durante la etapa laboratorial de este estudio. Gracias por su disposición, por compartir sus conocimientos y por acompañarme con paciencia y compromiso en el desarrollo de los procedimientos. Cada gesto de apoyo, cada orientación brindada en el laboratorio ha quedado grabada en mi memoria y en los resultados de este trabajo.*

*Y a todas las personas que, de alguna forma, aportaron a mi crecimiento durante esta etapa: gracias por haber formado parte de este capítulo tan importante en mi vida.*

*Gracias de todo corazón.*

## EPÍGRAFE



*“Todo sueño que vale la pena viene acompañado de esfuerzo, constancia y fe.”*

— Anónimo

## RESUMEN

El presente estudio experimental in vitro tuvo como finalidad evaluar la capacidad remineralizante de la arcilla Chaco en lesiones incipientes de caries sobre esmalte bovino, utilizando un modelo dinámico de pH basado en el protocolo de Ten Cate y Duijsters. Se emplearon 12 muestras distribuidas en cuatro grupos experimentales: esmalte sano (ES), esmalte desmineralizado (ED), tratamiento con MI Paste Plus Recaldent (MP) y tratamiento con pasta de arcilla Chaco (CH). Las muestras fueron sometidas a ciclos diarios de desmineralización con ácido láctico (6 h) seguidos de una fase de remineralización mediante aplicación tópica del agente correspondiente (MI Paste Plus por 5 minutos; arcilla Chaco al 100% por 20 minutos), durante un periodo de 7 días, con almacenamiento en saliva artificial.

La caracterización de los efectos remineralizantes se realizó mediante microscopía electrónica de barrido (SEM), espectroscopía de dispersión de energía de rayos X (EDX) y espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR). Los análisis SEM revelaron que el grupo tratado con MI Paste Plus presentó una recuperación estructural más evidente, con reorganización prismática parcial. El grupo tratado con arcilla Chaco mostró también signos de remineralización parcial, con presencia de depósitos superficiales y reorganización limitada. EDX confirmó la recuperación parcial de los niveles de calcio y fósforo en ambos tratamientos, siendo más eficientes en el grupo MP. El análisis FTIR indicó una mayor modulación de los grupos funcionales (fosfato, carbonato, hidroxilo) en el grupo MP, mientras que CH evidenció bandas conservadas con señales de residuos orgánicos y minerales.

En conclusión, la arcilla Chaco posee potencial remineralizante en lesiones iniciales de caries aunque inferior al observado con MI Paste Plus, considerado actualmente el “Gold Estándar” en remineralización dental. Ambos tratamientos demostraron resultados positivos tras siete días de aplicación, sin embargo, se requieren investigaciones adicionales para validar la eficacia clínica y el potencial terapéutico de la arcilla Chaco en odontología preventiva.

**Palabras clave:** Remineralización, Arcilla, caries.

## ABSTRACT

This in vitro experimental study aimed to evaluate the remineralizing potential of Chaco clay on early carious lesions in bovine enamel, using a dynamic pH cycling model based on the Ten Cate and Duijsters protocol. Twelve samples were distributed into four experimental groups: sound enamel (SE), demineralized enamel (DE), treatment with MI Paste Plus Recaldent (MP), and treatment with Chaco clay paste (CH). The samples underwent daily pH cycles consisting of demineralization with lactic acid (6 h) followed by topical application of the corresponding remineralizing agent (MI Paste Plus for 5 minutes; 100% Chaco clay for 20 minutes) over a 7-day period, with storage in artificial saliva between cycles.

Remineralization effects were assessed using scanning electron microscopy (SEM), energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDX), and Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR). SEM analysis revealed that the MI Paste Plus group exhibited more evident structural recovery with partial prism reorganization. The Chaco clay group also showed signs of partial remineralization, although with limited surface reorganization and the presence of residual deposits. EDX analysis confirmed partial recovery of calcium and phosphorus levels in both treatment groups, with greater efficiency observed in the MP group. FTIR analysis demonstrated greater modulation of functional groups (phosphate, carbonate, hydroxyl) in the MP group, whereas the CH group showed preserved bands with indications of organic and mineral residues.

In conclusion, Chaco clay exhibits a moderate remineralizing effect on early enamel caries lesions, although its efficacy is lower compared to MI Paste Plus, which remains the current gold standard in dental remineralization. Both treatments produced positive results after seven days of application; however, further research is necessary to clinically validate the therapeutic potential of Chaco clay in preventive dentistry.

**Keywords:** Remineralization, clay, caries.

## ÍNDICE

**DEDICATORIA**

**AGRADECIMIENTOS**

**EPÍGRAFE**

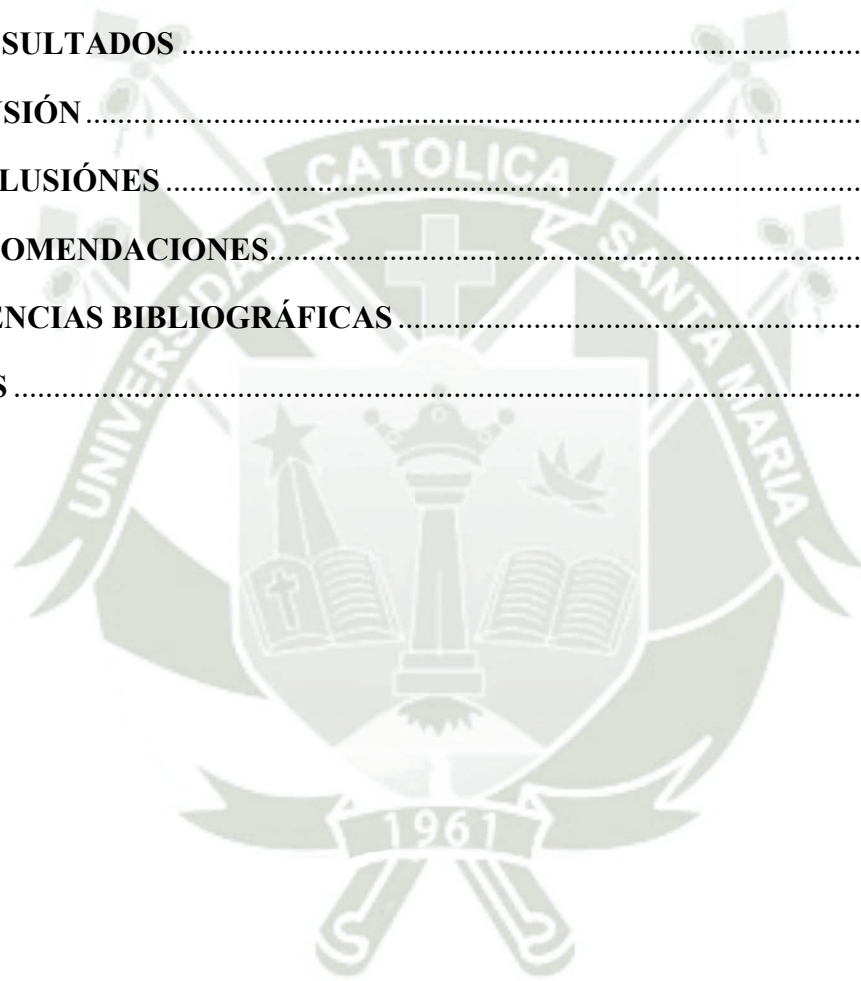
**RESUMEN**

**ABSTRACT**

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>CAPÍTULO I</b> .....	1
<b>PLANTEAMIENTO TEÓRICO</b> .....	1
<b>1.PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN</b> .....	3
<b>1.1.Determinación del problema</b> .....	3
<b>1.2.Pregunta de investigación</b> .....	4
<b>1.3.Justificación</b> .....	4
<b>2.OBJETIVOS:</b> .....	5
<b>2.1.OBJETIVO GENERAL:</b> .....	5
<b>2.2.OBJETIVOS ESPECÍFICOS:</b> .....	5
<b>3. MARCO CONCEPTUAL</b> .....	5
<b>3.1. Esquema de conceptos básicos</b> .....	5
<b>3.1.1 Caries dental</b> .....	5
<b>3.1.2 Esmalte Dental</b> .....	6
<b>3.1.3 Microorganismos</b> .....	6
<b>3.1.4 Mecanismo de acción de los Microorganismos</b> .....	7
<b>3.1.5 Lesiones Iniciales de Caries</b> .....	7
<b>3.1.6 Odontología Preventiva</b> .....	7
<b>3.1.7 Flúor en Odontología</b> .....	8
<b>3.1.8 Control de Caries Incipientes</b> .....	8
<b>3.1.9 Mi Paste Plus</b> .....	9
<b>3.1.10 Historia de las Arcillas</b> .....	9
<b>3.1.11 Absorción y Adsorción</b> .....	10

3.1.12 Obtención de las Arcillas .....	10
3.1.13 Tipos de Arcilla .....	11
3.1.14 Propiedades Físicas de las Arcillas:.....	12
3.1.15 Consumo de Arcilla Medicinal .....	12
3.1.16 Chaco Arcilla Medicinal.....	13
3.1.18 Características Químicas Según Roque .....	15
3.1.19 Características Medicinales de la Arcilla Chaco.....	16
3.1.20 Purificación de Arcillas .....	17
3.1.21 Métodos de Purificación de la Arcilla Chaco .....	17
3.1.22 Dientes bovinos .....	17
3.1.23 Microscopía electrónica de Barrido .....	18
3.1.24 Espectroscopía Infrarroja por Transformada de Fourier FTIR .....	18
3.2. Análisis de antecedentes investigativos .....	19
3.2.1 Antecedentes internacionales .....	19
3.2.2 Antecedentes Nacionales.....	20
4. HIPÓTESIS.....	25
4.1 Hipótesis alterna:.....	25
4.2 Hipótesis nula:.....	25
CAPÍTULO II PLANTEAMIENTO OPERACIONAL.....	26
1.1 Diseño Metodológico.....	27
2.1 Población y Muestra .....	27
2.1.1GRUPOS DE ESTUDIO .....	27
A.Criterios de inclusión:.....	27
B.Criterios de exclusión.....	27
C.Población.....	28
D.Unidades de estudio: .....	28
3.1 Tabla de variables .....	28
4.1 Técnicas y procedimientos .....	29
4.1.1. Proceso de obtención de la Arcilla Chaco .....	29
A.Preparación de Especímenes.....	29
B.Producción de lesiones de esmalte artificial.....	29
C.Grupos experimentales .....	30
D.Condición de ciclo de pH .....	30
E.Análisis SEM Y EDX .....	30

<b>F.Análisis FTIR: Preparación de Polvo .....</b>	<b>31</b>
<b>5.1Plan de Análisis.....</b>	<b>31</b>
<b>6.1Consideraciones éticas .....</b>	<b>32</b>
<b>7.1Recursos .....</b>	<b>32</b>
<b>Materiales de Verificación.....</b>	<b>33</b>
<b>CAPÍTULO III RESULTADOS .....</b>	<b>35</b>
<b>III. RESULTADOS .....</b>	<b>36</b>
<b>DISCUSIÓN.....</b>	<b>42</b>
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>45</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>46</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>47</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>53</b>



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Características físicas de las arcillas .....	12
<b>Tabla 2:</b> Propiedades de la Arcilla Chaco y sus efectos en el organismo .....	14
<b>Tabla 3:</b> Composición química de la Arcilla Chaco.....	16



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Imágenes SEM 200x,500x y 1500x. ....	37
<b>Figura 2:</b> Análisis EDX de los grupos experimentales. ....	38
<b>Figura 3:</b> Espectros FTIR.....	40
<b>Figura 4:</b> Resultados comparativos FTIR .....	41
<b>Figura 5:</b> Recolección de incisivos de Bovino almacenados en suero fisiológico+cloro al 0.5% .....	62
<b>Figura 6:</b> Selección de incisivos de Bovino.....	62
<b>Figura 7:</b> Marcado y corte de Incisivos de Bovino seleccionados con disco diamantado. ....	63
<b>Figura 8:</b> Bloques de esmalte dental obtenidos de la cara vestibular. ....	63
<b>Figura 9:</b> Preparación de muestra de Arcilla Chaco. ....	64
<b>Figura 10:</b> Almacenamiento de Saliva Artificial en refrigeradora.....	64
<b>Figura 11:</b> Aplicación de Ácido Láctico durante 72 horas, en estufa a temperatura de 37°C. 65	
<b>Figura 12:</b> Aplicación de primer ciclo de desmineralización. ....	65
<b>Figura 13:</b> Aplicación de agente remineralizante Mi Paste Plus. ....	66
<b>Figura 14:</b> Lavado de muestras con agua destilada y secadas con papel toalla. ....	66
<b>Figura 15:</b> Aplicación de agente remineralizante Arcilla Chaco en las muestras.....	67
<b>Figura 16:</b> Muestras en polvo para análisis en FTIR. ....	67
<b>Figura 17:</b> KBr (bromuro de potasio) previamente secado en la estufa. ....	68
<b>Figura 18:</b> Pesado de 0.5 gr de muestra y 50 mg de KBr. ....	68
<b>Figura 19:</b> Mezclado en mortero de ágata para la preparación homogénea de la muestra con KBr.....	69
<b>Figura 20:</b> Prensado de la muestra+KBr a 1.7 toneladas. ....	69
<b>Figura 21:</b> Formación de la pastilla o Pellet. ....	70
<b>Figura 22:</b> Colocación del pellet en el porta muestras del FTIR para su análisis.....	70
<b>Figura 23:</b> Fotografía del Microscopio electrónico de barrido G1 (ES) .....	72
<b>Figura 24:</b> Fotografía del Microscopio electrónico de barrido G2 (ED) .....	72
<b>Figura 25:</b> Fotografía del Microscopio electrónico de barrido G3 (MP).....	72
<b>Figura 26:</b> Fotografía del Microscopio electrónico de barrido G4 (CH).....	73
<b>Figura 27:</b> Fotografía del Spectrum G1 (ES).....	73
<b>Figura 28:</b> Fotografía del Spectrum G2 (ED) .....	73
<b>Figura 29:</b> Fotografía del Spectrum G3 (MP).....	74
<b>Figura 30:</b> Fotografía del Spectrum G4 (CH).....	74

## INTRODUCCIÓN

La caries dental es una de las afecciones crónicas más comunes y duraderas en la población global, con impacto en individuos de todas las edades. Su naturaleza multifactorial y dinámica ha convertido su prevención y tratamiento en un desafío constante en el campo de la odontología. A pesar de los avances terapéuticos, la caries continúa siendo una causa importante de deterioro de la salud bucal, afecta negativamente la calidad de vida de las personas y representa una carga significativa para los sistemas de salud pública. (1).

En las últimas décadas, se ha promovido un enfoque preventivo y mínimamente invasivo, especialmente centrado en la remineralización de las lesiones incipientes del esmalte la conocida “Mancha Blanca”. Estos cambios han priorizado la búsqueda de agentes que no solo detengan el proceso de desmineralización, sino que favorezcan la regeneración de la estructura dental afectada. Entre los productos más utilizados se encuentran los que contienen calcio, fosfato y fluoruro en diversas formas biodisponibles (2).

Sin embargo, el interés por alternativas naturales, accesibles y culturalmente adaptadas ha dado lugar a investigaciones sobre nuevas sustancias remineralizantes.

En este contexto, la arcilla Chaco, un material natural utilizado tradicionalmente en algunas regiones con fines terapéuticos, ha despertado interés por su contenido mineral y su potencial bioactivo.

La presente investigación se desarrolla con el objetivo de evaluar in vitro la eficacia remineralizante de la arcilla Chaco comparada con un producto comercial (Mi Paste Plus) sobre lesiones incipientes de caries artificiales en esmalte dental.

La arcilla Chaco contiene minerales que podrían favorecer procesos de remineralización, pero su aplicación en odontología aún es limitada y poco documentada. Por lo tanto, el presente estudio busca evaluar su potencial remineralizante sobre lesiones incipientes de caries dental, aportando evidencia científica que permita explorar su uso como una alternativa natural en la prevención y tratamiento temprano de la caries.

Esta investigación tiene como objetivo principal analizar el potencial remineralizante de la arcilla Chaco en lesiones iniciales de caries, utilizando métodos analíticos modernos como la espectroscopía FTIR , microscopía electrónica de barrido (SEM) y espectroscopia de dispersión de energía de rayos X (EDX).



# CAPÍTULO I

## PLANTEAMIENTO TEÓRICO

## I. PLANTEAMIENTO TEÓRICO

### 1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

#### 1.1. Determinación del problema

La caries dental constituye la afección más frecuente en la población infantil y adulta a nivel global, y persiste como uno de los mayores retos para la odontología actual. Se trata de un proceso dinámico y multifactorial, no transmisible, influenciado por biopelículas orales y factores dietéticos, que provoca la desmineralización progresiva de los tejidos duros del diente. (1).

El concepto actual de formación de caries consiste en la repetición de fases de pérdida y recuperación de minerales, desencadenadas por la acción de bacterias acidogénicas presentes en la cavidad oral (2).

Los procesos metabólicos de las bacterias al degradar carbohidratos fermentables generan ácidos que facilitan la disolución y liberación de iones minerales calcio y fosfato, elementos constitutivos esenciales de los cristales de hidroxiapatita del esmalte. Esta pérdida mineral conduce al proceso de desmineralización, dando origen a la caries dental. No obstante, se ha comprobado que los prismas del esmalte afectados pueden restaurarse a su estado original cuando se exponen a un entorno oral que favorece la remineralización. Es así como la caries dental es altamente prevenible y reversible en un estadio temprano, la detención del proceso de desmineralización del esmalte y la dentina es factible de manera natural, mediante la acción de la saliva, o a través de mecanismos biológicos estimulados por agentes remineralizantes. (3).

El abordaje actual en odontología preventiva y mínimamente invasiva, se enfatiza la necesidad de implementar estrategias novedosas destinadas a revertir las lesiones iniciales del esmalte mediante procesos de remineralización. Hoy en día, muchos productos que contienen calcio, fosfato y fluoruro en sus formas biodisponibles se utilizan ampliamente para remineralizar la estructura del esmalte y prevenir la hipersensibilidad de la dentina en forma de pastas dentales, enjuagues bucales geles y barnices. En este estudio in vitro, se evaluó y comparó la eficacia de 2 agentes remineralizantes diferentes en la superficie del esmalte, uno comercial “Mi Paste Plus” y un agente natural “Arcilla Chaco” después de la exposición al ambiente ácido.

## 1.2. Pregunta de investigación

1. ¿Cuál es el efecto remineralizante de la Arcilla chaco en lesiones artificiales iniciales de caries en esmalte?
2. ¿Cuál es el efecto remineralizante del Mi paste plus en lesiones artificiales iniciales de caries en esmalte?
3. ¿Cuál es la eficacia de la Arcilla Chaco frente al Agente Mi Paste Plus en lesiones artificiales iniciales de caries en esmalte?

## 1.3. Justificación

**Relevancia Científica:** La presente investigación tiene el potencial de abrir nuevas posibilidades en el campo de la odontología, específicamente en el tratamiento preventivo de las lesiones iniciales de caries. El uso de materiales naturales, como la Arcilla Chaco, podría ofrecer una alternativa accesible y biodisponible para los tratamientos remineralizantes, especialmente en contextos donde los materiales convencionales no son fácilmente accesibles.

**Relevancia Social:** El uso de la Arcilla Chaco en odontología podría proporcionar una opción económica y accesible para las personas, especialmente en regiones donde el acceso a productos de alto costo como MI Paste Plus es limitado. Este estudio podría beneficiar tanto a los pacientes como a los profesionales de la odontología al ofrecer una opción adicional para la prevención de la caries.

**Originalidad:** Este proyecto es original debido a que no se conoce el aporte de calcio y fosforo de la Arcilla Chaco en el esmalte dental.

**Interés Personal:** El interés por este proyecto surgió al conocer las propiedades de la Arcilla Chaco, su composición rica en minerales y su simplicidad de uso. La idea de demostrar científicamente su potencial remineralizante y explorar su aplicación en el campo de la odontología es lo que me motivó a elegirla como tema de tesis. Esta investigación me permite combinar mi interés en los materiales naturales con el objetivo de proporcionar soluciones efectivas y accesibles para el cuidado oral de la población. La posibilidad de contribuir con un tratamiento preventivo innovador me genera una gran motivación personal y académica.

## **2. OBJETIVOS:**

### **2.1. OBJETIVO GENERAL:**

Evaluar el potencial remineralizante de la arcilla Chaco en lesiones iniciales de Caries.

### **2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**

1. Analizar el efecto remineralizante de la Arcilla chaco en lesiones artificiales iniciales de caries en esmalte, por medio de Microscopía Electrónica de Barrido.
2. Analizar el efecto remineralizante del Mi paste plus en lesiones artificiales iniciales de caries en esmalte, por medio de Microscopía Electrónica de Barrido.
3. Comparar el efecto remineralizante de la Arcilla Chaco frente al agente Mi paste plus.

## **3. MARCO CONCEPTUAL**

### **3.1. Esquema de conceptos básicos**

#### **3.1.1 Caries dental**

A nivel mundial, la caries dental constituye la enfermedad más frecuente, lo que la convierte en un problema prioritario en el ámbito de la salud. (4).

Es definida como una disbiosis que determina el grado de equilibrio mineral que lleva al órgano dentario a su integridad o degradación, se puede padecer de esta enfermedad La caries puede manifestarse a lo largo de toda la vida, afectando tanto la dentición temporal como la permanente, comprometiendo inicialmente la corona y, en etapas posteriores, las raíces expuestas. Su desarrollo y progresión dependen del balance entre factores patogénicos y mecanismos protectores. Actualmente, se entiende que este proceso resulta de múltiples ciclos repetidos de desmineralización y remineralización, provocados por bacterias acidogénicas presentes en el entorno oral (5).

Es así como las lesiones cariosas tienen un mayor porcentaje e incidencia de ciertas especies bacterianas: Streptococcus mutans es la bacteria predominante responsable del desarrollo de la caries dental (4,6).

El metabolismo bacteriano de los carbohidratos fermentables genera ácidos que causan la liberación de iones minerales responsables de la estructura cristalina de hidroxiapatita en el esmalte dental (3). Por lo tanto, la desmineralización puede exponer la dentina a la sensibilidad dentinaria relacionada con el movimiento de los líquidos en los túbulos dentinarios y la aparición de la enfermedad (7). No obstante, el prisma del esmalte que

ha sufrido desmineralización puede recuperarse hasta su estado inicial cuando se encuentra en un ambiente oral que favorece la remineralización. (7,8).

Es así como detener la caries dental en un estadio temprano es posible con la inhibición de la formación de biopelículas y escudos protectores salivales (9).

En estos últimos años, el enfoque en la investigación del manejo de la enfermedad de caries se enfoca en la implementación de métodos no invasivos para tratar las lesiones iniciales (10) Se busca preservar al máximo la estructura dental mediante la remineralización, dado que, una vez formado, el esmalte humano carece de capacidad biológica para repararse o regenerarse (5).

Por ello, la literatura científica confirma que la desmineralización se puede contrarrestar o revertir mediante varios agentes remineralizantes en lesiones cariosas sin cavitación, denominadas “manchas blancas” (LMB), son consideradas por Fejerskov como la etapa inicial visible de daño en el esmalte causada por la caries. También se les conoce como lesiones “incipientes” o “iniciales” (11).

### 3.1.2 Esmalte Dental

El esmalte dental está formado principalmente por un 96 % de componentes inorgánicos, acompañado por un 3 % de agua y un 1 % de materia orgánica (12). El componente inorgánico del esmalte dental es en su mayoría cristal de hidroxiapatita el cual es un tejido duro, sin células y sin vasos sanguíneos. Debido a su naturaleza acelular, no posee capacidad de reparación o regeneración espontánea en caso de daño, es de naturaleza altamente mineralizada lo cual lo hace extremadamente resistente a la destrucción. Sin embargo, el alto contenido mineral lo vuelve vulnerable a la desmineralización causada por los ácidos producidos por bacterias orales, lo que desencadena la aparición de la caries dental (13).

### 3.1.3 Microorganismos

El *Streptococcus mutans* es reconocido como el microorganismo con mayor potencial cariogénico. Se trata de un coco Gram positivo, anaerobio facultativo, que suele disponerse en cadenas. Esta bacteria es capaz de sintetizar diversos ácidos incluidos ácido láctico, propiónico, acético y fórmico que favorecen el proceso de desmineralización del tejido dental (14).

Asimismo, otras especies del género *Streptococcus*, como *S. salivarius*, *S. mitis* y *S. sanguis*, también se encuentran comúnmente en el ecosistema oral (15).

### 3.1.4 Mecanismo de acción de los Microorganismos

*Streptococcus mutans*, como uno de los principales agentes causantes de la caries dental en humanos, se encuentra principalmente en las biopelículas que se forman sobre las superficies dentales, conocidas como placa dental. Además, esta bacteria cuenta con diversas adhesinas superficiales de alta afinidad que facilitan su adherencia y colonización, incluso cuando la sacarosa está ausente. (15).

La habilidad de *S. mutans* para ajustarse rápidamente a cambios ambientales significativos dentro de la placa dental es fundamental para su papel como principal agente causante de la caries.

Los carbohidratos fermentables ingeridos por el huésped sirven como fuente de alimento para *S. mutans* y otras bacterias productoras de ácido láctico, generando ácidos que se acumulan en la biopelícula. Para sobrevivir en ambientes con pH bajo (ácidos), *S. mutans* activa la llamada respuesta de tolerancia ácida (ATR), un complejo mecanismo adaptativo que implica la regulación de vías que estabilizan el citoplasma y modifican la composición de ácidos grasos en su membrana, protegiendo así sus funciones celulares y permitiendo la supervivencia durante condiciones de estrés ácido (16).

### 3.1.5 Lesiones Iniciales de Caries

La aparición de la caries está relacionada con la acumulación prolongada de placa dental sobre los dientes. Las manchas blancas en el esmalte pueden representar una señal temprana de la enfermedad y están asociadas a diversos factores de riesgo. Entre estos se incluyen características del huésped, la duración de la exposición, hábitos dietéticos, higiene oral insuficiente, incumplimiento del tratamiento ortodóntico, el tiempo prolongado de dicho tratamiento, la edad del paciente y posibles alteraciones durante el desarrollo del esmalte (17).

### 3.1.6 Odontología Preventiva

La odontología preventiva y mínimamente invasiva actual impulsa la creación de nuevos métodos para favorecer la remineralización de las lesiones tempranas del esmalte. En la actualidad, la mayoría de los productos destinados a este fin contienen calcio, fosfato y fluoruro en formas biodisponibles, y se emplean comúnmente en pastas dentales, enjuagues bucales y geles para restaurar el esmalte y prevenir la sensibilidad dentinaria.

El Congreso Mundial de Odontología Mínimamente Invasiva define la odontología de mínima intervención como un conjunto de técnicas que preservan la salud, función y estética de los tejidos orales, enfocándose en la prevención de enfermedades y la detención de su avance con el menor daño posible a los tejidos (18).

### 3.1.7 Flúor en Odontología

El flúor es un mineral que detiene el avance de la caries en su etapa de manchas blancas (LMB) al impedir la desmineralización y favorecer la remineralización del tejido dental mediante la formación de cristales de fluorapatita, que son más resistentes a los ácidos. Entre las estrategias cotidianas para suministrar flúor se incluyen el consumo de agua fluorada, el uso de pastas dentales con flúor, enjuagues bucales con una concentración ideal de 1440 ppm, así como la aplicación profesional de geles y barnices fluorados en clínicas dentales. Desde el descubrimiento de sus propiedades cariostáticas, la prevención de la caries se ha centrado principalmente en la capacidad del ion fluoruro para reducir la disolución del esmalte y promover la reparación de lesiones tempranas (19).

Gao et al. demostró que el uso de un barniz SF al 5% puede remineralizar las lesiones de caries incipientes, lo que convierte a esta opción en un método importante para inhibir la desmineralización del esmalte.

Es por ello que el uso regular del enjuague bucal con flúor en niños, adolescentes y adultos se asocia con una importante reducción del incremento de caries en dientes permanentes (3).

### 3.1.8 Control de Caries Incipientes

Con base en la evidencia científica más actual, la Asociación Americana de Consultores Dentales sostiene que las estrategias de remineralización poseen la capacidad de detener e incluso revertir el daño en las fases iniciales de la caries dental. Asimismo, enfatizan que las intervenciones no quirúrgicas son tanto efectivas como rentables, y favorecen la preservación de la estructura dentaria a largo plazo. De manera complementaria, un estudio divulgado en el *Journal of the American Dental Association* señala que, siempre que las lesiones cariosas tempranas no hayan progresado a la cavitación ni presenten infección bacteriana activa, las terapias tópicas con flúor y la colocación de selladores constituyen los enfoques más eficaces para promover la remineralización, posibilitando la restauración del esmalte sin recurrir a tratamientos invasivos (19).

- Selladores: Estos se colocan sobre las superficies oclusales de los molares y actúan como una barrera física que impide el acceso de los microorganismos a los azúcares, lo cual interrumpe la progresión de la caries dental y favorece la remineralización del esmalte. (19).
- Saliva: La saliva tiene una función amortiguadora y actúa como portadora de iones esenciales que produce un cambio constructivo en la morfología del esmalte, provocando la remineralización (20).

### 3.1.9 Mi Paste Plus

MI Paste Plus es una pasta de uso tópico, formulada en base acuosa, que incorpora fluoruro de sodio y RECALDENT a un porcentaje de 0,20% se aplica en los dientes, adhiriéndose a la biopelícula oral, la placa dental, las bacterias, la hidroxiapatita y los tejidos blandos, liberando minerales perdidos como calcio, fluoruro y fosfato biodisponibles, este tratamiento se puede realizar en un consultorio y de manera ambulatoria previa indicación del Cirujano dentista (21).

#### **Indicaciones:**

- Para uso en procedimientos de limpieza y pulido dental
- Controlar la sensibilidad en los dientes después de tratamientos de raspado, alisado radicular y blanqueamiento
- Aporta los iones perdidos en el esmalte desmineralizado y que afecta la capacidad de unión de las bacterias a la superficie dental
- Poder anticariogenicidad (22).

### 3.1.10 Historia de las Arcillas

La práctica de consumir arcilla, conocida como geofagia, ha sido observada tanto en animales como en humanos, especialmente en regiones de América y África. En el altiplano peruano-boliviano, se encuentran numerosos depósitos de este tipo de arcilla, destacando las zonas de Ácora, Asillo, Azángaro y Tiquillaca en Puno, así como Achocalla, Mocomoco y Andamarca en Bolivia (23).

Estas arcillas o tierras comestibles son compuestos cristalinos formados por sedimentos o depósitos minerales. Estas sustancias presentan plasticidad cuando se humedecen, y están compuestas por un material fino y granular, cuyas partículas tienen un tamaño inferior a las 4 micras. Son compuestos inorgánicos ricos en silicio, de naturaleza no metálica, que presentan una estructura compuesta por capas

superpuestas. Al entrar en contacto con el agua, forman sistemas arcilla-agua que varían en su grado de plasticidad.

Durante el secado, experimentan una contracción que les confiere mayor resistencia, producto de la capacidad de absorción de agua a través de mecanismos como las fuerzas intermoleculares ion-dipolo y los fenómenos electrostáticos superficiales. Estas sustancias están conformadas por mezclas naturales de silicatos de aluminio hidratados ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ), originados a partir de procesos geoquímicos de meteorización de rocas ricas en feldespato.

Comúnmente, las arcillas contienen una combinación de diversos minerales, entre los que destacan los aluminosilicatos como el cuarzo, caolinita, esmectita, feldespato y mica, así como óxidos metálicos, principalmente de magnesio, calcio y hierro.

### **3.1.11 Absorción y Adsorción**

La arcilla actúa mediante dos mecanismos complementarios: adsorción y absorción. En el proceso de adsorción, las sustancias se fijan sobre la superficie externa de las partículas de arcilla, debido a la presencia de enlaces iónicos insatisfechos que buscan equilibrarse uniéndose a cargas opuestas. Como las partículas de arcilla poseen carga negativa, tienden a atraer compuestos con carga positiva, como impurezas o toxinas. Este comportamiento es especialmente efectivo en la interacción con sustancias polares, como el agua. Por otro lado, en la absorción, las sustancias no solo se adhieren a la superficie, sino que penetran en la estructura interna de la arcilla, de manera similar a cómo actúa una esponja (24).

### **3.1.12 Obtención de las Arcillas**

La extracción de arcilla se realiza mediante excavaciones denominadas socavones, que alcanzan profundidades variables entre 30 centímetros y 5 metros, siendo esta actividad más común entre los meses de mayo y diciembre. Una vez recolectada, la arcilla es sometida a un proceso de secado natural sin intervención de procedimientos de purificación industrial.

En diversas comunidades andinas, este material tiene un uso tradicional en la alimentación, donde se prepara como una pasta semisólida, condimentada con sal, y se consume junto a papas cocidas, con el fin de atenuar su sabor característico.

Luego de su extracción, la arcilla es expuesta al ambiente durante un período aproximado de tres días para su secado, adquiriendo así una textura quebradiza (25).

En su estado seco, la arcilla muestra una marcada sensibilidad a la humedad; al contacto con el agua, posee una elevada capacidad de absorción, lo que provoca un aumento considerable de su volumen original. Esta propiedad permite la formación de una suspensión con una consistencia adecuada para distintos usos, tanto tradicionales como terapéuticos (26).

### 3.1.13 Tipos de Arcilla

En la naturaleza se reconocen dos tipos principales de arcillas:

**a) Arcillas primarias o residuales:** Se originan directamente en el lugar donde se encuentran las rocas madre, sin haber sido desplazadas por agentes externos como el viento o el agua. Estas arcillas suelen presentar un grano más grueso, son poco plásticas y generalmente puras, de color blanco y sin contaminación (27).

**b) Arcillas secundarias o sedimentarias:** A diferencia de las primarias, estas han sido transportadas desde su lugar de origen por procesos naturales. Son más frecuentes en la naturaleza y están compuestas por materiales de distintas fuentes, como mica, hierro, cuarzo y sustancias orgánicas (27).

Además, algunas clasificaciones se basan en el color de la arcilla, ya que esto puede indicar su composición mineral:

- **Arcilla verde:** Incluye variedades como la bentonita o montmorillonita. Puede presentarse en tonos grisáceos o marrones, y contiene minerales como silicio, magnesio, fosfatos, potasio, así como óxidos de hierro, titanio y aluminio. Se le atribuyen propiedades detoxificantes, absorbentes y remineralizantes. (27).
- **Arcilla blanca o caolinita:** Se caracteriza por su textura suave y aspecto lechoso. Posee efectos antibacterianos, antiinflamatorios y cicatrizantes. Es utilizada para absorber toxinas, tratar intoxicaciones alimentarias, regular el pH y como enjuague bucal (27).
- **Arcilla roja:** Su tonalidad se debe a la presencia elevada de óxidos e hidróxidos de hierro. Contiene silicato de aluminio, por lo que actúa como antiácido (27).
- **Arcilla negra:** Fue empleada en la antigüedad con fines cosméticos, como en el caso de Cleopatra, quien usaba arcilla del mar muerto. Su composición incluye hierro, magnesio y materia orgánica. Se le reconocen propiedades regeneradoras, cicatrizantes, astringentes, sedantes y descongestionantes (27).

### 3.1.14 Propiedades Físicas de las Arcillas:

Las arcillas presentan diversas propiedades físicas que determinan su comportamiento y aplicaciones. Entre ellas destacan:

- **Elasticidad:** Esta característica surge cuando la arcilla se combina con una cantidad adecuada de agua, lo que le confiere una textura flexible y moldeable.
- **Endurecimiento:** Se produce como resultado de la exposición al calor, proceso que otorga rigidez y resistencia a la estructura arcillosa.
- **Color:** Está determinado principalmente por la presencia de óxidos metálicos, en particular hierro, que confieren tonalidades características.
- **Capacidad de absorción:** Las arcillas tienen la capacidad de captar y retener diversas sustancias, tales como aceites, colorantes y gases, lo que amplía su rango de aplicaciones (27).

Tabla 1: Características físicas de las arcillas

CARACTERISTICAS	
ASPECTO	Solido
COLOR	Blanco grisáceo
SABOR	Agradable (leche magnesia)
PH	8
DENSIDAD	1.47 g/ml
HUMEDAD	8.98%

\*Cruz 1988 (50).

### 3.1.15 Consumo de Arcilla Medicinal

En el Perú, el uso de arcillas con fines alimentarios y medicinales tiene una tradición ancestral que supera los 500 años. La arcilla conocida como hidralgiritita, un silicato de aluminio hidratado, ha sido consumida desde tiempos antiguos por las poblaciones locales, quienes aún hoy la utilizan como acompañamiento culinario, preparando una salsa de chaco con sal para acompañar papas cocidas.

Históricamente, esta arcilla se ha empleado en el tratamiento de diversas afecciones, tales como úlceras, acidez estomacal, parasitosis, así como en la aplicación tópica para la curación de heridas (24).

El "chaco", término proveniente del quechua, o "passa" en aymara, se utiliza en forma de suspensión para aliviar los síntomas de enfermedades ácido-pépticas, gracias a su naturaleza altamente alcalina que permite neutralizar con rapidez el exceso de acidez estomacal, actuando así como un recurso terapéutico de emergencia en casos de ardor epigástrico.

En la región de Puno, este tipo de arcilla se encuentra principalmente en las comunidades de Ácora, Asillo, Azángaro y Tiquillaca. Según el conocimiento tradicional de los habitantes que residen en las cercanías del lago Titicaca, el chaco es valorado por su capacidad para reducir la acidez gástrica posterior al consumo de bebidas alcohólicas, proteger la mucosa intestinal frente a toxinas, y facilitar la digestión. Además, en la actualidad su uso se ha extendido a la alimentación animal, debido a que mejora la conservación de los granos y contribuye a la prevención de trastornos digestivos en el ganado (28).

### 3.1.16 Chaco Arcilla Medicinal

La composición de esta arcilla está constituida principalmente por un 80 % de minerales arcillosos, complementado con un 10 % de arena fina y un 10 % de limo. Su uso tradicional es variado: se emplea como remedio natural para aliviar afecciones estomacales, tratar problemas de la piel, quemaduras, y combatir la anemia debido a su contenido de hierro. Además, es consumida como complemento alimenticio, ya sea en forma de suspensión o acompañada de papas sancochadas (29).

A nivel estructural, cada partícula de arcilla se compone de una fracción insoluble denominada cristal, y de un conjunto de cationes adsorbidos en su superficie, denominados cationes intercambiables, que pueden participar en diversos procesos de intercambio iónico.

Un estudio de caracterización química realizado mediante fluorescencia de rayos X identificó la presencia de al menos 18 elementos químicos en estas arcillas, destacando en orden de mayor a menor concentración: Silicio, Aluminio, Potasio, Hierro, Calcio, Titanio, Estroncio, Zirconio, Magnesio, Zinc, Fósforo, Sodio, Rubidio, Cobre, Bario, Galio y Niobio (30).

Se ha documentado también su aplicación tópica, principalmente en el tratamiento de infecciones cutáneas. La arcilla ha mostrado propiedades antibacterianas eficaces en el manejo de la Úlcera de Buruli (producida por *Mycobacterium ulcerans*) en niños de África, así como efectos bacteriostáticos contra bacterias Gram negativas. A

concentraciones elevadas, esta arcilla actúa como bactericida frente a cepas de *Escherichia coli*, mostrando así un mejor desempeño antimicrobiano en bacterias Gram negativas en comparación con las Gram positivas.

El mecanismo antibacteriano de la arcilla parece fundamentarse en el intercambio iónico, en particular el de potasio entre la arcilla y la bacteria, lo que lleva a la desestabilización de la estructura bacteriana. Además, los metales presentes en la arcilla, como aluminio y hierro, desempeñan un papel crucial: el aluminio contribuye a alterar la envoltura celular bacteriana, mientras que el hierro promueve la generación de radicales de oxígeno que causan daño oxidativo, deteriorando componentes celulares esenciales y fragmentando el ADN bacteriano, lo que culmina en su muerte. Investigaciones recientes han demostrado que el hierro contenido en la arcilla participa activamente en la generación de especies reactivas de oxígeno (EROS), lo que incrementa el estrés oxidativo en las bacterias y potencia su efecto antimicrobiano. Asimismo, se ha observado que el consumo de arcilla comestible puede aportar beneficios durante el embarazo y la lactancia materna, ya que proporciona un aporte significativo de electrolitos. En contextos históricos, se documenta su uso combinado con el consumo de maíz entre las poblaciones indígenas del norte de América. Por último, estudios experimentales in vitro han evidenciado que el consumo de arcilla comestible puede mejorar la absorción de ciertos medicamentos, como es el caso de la trimetoprima, ampliando así su potencial utilidad terapéutica (17).

*Tabla 2: Propiedades de la Arcilla Chaco y sus efectos en el organismo*

PROPIEDADES	EFEECTO EN EL ORGANISMO	USO TERAPEUTICO
<b>Capacidad absorbente detoxificante</b>	Las arcillas interactúan con sustancias polares, como el agua y diversas toxinas, y presentan la capacidad de adsorber ácidos biliares o enzimas. Además, poseen la propiedad de realizar intercambio catiónico.	Enterocolitis, ptialismo en el embarazo y diarrea.

<b>Hidrófilo</b>	Mayor dispersión en agua.	Administración oral más sencilla
<b>Activador de coagulación</b>	Unión a cationes (H <sup>+</sup> ), Activación de los factores de la coagulación.	Hemorragias cutáneas persistentes.
<b>Alcalinizante</b>	Intercambio de H <sup>+</sup> , Alcaliniza el pH, ácido del estómago	Gastritis, úlceras gastroduodenales
<b>Bactericida</b>	Elementos reducibles intercambiables (Fe <sup>2+</sup> ) Intercambio de iones de potasio entre la arcilla y las bacterias.	Enterocolitis, infecciones cutáneas.
<b>Efecto Anti-flogístico</b>	Alta capacidad de retención de calor.	Infecciones cutáneas, quemaduras de primer grado
<b>Suplemento nutricional</b>	Acción liberadora de micronutrientes u oligoelementos.	Anemia ferropénica

\*La arcilla Chaco presenta propiedades terapéuticas digestivas, cutáneas y nutricionales por su capacidad absorbente, alcalinizante y bactericida, *Giovanny et al. 2020 (30)*

### 3.1.18 Características Químicas Según Roque

Muestras de arcilla comestible Chaco, provenientes de las localidades de Azángaro, Asillo, Ácora y Tiquillaca, tras ser sometidas a procesos de purificación, presentan una composición elemental determinada mediante análisis por Microscopía Electrónica de Barrido (SEM)

*Tabla 3: Composición química de la Arcilla Chaco por zona y tratamiento, en cuatro distritos de la región de Puno*

ARCILLAS	ZONA	Fe	Mg	F	Br	Ta	In	Ca	Ti
Natural	Azángaro	7.28	1.24	5.76	13.92	5.39	-	0.63	0.82
	Tiquillaca	-	1.07	-	13.81	-	-	0.75	3.47
	Acora	9.32	1.10	-	13.41	-	-	0.80	4.18
	Asillo	4.42	-	-	16.85	-	-	0.57	4.98
Purificada	Azángaro	12.36	0.91	7.05	6.79	-	-	-	-
	Tiquillaca	6.52	0.78	-	13.16	9.52	2.17	1.03	0.99
	Acora	7.85	1.04	-	17.80	10.91	-	1.05	-
	Asillo	5.59	0.95	3.37	17.07	-	-	0.84	0.91

\*Composición química de la arcilla Chaco natural y purificada en distritos de Puno, con presencia diferencial de elementos como F, Fe, Br, Ta y Ca, Roque L. 2017 (32).

### 3.1.19 Características Medicinales de la Arcilla Chaco

- Actúa como cicatrizante gracias a la presencia de silicatos de aluminio, los cuales favorecen la rápida regeneración de los tejidos (33).
- Presenta efectos antisépticos y bactericidas (33).
- Funciona como agente absorbente, además se le atribuye capacidad remineralizante (indicada para casos de debilidad y anemia) (33).
- Ofrece un doble efecto térmico: cuando se emplea en compresas o emplastos fríos, transfiere frío y absorbe calor (33).
- Posee un pH que va de neutro a alcalino, adecuado para tratar lesiones o intoxicaciones causadas por sustancias ácidas (33).
- Tiene propiedades relajantes y sedantes (miorrelajantes), útiles en patologías osteoarticulares de origen traumático (33).
- Propiedades cicatrizantes atribuibles a su contenido de silicatos de aluminio, que favorecen la regeneración acelerada de los tejidos (33).

### 3.1.20 Purificación de Arcillas

El proceso de purificación busca eliminar impurezas y partículas indeseables como tierra, arena, residuos vegetales y pastos secos, mejorando así la capacidad de la arcilla para absorber sustancias tóxicas polares presentes en algunos alimentos, resultando en un producto de mayor calidad (34).

Según el conocimiento tradicional, si no se dispone de arcilla previamente purificada y se desea utilizar como protector de la mucosa intestinal, se recomienda disolverla en agua y consumir únicamente la parte superior de la mezcla, donde se concentran las partículas más finas y puras de arcilla (35).

### 3.1.21 Métodos de Purificación de la Arcilla Chaco

- **Trituración y levigación:** El Chaco se tritura con un mortero y luego se separan sus partículas mediante levigación, repitiendo el proceso para obtener mayor efectividad (35).
- **Pulverización húmeda y levigación:** Similar al método anterior, con la diferencia de que la trituración se realiza con la adición de agua (35).
- **Exposición a la intemperie:** Este método utiliza factores ambientales como el calor o el frío para purificar la arcilla a lo largo del tiempo (35).
- **Método avanzado de purificación:** Incluye etapas como filtrado magnético, amasado, envejecimiento, modelado y cocción de la arcilla. El filtrado magnético se emplea principalmente para eliminar el contenido de hierro (35).

### 3.1.22 Dientes bovinos:

Los dientes de bovino son una excelente alternativa a la dentición humana en estudios *in vitro*, debido a su alta similitud en la composición química (contenido comparable de calcio y fósforo en % de peso) (36), así como en el grosor del esmalte y la dureza de la dentina (37), además de presentar una resistencia al ácido similar (38). También son fácilmente accesibles y permiten la estandarización en cuanto a tamaño y edad (39).

### 3.1.23 Microscopía electrónica de Barrido

La microscopía electrónica de barrido (SEM) es una herramienta que permite visualizar la superficie de las muestras con gran nivel de detalle y precisión, mediante el uso de un haz de electrones en lugar de luz convencional.

Asimismo, incluye un sistema de espectroscopía por dispersión de energía de rayos X (EDX), que facilita el análisis elemental puntual, lineal y en áreas específicas directamente sobre la imagen. Entre sus principales ventajas se encuentran su alta resolución, la posibilidad de observar estructuras tridimensionales gracias a su considerable profundidad de campo, y la obtención de imágenes en escala de grises con excelente contraste y nitidez (48).

### 3.1.24 Espectroscopía Infrarroja por Transformada de Fourier FTIR

La espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) es una metodología rápida, económica, sencilla y no destructiva. Su espectro infrarrojo es altamente sensible a factores como la composición química del mineral de arcilla, sustituciones isomorfas, el orden en la disposición de capas y otras alteraciones estructurales. Por ello, esta técnica resulta especialmente útil no solo para analizar la composición y estructura de los minerales arcillosos, sino también para estudiar sus interacciones con compuestos orgánicos e inorgánicos. Tras una breve descripción de sus fundamentos, se destaca su eficacia en la identificación mineralógica de arcillas y en el análisis de sus reacciones con el agua y diversas moléculas orgánicas (49).

### 3.2. Análisis de antecedentes investigativos

#### 3.2.1 Antecedentes internacionales

**Título:** Remineralization Efficacy of Four Remineralizing Agents on Artificial Enamel

Lesions: SEM-EDS Investigation

Eficacia de remineralización de cuatro agentes remineralizantes en lesiones del esmalte artificial: investigación SEM-EDS

**Autor:** FLAVIA VITIELLO , VINCENZO TOSCO , RICCARDO MONTERUBBIANESI  
GIULIA ORILISI , MARIA LAURA GATTO , SCILLA SPARABOMBE , LUCIA  
MEMÉ , PAOLO MENGUCCI , ANGELO PUTIGNANO , Y GIOVANNA ORSINI.

**Fuente:** <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9267358/>

**Resumen:** La remineralización dental representa el proceso de depositar iones de calcio y fósforo en los huecos cristalinos del esmalte desmineralizado, produciendo una ganancia mineral neta y previniendo la progresión temprana de las lesiones del esmalte. El objetivo del presente estudio fue comparar cualitativa y cuantitativamente la eficacia remineralizante de cuatro agentes disponibles comercialmente en lesiones artificiales del esmalte utilizando microscopía electrónica de barrido (SEM) combinada con técnicas de espectroscopia de dispersión de energía (EDS). Se recolectaron treinta y seis terceros molares extraídos y se asignaron aleatoriamente a seis grupos (n = 6), cinco de los cuales se suspendieron en solución desmineralizante durante 72 h para crear lesiones artificiales del esmalte, y uno sirvió como control: G1, tratado con una mousse de fosfopéptido de caseína y fosfato cálcico amorfo (CPP-ACP); G2, tratado con un gel que contiene nanohidroxiapatita; G3, tratado con barniz SF al 5%; G4, tratado con una pasta de dientes que contiene ACP funcionalizado con fluoruro y carbonato recubierto con citrato; G5, lesiones del esmalte artificial no tratadas; G6, esmalte sano no desmineralizado y no tratado. G1-G4 se sometieron a ciclos de pH durante un período de siete días. Los análisis de la morfología de las superficies del esmalte de las muestras se realizaron mediante SEM y EDS. Los datos se analizaron estadísticamente para la comparación de múltiples grupos mediante la prueba de ANOVA/Tukey unidireccional ( $p < 0,05$ ). Los resultados muestran que la relación Ca/P del G5 ( $2,00 \pm 0,07$ ) fue estadísticamente diferente ( $p < 0,05$ ) del G1 ( $1,73 \pm 0,05$ ), G2 ( $1,76 \pm 0,01$ ), G3 ( $1,88 \pm 0,06$ ) y G6 ( $1,74 \pm 0,04$ ), mientras que no hubo diferencias ( $p > 0,05$ ) entre G1, G2 y G6 y entre G4 ( $2,01 \pm 0,06$ ) y G5. Concluimos que G1 y G2 mostraron una mejor remineralización superficial que G3 y G4, después de 7 días de tratamiento (10).

### 3.2.2 Antecedentes Nacionales

**Título:** Caracterización físico – química y grado de conocimiento de los consumidores y comercializadores de las arcillas comestibles (cha'qo) de la región de Puno

**Autor:** LUIS ROQUE ALMANZA

**Fuente:** <https://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14082/6208/EPG877-00877-01.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

**Resumen:** El estudio se realizó con el objetivo de evaluar las características físicas químicas de las arcillas naturales y purificadas y determinar el grado de conocimiento de los consumidores y comercializadores. Los elementos químicos de las arcillas de cuatro yacimientos (Azángaro, Tiquillaca, Acora y Asillo) fueron determinados por microscopía electrónica de barrido (MEB) en el Mega Laboratorio de investigación y calidad ambiental de la UNAP en dos presentaciones (naturales y purificadas por sedimentación). La materia orgánica (MO) se determinó por el método de calcinación (650 °C). El pH se determinó a una temperatura de 20 °C. Después de la molienda el tamaño de partícula fue determinado en tamices ASTM. La apariencia y color se determinó con la tabla de Munsell. El grado de conocimiento sobre arcillas comestibles se realizó en consumidores y comercializadores (n=268). Los resultados indican que existen diferencias entre las características químicas de las arcillas naturales versus las purificadas. El Carbono, Calcio y Wolframio incrementaron en su composición química ( $P < 0.05$ ) con la purificación. El carbono incrementó en 0.49% con la purificación y fue relacionado a un aumento en 3.01% en la MO ( $P < 0.05$ ). No hubo diferencias del pH entre las arcillas naturales y purificadas ( $P > 0.05$ ) pero si entre los yacimientos ( $P < 0.05$ ). La purificación no cambio la apariencia ni el color, pero si produjo partículas de menor tamaño ( $P < 0.05$ ). Los consumidores y comercializadores desconocen sobre las características físicas químicas de las arcillas comestibles, pero si tienen conocimiento sobre las propiedades benéficas y curativas. Ellos saben de las impurezas que contiene y están dispuestos a consumir Cha'qo purificado. Finalmente, podemos concluir que con la purificación se obtiene partículas de menor tamaño, se incrementa la proporción de materia orgánica, Carbono, Calcio y Wolframio, pero el valor de pH no cambia. Asimismo, los consumidores y los comercializadores desconocen las características físicas químicas de las arcillas, sin embargo, confirman sus propiedades benéficas. Palabras clave: Arcilla, características físico-químicas (32).

**Título:** Efecto remineralizador in vitro de la arcilla “chaco” en lesiones incipientes del esmalte, PUNO2024

**Autor:** ANA PAOLA QUISPE VENEGAS

**Fuente:** [https://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14082/22734/Quispe\\_Venegas\\_Ana\\_Paola.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14082/22734/Quispe_Venegas_Ana_Paola.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

**Resumen:** Este estudio busca determinar el efecto remineralizador de la arcilla “Chaco” en las lesiones incipientes del esmalte en Puno-2024. Para ello, se tomaron 10 piezas dentarias, que se fraccionaron para formar tres grupos. Dos de estos grupos se sometieron a un proceso de desmineralización artificial, posteriormente, uno se expuso a la arcilla “Chaco” formando el grupo experimental, otro grupo se sometió a la pasta “Mi Paste” conformando el control positivo y el otro grupo no fue sometido a ningún procedimiento siendo el control negativo. Los resultados mostraron que, antes de la remineralización, el grupo experimental y el control positivo tenían una mineralización "Mala", mientras que el control negativo presentaba una mineralización "Buena". Tras 3 y 7 días, el grupo experimental mejoró a "Moderada" y el control positivo a "Buena", mientras que el control negativo mantuvo una mineralización "Buena", sin embargo, evidenció tinciones por el uso del metileno. La prueba ANOVA mostró diferencias significativas entre los tiempos de medición ( $p < 2e-16$ ), indicando mejoras a corto plazo. No se encontraron diferencias significativas entre la arcilla "Chaco" y la pasta Mi Paste ( $F = 0.262$ ,  $p = 0.611$ ). Post-Hoc confirmaron diferencias significativas entre las mediciones iniciales y posteriores ( $p < 0.001$ ), destacando el impacto del tiempo de aplicación. Se concluye que la arcilla "Chaco" tiene un efecto remineralizador significativo sobre las lesiones cariosas incipientes del esmalte, mostrando una eficacia creciente en los primeros 3 días de aplicación y luego estabilizándose, pasando de "Mala" a "Buena". Palabras clave: Arcilla Chaco, Caries dental, In vitro, Pastas remineralizantes, Remineralización (31).

**Título:** Elaboración y efecto de una bebida tipo néctar a base de la arcilla ch' aqo montchackj en la gastritis inducida por Estrés en ratas wistar

**Autor:** EDISON ROMERO MACUAGA

**Fuente:** <https://repositorio.unsaac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12918/952/253T20130068.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

**Resumen:** El presente trabajo de investigación titulado "Elaboración y efecto de una bebida tipo néctar a base de la arcilla ch' aqo (montchack) en la gastritis inducida por estrés en ratas wistar", tuvo por objetivo realizar la elaboración y determinar el efecto de una bebida tipo néctar a base de la arcilla ch' aqo (Montchack) en la gastritis inducida por estrés en ratas wistar. La investigación fue de tipo experimental, se utilizó Ch' aqo (Montchack), de color gris, de la localidad de Tintiri del Distrito de Azángaro de la ciudad de Puno, este se elaboró con los diferentes insumos citados en la formulación de elaboración de la bebida tipo néctar, el análisis físico-químico y microbiológico se realizaron a nivel de laboratorio, para el análisis sensorial se utilizaron jueces semi entrenados conformado por 20 personas y para el estudio experimental para la inducción de gastritis por estrés se utilizaron 24 ratas wistar machos de 5 meses de edad. Los resultados indican, para el análisis físico químico de la bebida tipo néctar resultando: pH 8.15, 7.6 Brix, 93.31 % de humedad, 0% de proteína, 0% de grasa, 0.14% de ceniza, 0.11 % de ácido cítrico, 6.46 % de carbohidratos y minerales es de: 0.040 % de óxido de silicio (SiO<sub>2</sub>), 0.024 % de óxido de calcio (CaO), 0.015 % de óxido de magnesio (MgO), 0.038 % de óxido de aluminio (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) y 0.012 de óxido de hierro (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>); y el análisis microbiológico resultando: 1.0 ufc/g de Aerobios Mesófilos Facultativos, ausente de Coliformes totales, ausente de Staphylococcus aureus y ausente de Mohos y levaduras, teniendo como resultado APTO para el consumo humano. Según el análisis sensorial, teniendo como resultado la aceptación de la bebida tipo néctar a base de la arcilla ch' aqo (montchack). En conclusión, se elaboró la bebida tipo néctar a base de la arcilla ch' aqo (Montchack) y se determinó el efecto en la gastritis inducida por estrés en las ratas wistar, en el cual se identifica 20 días como el tiempo de regeneración del tejido del estómago sin presentar rastros de gastritis, a una dosis de 15 a 20 ml de consumo promedio administrados de forma ad libitum durante 24 horas por cada unidad experimental (33).

**Título:** Evaluación in vitro de la arcilla de hidralgirita (chaqo) y del aceite esencial de timol en la inhibición de crecimiento de streptococcus mutans, Puno

**Autor:** THALIA MARGOTH SANCA APAZA ,HENRRY RICAR HUARACHI ITO

**Fuente:** [http://tesis.unap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14082/19574/Sanca\\_Thalia\\_Huarachi\\_Henry.pdf?sequence=3&isAllowed=y](http://tesis.unap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14082/19574/Sanca_Thalia_Huarachi_Henry.pdf?sequence=3&isAllowed=y)

**Resumen :** El Streptococcus mutans es una de las bacterias más importantes involucradas en la génesis de caries dental, en diferentes regiones se ha investigado varios tratamientos alternativos para su prevención, uno de ellos es la arcilla de hidralgirita y el aceite esencial de timol que tienen diversas propiedades terapéuticas, así pues el objetivo de la presente tesis fue evaluar in vitro la arcilla de hidralgirita (CHAQO) así como el aceite de timol para inhibir el crecimiento de Streptococcus mutans, Puno 2021, para los materiales y métodos se planteó una metodología con enfoque cuantitativo, de alcance aplicativo, prospectivo, de corte longitudinal y con un diseño cuasi experimental. Se cultivó n=50 placas Petri y en cada una de las placas fueron distribuidos 6 discos de papel filtro, aplicando el sistema de difusión por disco de Kirby Bauer, dando como resultado un total de 300 discos. Las cajas Petri fueron divididas en 10 conjuntos según las concentraciones de la arcilla de hidralgirita (CHAQO), y aceite esencial del timol, además se consideró a la clorhexidina a 0.12% como control positivo y como control negativo el agua destilada. Así mismo se midió los halos inhibitorios a las 24h y 48h. Dando como resultado que la arcilla de hidralgirita (CHAQO) y el aceite esencial de timol presentan diferencias estadísticamente significativas  $p=0.00$  entre ambas mediciones, según los análisis no paramétricos H de Kruskal-Wallis, resultando que el mejor efecto se registró en la aplicación de la arcilla de hidralgirita (CHAQO) al 100% a las 24 horas. Concluyendo que la arcilla de hidralgirita (CHAQO) tiene mejor efecto inhibitorio en comparación al aceite esencial de timol y al control positivo en sus diferentes concentraciones a las 24h y 48h sobre Streptococcus mutans. Palabras clave: Arcilla de hidralgirita, aceite esencial, timol, inhibición, Streptococcus mutans (34).

**Título:** Comparación del efecto in vitro de la microdureza en la superficie del Esmalte en bloques de dientes de bovino tratadas con Mi Varnish™ (Fluoruro de Sodio al 5%) y Duraphat® (Fluoruro de Sodio al 5%).

**Autor:** GÓMEZ ZEGARRA, COSSETTE SUSANA

**Fuente:** <https://upc.aws.openrepository.com/bitstream/handle/10757/621205/original.pdf?sequence=5&isAllowed=y>

**Resumen :** El objetivo del estudio fue comparar el efecto in vitro de la microdureza en la superficie del esmalte en bloques de incisivos centrales de bovino tratadas con Mi Varnish™ (fluoruro de sodio al 5%) y Duraphat® (fluoruro de Sodio al 5%). **Materiales y Métodos:** El estudio fue experimental in vitro. Se confeccionaron 30 bloques de esmalte bovino divididos en tres grupos: (1) Control (saliva artificial); (2) Duraphat® ; (3) Mi Varnish™. Cada grupo fue sometido a un desafío cariogénico según un modelo in vitro de ciclos de pH propuesto por Cate y Duijsters, el cual duró 7 días. Luego de la formación de la lesión de mancha blanca in vitro, fue analizada la microdureza Vickers inicial. Finalmente, se remineralizaron los especímenes utilizando los barnices fluorados Mi Varnish™ y Duraphat® , para controlar y comparar se midió la microdureza superficial a las 48 horas, 7 días y 14 días. **Resultados:** Se obtuvo en el grupo control (sáliva artificial) una media basal de  $52.03 \pm 25.52$  a las 48 horas  $73.69 \pm 25.98$  a los 7 días  $65.53 \pm 21.78$  y a los 14 días  $61.04 \pm 21.23$ . Luego en Mi Varnish™ la media basal fue de  $54.85 \pm 28.3$  a las 48 horas  $70.47 \pm 27.03$  a los 7 días  $75.44 \pm 22.92$  y a los 14 días  $71.74 \pm 24.56$ . Por último, Duraphat® obtuvo  $54.63 \pm 45.46$ ,  $69.19 \pm 48.32$ ,  $60.95 \pm 21.77$  y  $70.97 \pm 43.18$  como media basal, a las 48 horas, 7 días y 14 días respectivamente. **Conclusiones:** Mi Varnish™ y Duraphat® no presentaron diferencias estadísticamente significativas(46).

**Título:** “Efectividad in vitro de cuatro agentes remineralizantes en la microdureza del esmalte”

**Autor:** MESTANZA ABAD, RUTH ARELI

**Fuente:** <https://dspace.unitru.edu.pe/server/api/core/bitstreams/e3d8b18f-c5f4-4abb-a91b-41a6629b14e1/content>

**Resumen :** Actualmente se viene haciendo estudios sobre la capacidad remineralizante de diferentes agentes unidos a flúor, donde aquellos que contienen estaño han mostrado resultados prometedores. El presente estudio tuvo como objetivo comparar la efectividad de cuatro diferentes agentes remineralizantes en dientes permanentes. Se realizó un estudio

experimental con cinco grupos( $n=10$ ), empleando la microdureza Vickers. En la pérdida de minerales participó el ácido cítrico al 1% durante un periodo de cinco días y para el proceso de ganancia de minerales participaron los agentes NaF, CPP-ACP, CPP-ACP/F, SnF<sub>2</sub>/NaF; todas expuestas en saliva artificial en un periodo de cinco días. Para hallar la efectividad remineralizante se comparó la variación de la medida de microdureza superficial pos desmineralización con la de pos remineralización. Los resultados obtenidos muestran la variación media para el grupo sometido a Fluoruro de Sodio fue de 10.00kg/mm<sup>2</sup>, 13.22 kg/mm<sup>2</sup> para CPP-ACP, 13.60 kg/mm<sup>2</sup> para CPP-ACP/F y 16.31 kg/mm<sup>2</sup> para Fluoruro de estaño con Fluoruro de sodio.

Se concluye que al comparar los agentes remineralizantes; NaF, CPP-ACP, CPPACP/F y SnF<sub>2</sub>/NaF, tienen efectividad diferente sobre la desmineralización con ácido cítrico sobre dientes permanentes resultando el más efectivo el SnF<sub>2</sub>/NaF.

Palabras claves: remineralización dental, desmineralización, erosión de los dientes (47).

#### 4. HIPÓTESIS.

Dado que la arcilla Chaco presenta compuestos químicos como Calcio y Flúor, propiedades remineralizantes es probable que su aplicación presente un efecto remineralizante comparable al agente Mi paste plus en dientes con lesiones iniciales de caries en esmalte.

##### 4.1 Hipótesis alterna:

La arcilla chaco remineraliza los dientes con lesiones artificiales iniciales de caries.

##### 4.2 Hipótesis nula:

La arcilla chaco no remineraliza los dientes con lesiones artificiales iniciales de caries.



## **CAPÍTULO II PLANTEAMIENTO OPERACIONAL**

## II. PLANTEAMIENTO OPERACIONAL

### 1.1 Diseño Metodológico

- Se realizó un estudio experimental in vitro, prospectivo, transversal, de tipo comparativo de laboratorio.

### 2.1 Población y Muestra

#### 2.1.1 GRUPOS DE ESTUDIO

GRUPOS	CANTIDAD	NºSEM	NºEDX	Nº FTIR
<b>G1 ESMALTE SANO</b> (control)	3 DIENTES	1	1	1
<b>G2 ESMALTE DESMINERALIZADO</b> (control, sin ningún tratamiento)	3 DIENTES	1	1	1
<b>G3 MI PASTE PLUS RECALDENT</b> (control positivo)	3 DIENTES	1	1	1
<b>G4 ARCILLA CHACO</b> (experimental)	3 DIENTES	1	1	1

#### A. Criterios de inclusión:

- Dientes bovinos
- Incisivos inferiores permanentes grandes
- Incisivos sanos

#### B. Criterios de exclusión

- Dientes superiores
- Dientes pequeños y delgados
- Dientes con lesión cariosa

### C. Población

- En esta investigación se trabajó con todos los dientes bovinos que cumplieron con los criterios de inclusión planteados.

### D. Unidades de estudio:

- Se utilizaron 12 piezas dentarias de bovinos.

### 3.1 Tabla de variables

VARIABLE	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADORES	TIPO
Agentes remineralizantes (VI)	Sustancias que favorecen la recuperación mineral del tejido dental (51).	<b>Arcilla Chaco</b> (experimental) <b>Mi paste plus</b> (control positivo)	Cualitativo
Lesiones iniciales de caries (VD)	Incremento neto de minerales en la superficie del esmalte, los cuales fueron previamente eliminados por un proceso de desmineralización (44).	<b>Morfología del esmalte</b> Microscopía electrónica de Barrido-SEM <b>Concentración de calcio y fosfato en la superficie del esmalte</b> Espectroscopia de energía dispersiva-EDX <b>Identificar y analizar sustancias químicas</b> Espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier-FTIR	Cualitativo

## 4.1 Técnicas y procedimientos

### 4.1.1. Proceso de obtención de la Arcilla Chaco

- La arcilla Chaco se adquirió de un centro naturista el cual comercializa la Arcilla de un yacimiento ubicado en el Distrito de Asillo-Región Puno, se compró 1kg de la Arcilla en su estado natural previamente secado.
- Para este estudio se procedió a la purificación de la arcilla con el método de exposición a la intemperie.
- La arcilla chaco se trituró en un mortero hasta convertirse en polvo para elaborar la pasta.

### 4.1.2. Proceso de laboratorio:

- El presente estudio experimental se desarrolló in vitro, con 12 dientes bovinos obtenidos por donación.
- Previamente el proyecto se sometió al Comité de Ética de la Universidad Católica de Santa María.

#### A. Preparación de Especímenes

Los dientes recolectados fueron examinados y seleccionados según criterios de inclusión. En los dientes seleccionados, los tejidos blandos restantes, los residuos y las manchas se eliminaron con instrumentos manuales y fueron almacenados dentro de un frasco de vidrio en una solución de suero fisiológico y cloro al 0.5%. para su desinfección.

Posteriormente las coronas dentales de los 12 dientes fueron separadas de las raíces con discos diamantados de baja velocidad. Fragmentados de la cara vestibular previo marcado para corte. Así se obtuvieron 12 bloques cuadrados de las siguientes medidas:7mm de largo ,8mm de ancho y 3 mm de espesor (10).

#### B. Producción de lesiones de esmalte artificial

Todos los grupos, excepto G1, fueron sumergidos durante 72 h en una solución desmineralizante de ácido láctico ajustado a pH 4 almacenado en la estufa a 37°C, con el fin de crear una lesión inicial artificial en la superficie del esmalte.

Después de la formación de la lesión, las muestras se lavaron minuciosamente con agua destilada y se secaron con papel absorbente.

Durante todo el período del estudio, para simular la condición de la cavidad oral, después del proceso de desmineralización todas las muestras fueron almacenadas en una solución de saliva artificial a temperatura ambiente hasta el momento de la experimentación (10).

### C. Grupos experimentales

Para este estudio un solo operador realizó todos los procedimientos, las muestras se asignaron en 4 grupos de manera aleatoria:

- G1-Esmalte Sano
- G2-Esmalte desmineralizado
- G3-Mi paste plus Recaldent
- G4-Arcilla Chaco

### D. Condición de ciclo de pH

En este estudio se utilizó el modelo dinámico de Ten Cate y Duijsters con ciclos de pH (desmineralización-remineralización) este protocolo simula una condición de alto riesgo de caries en el cual se utilizó ácido láctico durante 6 h (20 mL por cada grupo) y, en segundo lugar, se realizó un ciclo de remineralización con la aplicación del agente en una capa fina utilizando un micro cepillo sobre las superficies del esmalte según las instrucciones del fabricante Mi paste plus 5 minutos y Arcilla Chaco 20 minutos.

La arcilla Chaco se utilizó en una concentración al 100% en forma de pasta se disolvió 2gr de arcilla en Polvo y 2 ml de agua destilada.

El ciclo de pH se repitió una vez al día durante siete días y las muestras se almacenaron en saliva artificial, solo en el Grupo G2 no se realizó tratamiento remineralizante(44).

Finalmente, después de los procedimientos de tratamiento, todas las muestras fueron limpiadas cuidadosamente y deshidratadas para su evaluación mediante SEM , EDX y FTIR.

### E. Análisis SEM Y EDX

Las muestras fueron secadas al aire para eliminar la humedad y luego se pulió su superficie usando papel abrasivo de grano 200. Posteriormente, se metalizaron con una capa de oro-paladio, se fijaron sobre soportes de aluminio y se examinaron mediante un microscopio electrónico de barrido.

Se capturaron microfotografías SEM para analizar la morfología del esmalte y detectar posibles daños en la superficie, utilizando aumentos de 200×, 500× y 1500×.

La caracterización química de la superficie se realizó mediante EDX (10).

El análisis EDX se llevará a cabo en 3 áreas de muestra con los siguientes parámetros operativos:

1. Distancia De Trabajo De 15 Mm
2. Voltaje De Aceleración De 25 Kv

3. Aumento De 500×.

**El nivel de remineralización se determinó a través de la cuantificación de fósforo (P) y calcio (Ca), y mediante el cálculo de la relación Ca/P en las muestras sometidas a tratamiento tras su inmersión en saliva artificial (10).**

#### **F. Análisis FTIR: Preparación de Polvo**

Se utilizó un método de desgaste con ayuda de la pieza de baja velocidad y una piedra diamantada de grano fino , las muestras se desgastaron hasta convertirse en polvo posteriormente se realizó el peso de 0.5gr de la muestra en la balanza analítica y 50gr de KBr (bromuro de potasio) para realizar una pastilla en la prensa que posteriormente fue analizada (49).

### **5.1 Plan de Análisis**

#### **A. Tipo de Análisis:**

El análisis de datos se realizó de forma descriptiva, considerando una muestra por grupo experimental (ES, ED, MP, CH) en cada una de las tres técnicas aplicadas: microscopía electrónica de barrido (SEM), espectroscopía de dispersión de energía de rayos X (EDX) y espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR), totalizando 12 muestras analizadas.

Las imágenes obtenidas mediante SEM fueron evaluadas cualitativamente, describiendo la morfología del esmalte y los signos de desmineralización o remineralización asociados a cada tratamiento. En el análisis EDX, se cuantificaron los porcentajes de calcio (Ca) y fósforo (P), y se calculó la relación Ca/P como indicador del equilibrio mineral en cada grupo.

En el análisis FTIR, se examinó la composición funcional del polvo de esmalte recolectado por desgaste controlado y prensado con bromuro de potasio (KBr). Se identificaron las bandas correspondientes a los grupos fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), carbonato ( $\text{CO}_3^{2-}$ ), hidroxilo ( $\text{OH}^-$ ) y señales orgánicas ( $\text{C-H/C=O}$ ), evaluando las diferencias de intensidad entre grupos como indicios de cambios estructurales y químicos inducidos por los tratamientos.

Los datos fueron interpretados de manera descriptiva, sin aplicación de pruebas estadísticas, y ofrecieron una caracterización preliminar del comportamiento remineralizante de la arcilla Chaco en comparación con MI Paste Plus.

Este enfoque multidimensional, que combina técnicas complementarias de análisis estructural, elemental y funcional, resulta especialmente valioso en estudios exploratorios de biomateriales. Permite obtener una visión integral de los efectos inducidos por los tratamientos, superando las limitaciones de una única técnica analítica. En este caso, la integración de SEM, EDX y FTIR proporcionó información robusta sobre la morfología, composición mineral y modificaciones químicas del esmalte, fortaleciendo la validez de los hallazgos y resaltando el potencial de la arcilla Chaco como alternativa remineralizante.

### 6.1 Consideraciones éticas

- El proyecto fue presentado al Comité de Ética Institucional de la Universidad Católica de Santa María para su aprobación.
- Los dientes bovinos utilizados en la investigación fueron donados; estos fueron obtenidos de animales sacrificados para consumo humano, evitando así su desperdicio.

### 7.1 Recursos

#### A. Recursos humanos

**Investigador:** Mavila Yameli Palomino Catasi

**Asesor:** Dr. Wilfredo Gustavo Escalante Otárola

#### B. Recursos Físicos

Laboratorio de la Universidad católica de Santa María

#### C. Recursos económicos

Autofinanciado

#### D. Recursos institucionales

Universidad Católica de Santa María

**Prueba piloto:** Se realizó una prueba piloto con dos dientes bovinos para validar la metodología experimental, estandarizar los procedimientos de preparación y tratamiento de las muestras.

La selección de la muestra se realizó mediante un muestreo no probabilístico por conveniencia y por decisión propia.

$$N=12$$

### **A.1. Recursos Materiales**

#### **A.2.1.2. Instrumentos Mecánicos**

- 01 Laptop.
- Cámara fotográfica
- Lápiz y lapiceros.
- Hojas de papel
- Calculadora

### **1.3. Materiales de Verificación**

#### **a) Para recolección y preparación de muestra:**

- 12 dientes de bovino
- Guantes y barbijos
- Campo de trabajo
- Pinza
- Bandeja
- 01 frasco de vidrio
- 02 discos diamantados
- Suero fisiológico
- Hipoclorito de sodio al 0.5%
- Papel absorbente
- Saliva artificial
- Agua destilada
- Piedra diamantada de grano fino
- Papel abrasivo grano 200
- Organizador con divisiones

#### **b) Para la simulación de cavidad oral:**

- Saliva artificial
- Ácido láctico PH 4

#### **c) Equipos mecánicos**

- Micromotor de laboratorio
- Balanza Analítica

#### **d) Equipos de Laboratorio:**

- Microscopio electrónico de barrido (SEM).
- Espectrómetro FTIR

### 8.1 CRONOGRAMA DE TRABAJO

Actividades	MARZO				ABRIL				MAYO			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Aprobación de proyecto	X											
Recolección de Datos		X										
Procesamiento				x								
Borrador de tesis									X			
Análisis de resultados										X		
Resultados											X	
Conclusiones												x



## CAPÍTULO III RESULTADOS

### III. RESULTADOS

Las imágenes obtenidas mediante microscopía electrónica de barrido (SEM) muestran la morfología superficial del esmalte en los diferentes grupos experimentales (Figura 1). En el grupo Esmalte Sano (ES), la superficie presenta una estructura prismática intacta, sin fisuras ni alteraciones evidentes. A todos los aumentos (200x, 500x y 1500x), la morfología del esmalte es típica de un esmalte no alterado, con una ligera rugosidad superficial observada a menor magnificación (200x). A mayores aumentos (500x y 1500x), se mantiene la integridad estructural de los prismas, sin signos de disolución interprismática o alteración.

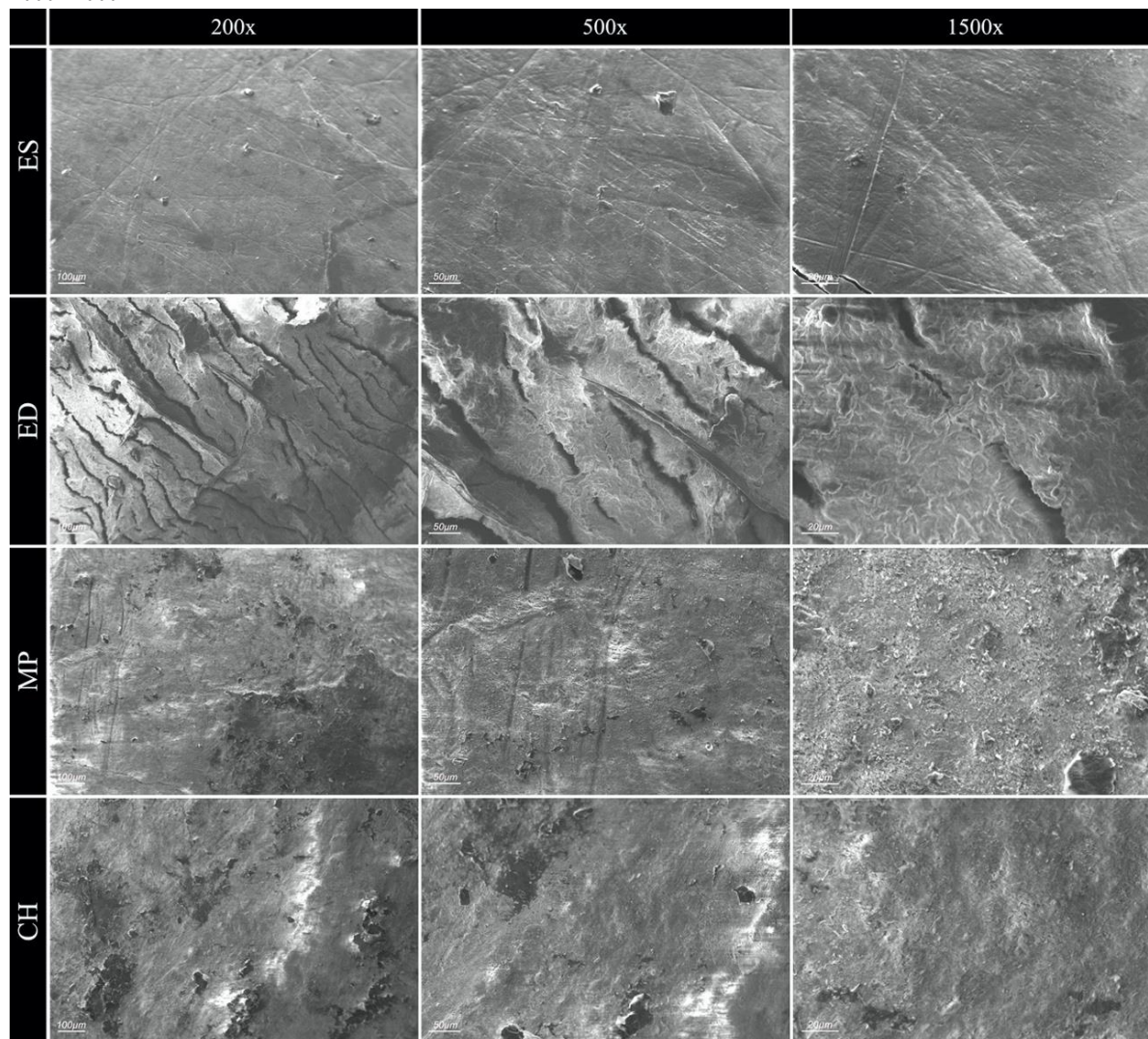
Por otro lado, el Esmalte Desmineralizado (ED) muestra una clara alteración de la superficie. A 200x, la estructura presenta irregularidades, con fisuras y áreas de disolución superficial características de la desmineralización. A 500x y 1500x, se observa la estructura de "panal de abeja", con los cristales de apatita disolviéndose selectivamente dentro de los prismas, lo que es típico del proceso de desmineralización del esmalte.

En el grupo MI Paste Plus Recaldent (MP), las imágenes muestran una remineralización parcial. A 200x, la superficie presenta ligeras irregularidades, lo que indica que parte del esmalte ha sido restaurado. A 500x y 1500x, se observa la recuperación parcial de los cristales prismáticos, aunque persisten algunas áreas de ligera disolución interprismática, lo que sugiere que la remineralización fue parcial y no completa.

Finalmente, en el grupo Pasta de Arcilla de Chaco (CH), las imágenes muestran una superficie irregular, con áreas de material residual sobre el esmalte que podrían interferir con la remineralización completa. A 500x y 1500x, se observa remineralización parcial, pero también algunas zonas de disolución interprismática persistente. Aunque la arcilla de chaco mostró signos de remineralización, no fue tan eficaz como el tratamiento con MI Paste Plus.

**Figura 1:** Imágenes SEM 200x, 500x y 1500x.

1000X1000X



\*Imágenes representativas de la superficie del esmalte según los grupos experimentales a través de microscopía electrónica de barrido. Las imágenes muestran la morfología del esmalte en los grupos Esmalte Sano (ES), Esmalte Desmineralizado (ED), MI Paste Plus Recaldent (MP) y Pasta de Arcilla de Chaco (CH) a aumentos de 200x, 500x y 1500x. ES presenta una estructura intacta, mientras que ED muestra fisuras y signos evidentes de desmineralización. En MP y CH, se observa remineralización parcial, con recuperación de los cristales prismáticos y algunas áreas de disolución interprismática.

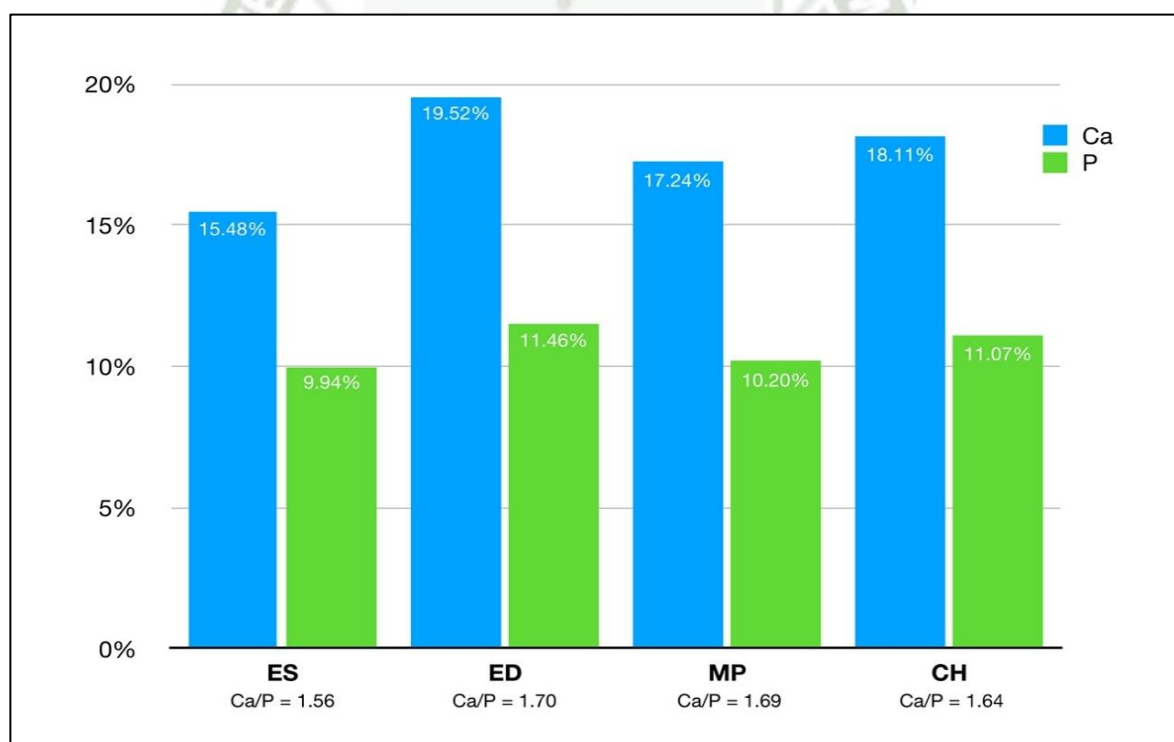
Los resultados SEM (Figura 1) indican que el esmalte sano presenta una estructura intacta, sin alteraciones evidentes, mientras que el esmalte desmineralizado muestra una marcada pérdida de mineral y una estructura alterada, característica de la desmineralización. Los tratamientos con MI Paste Plus y Pasta de Arcilla de Chaco resultaron en remineralización parcial, siendo MI Paste Plus el tratamiento que mostró una mayor restauración de la estructura prismática del esmalte, aunque sin alcanzar una remineralización completa.

Los resultados del análisis de EDX (Figura 2) muestran la composición de calcio (Ca) y fósforo (P) en los diferentes grupos experimentales. En Esmalte Sano (ES), el contenido de calcio es 15.48% y el fósforo 9.94%, con una relación Ca/P de 1.56, lo que indica un equilibrio mineral típico de esmalte sano.

En Esmalte Desmineralizado (ED), el contenido de calcio es 19.52% y el fósforo 11.46%, resultando en una relación Ca/P de 1.70. Esta relación más alta sugiere una pérdida de calcio, ya que el fósforo se encuentra relativamente más conservado, lo que es característico de la desmineralización.

En el grupo MI Paste Plus Recaldent (MP), los valores de calcio son 17.24% y los de fósforo 10.20%, con una relación Ca/P de 1.69, lo que indica una remineralización parcial. Aunque la relación Ca/P es similar a la de Esmalte Desmineralizado (ED), el mayor contenido de calcio sugiere que la remineralización fue algo más exitosa en este grupo.

**Figura 2:** Análisis EDX de los grupos experimentales.



\*Análisis EDX de los grupos experimentales. Los resultados del análisis de EDX muestran los porcentajes de calcio (Ca) y fósforo (P), así como la relación Ca/P en los grupos Esmalte Sano (ES), Esmalte Desmineralizado (ED), MI Paste Plus Recaldent (MP) y Pasta de Arcilla de Chaco (CH). ES presenta un equilibrio mineral típico, con una relación Ca/P de 1.56. En ED, la relación Ca/P aumenta a 1.70, indicando pérdida de calcio. En MP y CH, se observa remineralización parcial, con una relación Ca/P de 1.69 y 1.64, respectivamente, mostrando una restauración incompleta del equilibrio mineral.

Finalmente, en Pasta de Arcilla de Chaco (CH), los valores de calcio son 18.11% y los de fósforo 11.07%, con una relación Ca/P de 1.64. Al igual que en MP, se observa remineralización parcial, pero la relación Ca/P es ligeramente inferior, lo que sugiere que la remineralización con este tratamiento no fue tan eficiente a comparación de MP.

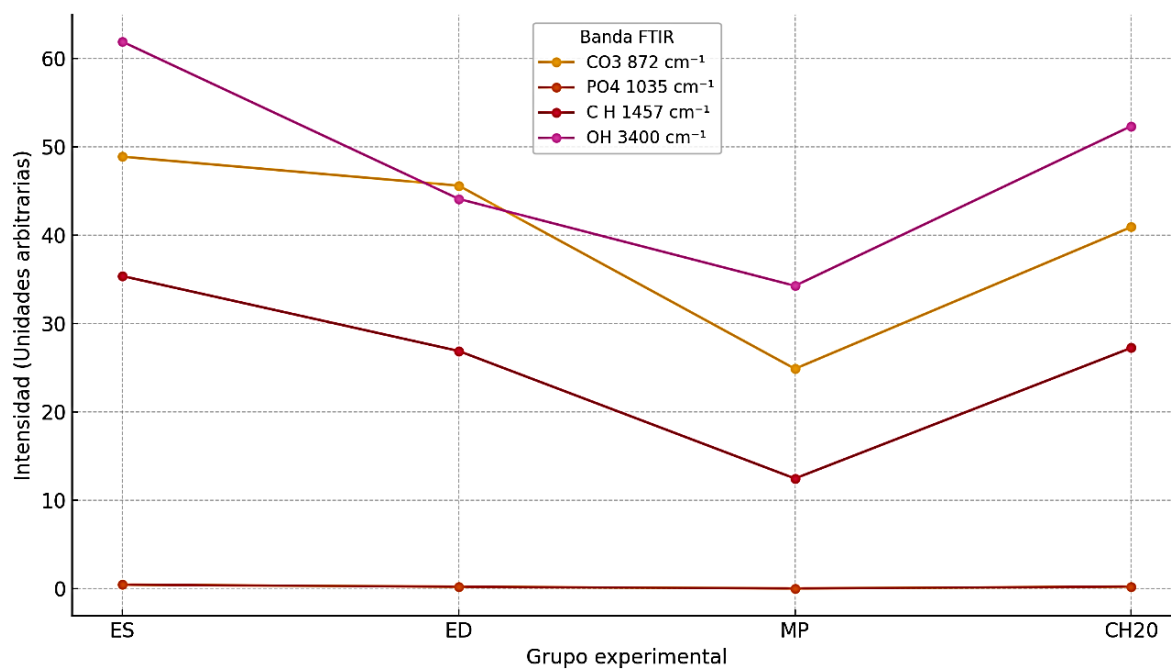
Los resultados de EDX (Figura 2) sugieren que el Esmalte Sano (ES) tiene un equilibrio mineral característico, con una relación Ca/P típica del esmalte intacto. El grupo Esmalte Desmineralizado (ED) presenta una relación Ca/P más alta, lo que refleja la pérdida de calcio en el proceso de desmineralización. En los grupos tratados, MI Paste Plus y Pasta de Arcilla de Chaco mostraron remineralización parcial, con MP mostrando una ligera ventaja en términos de relación Ca/P y contenido absoluto de calcio, lo que sugiere una remineralización más eficaz en comparación con CH.

Se realizó un análisis complementario por espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) en modo de transmisión para evaluar la composición funcional de polvo de esmalte recolectado mediante desgaste superficial con piedra diamantada de grano fino. El polvo de cada muestra fue mezclado con bromuro de potasio (KBr) para la confección de pastillas prensadas, según protocolo estándar. Este procedimiento permitió obtener espectros representativos de la composición funcional del volumen mineral colectado, aunque no refleja exclusivamente la capa superficial clínica.

En todos los espectros se identificaron bandas correspondientes a fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) ( $\sim 1035 \text{ cm}^{-1}$ ), carbonato tipo B ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) ( $\sim 872 \text{ cm}^{-1}$ ), vibraciones orgánicas ( $\sim 1414$  y  $1457 \text{ cm}^{-1}$ ) y grupos hidroxilo ( $\text{OH}^-$ ) ( $\sim 3400 \text{ cm}^{-1}$ ). Las diferencias entre grupos permiten inferencias sobre los cambios funcionales inducidos por los tratamientos evaluados: En esmalte sano (ES), se observó alta intensidad en las bandas de carbonato (48.9), orgánicos ( $1457 \text{ cm}^{-1}$ : 35.4) y  $\text{OH}^-$  ( $3400 \text{ cm}^{-1}$ : 61.9), lo que indica una matriz mineral íntegra con cierta hidratación. En esmalte desmineralizado (ED), la intensidad de la banda de fosfato disminuyó, mientras que el carbonato se mantuvo relativamente alto (45.6). Se observó una ligera reducción de la señal  $\text{OH}^-$  (44.1), lo que sugiere desorganización mineral.

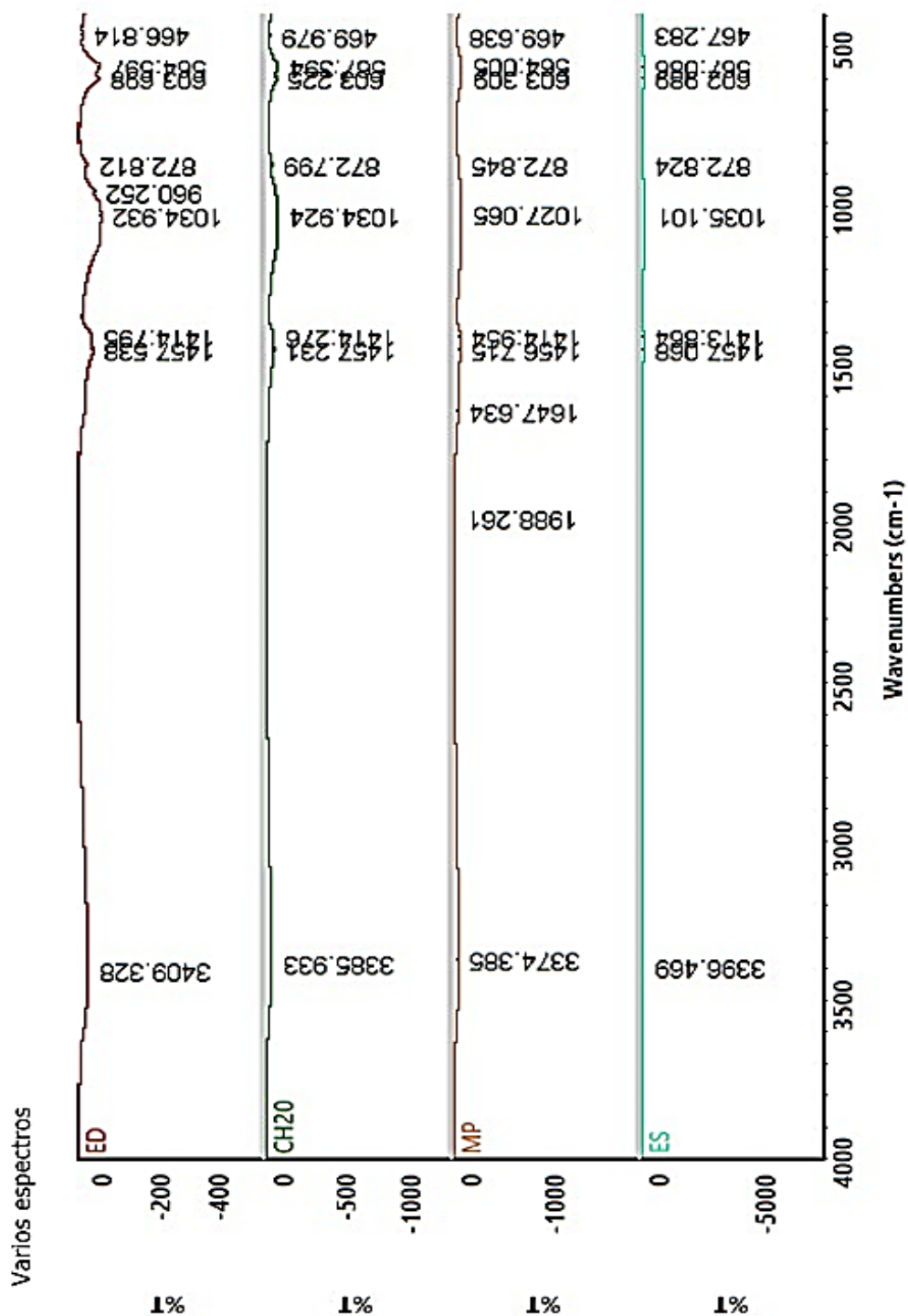
En MI Paste Plus (MP), se registró una disminución marcada de las bandas de carbonato (24.9) y orgánicos (12.5), así como de la señal  $\text{OH}^-$  (34.3), lo que indica una posible cobertura de la superficie por complejos cálcicos derivados del tratamiento. En arcilla de Chaco (CH20), las señales se mantuvieron intermedias, con un valor de carbonato de 40.9 y orgánicos de 27.3, lo cual indica una remineralización parcial acompañada por residuos orgánicos o minerales.

**Figura 3:** Espectros FTIR.



\*Espectros FTIR obtenidos a partir de polvo de esmalte mezclado con KBr en los grupos ES (esmalte sano), ED (desmineralizado), MP (MI Paste Plus) y CH20 (arcilla de Chaco). Se observan diferencias en las intensidades de las bandas correspondientes a CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> (~872 cm<sup>-1</sup>), PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> (~1035 cm<sup>-1</sup>), C-H/C=O (~1457 cm<sup>-1</sup>) y OH<sup>-</sup> (~3400 cm<sup>-1</sup>), que reflejan los cambios inducidos por la desmineralización y los tratamientos remineralizantes.

**Figura 4:** Resultados comparativos FTIR



\*El gráfico de espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier de los espectros generados para caracterizar e identificar los diversos grupos funcionales en los cuatro grupos ES (esmalte sano), ED (desmineralizado), MP (MI Paste Plus) y CH20 (arcilla de Chaco).

## DISCUSIÓN

La integración de los resultados obtenidos mediante espectroscopía FTIR, microscopía electrónica de barrido (SEM) y análisis de energía dispersiva de rayos X (EDX) ha permitido una evaluación multifacética del impacto de los tratamientos remineralizantes aplicados al esmalte desmineralizado. El tratamiento con MI Paste Plus demostró una mayor eficacia en la restauración estructural y funcional del esmalte, evidenciada por la reorganización prismática observada en SEM, el restablecimiento parcial de la relación Ca/P y la disminución de grupos funcionales carbonatados y orgánicos en los espectros FTIR.

Por su parte, la arcilla de Chaco (CH) mostró también un potencial remineralizante acompañado de signos estructurales de reparación en SEM y una recuperación mineral moderada comparado a MP en el EDX. Sin embargo, en el SEM mostró reorganización de la superficie del esmalte y en el FTIR sugieren que su mecanismo de acción puede ser más superficial o heterogéneo, y posiblemente limitado por la composición mineral no optimizada del producto.

Una de las principales fortalezas de este trabajo reside en su carácter innovador, al incorporar una arcilla de origen regional como alternativa remineralizante y someterla a una caracterización avanzada e integral utilizando técnicas de espectroscopía y microscopía de alta resolución.

Esta aproximación, poco explorada en la literatura odontológica, no solo contribuye al conocimiento sobre biomateriales emergentes, sino que también abre la posibilidad de valorizar recursos naturales locales en el contexto de la salud bucal.

En este estudio se observaron varios hallazgos clave relacionados con la remineralización del esmalte dental. Primero, el Esmalte Sano (ES) presentó una estructura intacta, lo que sirvió como base de comparación para los otros grupos. El Esmalte Desmineralizado (ED) mostró signos evidentes de desmineralización, con alteraciones estructurales en SEM y un aumento en la relación Ca/P, lo que indica una pérdida de calcio y fósforo.

Ambos tratamientos, MI Paste Plus Recaldent (MP) y Pasta de Arcilla de Chaco (CH), promovieron remineralización parcial, pero el MP mostró una mayor efectividad en la restauración de la estructura prismática y el equilibrio mineral de calcio, mientras que la arcilla Chaco presentó material residual que podría interferir con la remineralización completa. A partir de estos hallazgos, se acepta la hipótesis de que la arcilla Chaco tiene un potencial

remineralizante, aunque con menor eficacia comparada con el MI Paste Plus, que sigue siendo el tratamiento más efectivo para restaurar el esmalte dental en lesiones iniciales de caries.

El esmalte desmineralizado mostró la presencia de fisuras y una morfología tipo “panal de abeja”, típica de este proceso, lo cual se evidenció también en los resultados del análisis EDX. Estos indicaron que la relación Ca/P en el esmalte desmineralizado (ED) fue de 1.70, cifra superior a la observada en el esmalte sano (ES) con 1.56.

Este aumento significativo en las concentraciones de calcio y fósforo se atribuye a que dichos elementos constituyen los principales componentes del esmalte. Durante la desmineralización, la pérdida de ciertas capas superficiales expone una mayor cantidad de átomos de estos minerales, lo que se refleja en la mayor detección a través del EDX.

Según lo reportado por Perdigão y colaboradores (40), el uso de materiales con pH ácido induce modificaciones iónicas en la superficie del esmalte, alterando las concentraciones de calcio y fósforo.

Por su parte, Rotstein (41), en un estudio análogo, también describió un incremento en estos minerales, señalando que calcio y fósforo están presentes en los cristales de hidroxiapatita, principal constituyente del esmalte, y que las variaciones en estos elementos sugieren cambios en la estructura inorgánica del tejido dental.

En el estudio de Sanca et al. Existe efecto inhibitorio in vitro de la arcilla de hidralgiritita Chaco en contra de la proliferación de *Streptococcus mutans* por lo cual no solo remineralizaría los dientes aportando calcio sino también tiene un poder anticariogénico bactericida (34).

Por otra parte, en el estudio de Bassir et al. evaluó la eficacia de MI Paste Plus y Remin Pro en la remineralización de lesiones iniciales del esmalte, los resultados indicaron que ambos agentes remineralizantes fueron efectivos, con una remineralización significativa observada en las muestras tratadas con MP observadas en SEM (42).

En la investigación de Vitiello et al. (10) respecto al protocolo, se realizaron mediciones a los 7 días concluyendo que la desmineralización del esmalte puede tratarse con el uso tópico de

agentes remineralizantes logrando una remineralización casi completa de la superficie y una reorganización de la estructura prismática del esmalte.

Es importante destacar que en algunas investigaciones en donde se emplean ciclos dinámicos el tiempo varía desde 7 hasta 21 días, sin embargo, se ha demostrado que en modelos de 7 días se producen resultados similares siempre que las soluciones remineralizantes contengan mínimo 0.25 ppm de Flúor (43).

El modelo in vitro de ciclos de pH empleado en esta investigación reproduce la dinámica de desmineralización y remineralización que ocurre durante el desarrollo de la caries., así como evalúa la efectividad de mecanismos anticaries, en este estudio se utilizó el modelo dinámico de Ten Cate y Dujisters el cual simula una condición de riesgo alto de caries (44).

Este modelo in vitro está bien establecido para este tipo de investigación y representa un alto nivel de control científico y una variabilidad relativamente baja (45).

No obstante, los modelos de ciclo de pH, al igual que otros protocolos in vitro, presentan limitaciones significativas, ya que no permiten replicar de manera íntegra las complejas condiciones fisiológicas intraorales que intervienen en el desarrollo de la caries dental.

Aunque se reconoce la limitación del tamaño muestral y el enfoque descriptivo, los hallazgos preliminares obtenidos constituyen una base sólida para futuras investigaciones.

Estudios con mayor poder estadístico y diseños experimentales robustos permitirán validar la eficacia de la arcilla Chaco y optimizar su formulación para aplicaciones clínicas en la prevención y abordaje de lesiones cariosas incipientes.

## CONCLUSIONES

**PRIMERO:** El estudio muestra que la arcilla Chaco posee un potencial remineralizante en lesiones iniciales de caries en esmalte, aunque es menos eficaz que MI Paste Plus, considerado el "Gold standard" en remineralización dental. Los análisis por SEM y EDX confirman que ambos tratamientos inducen remineralización parcial, siendo más evidente y estructuralmente organizada en el grupo que recibió tratamiento con MI Paste Plus.

**SEGUNDO:** El tratamiento con Mi paste Plus Recaldent demostró que las lesiones iniciales de caries del esmalte pueden tratarse con el uso tópico de agentes remineralizantes, logrando una remineralización casi completa de la superficie, no se obtuvo una remineralización completa, sino una reorganización de la estructura del esmalte desde el punto de vista cualitativo.

**TERCERO:** El análisis FTIR refuerza estos hallazgos, al evidenciar una mayor modulación de los grupos funcionales del esmalte tratado con MI Paste Plus, en contraste con señales más conservadas y presencia de residuos en el grupo de arcilla Chaco.

**CUARTO:** Tanto la arcilla Chaco como Mi paste Plus Recaldent demostraron efectos remineralizadores en 7 días de aplicación con una notable mejora en la remineralización del esmalte observado en el SEM y EDX estos resultados sugieren que, aunque la arcilla Chaco es prometedora, se requieren más estudios para validar su eficacia de manera más profunda en contextos clínicos.

## RECOMENDACIONES

**PRIMERO:** Se sugiere ampliar esta línea de investigación realizando estudios con un mayor tamaño de muestra, lo que permitirá obtener resultados más representativos y con mayor validez estadística.

**SEGUNDO:** Es aconsejable explorar el efecto remineralizante de la arcilla Chaco en distintos intervalos de tiempo de aplicación, con el propósito de evaluar posibles variaciones en su comportamiento y eficacia a lo largo del tratamiento, lo cual podría contribuir al desarrollo de futuros protocolos experimentales.

**TERCERO:** Se sugiere a futuros investigadores y estudiantes de odontología simular ciclos dinámicos in vitro más complejos que repliquen condiciones más cercanas al entorno oral real, con el fin de estudiar el desempeño de la arcilla Chaco bajo diferentes desafíos fisiológicos.

**CUARTO:** Se recomienda a los profesionales de la odontología experimentar con diferentes concentraciones de arcilla Chaco, así como con diversas consistencias de su formulación, con el fin de evaluar su aplicabilidad en tratamientos odontológicos preventivos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Pitts NB, Zero DT, Marsh PD, Ekstrand K, Weintraub JA, Ramos-Gomez F, et al. Dental caries. Nature Reviews Disease Primers. 25 de mayo de 2017;3(1):1-16.
2. Pinelli M de M, Catelan A, de Resende LFM, Soares LES, Aguiar FHB, Liporoni PCS. Chemical composition and roughness of enamel and composite after bleaching, acidic beverages and toothbrushing. J Clin Exp Dent. diciembre de 2019;11(12):e1175-80.
3. Marinho VCC, Chong LY, Worthington HV, Walsh T. Fluoride mouthrinses for preventing dental caries in children and adolescents. The Cochrane Database of Systematic Reviews. 29 de julio de 2016;2016(7):CD002284.
4. Schwendicke F, Dörfer CE, Schlattmann P, Foster Page L, Thomson WM, Paris S. Socioeconomic Inequality and Caries. Journal of Dental Research [Internet]. 2015 [citado 14 de marzo de 2025]; Disponible en: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0022034514557546>
5. Farooq I, Bugshan A. The role of salivary contents and modern technologies in the remineralization of dental enamel: a narrative review. F1000Research. 9 de marzo de 2020;9(171):171.
6. Loesche WJ. Role of Streptococcus mutans in human dental decay. Microbiological Reviews [Internet]. diciembre de 1986 [citado 14 de marzo de 2025]; Disponible en: <https://journals.asm.org/doi/10.1128/mr.50.4.353-380.1986>
7. Neel EAA, Aljabo A, Strange A, Ibrahim S, Coathup M, Young AM, et al. Demineralization–remineralization dynamics in teeth and bone. IJN. 19 de septiembre de 2016;11:4743-63.
8. Kim MJ, Lee MJ, Kim KM, Yang SY, Seo JY, Choi SH, et al. Enamel Demineralization Resistance and Remineralization by Various Fluoride-Releasing Dental Restorative Materials. Materials. 13 de agosto de 2021;14(16):4554.
9. Selwitz RH, Ismail AI, Pitts NB. Dental caries. Lancet (London, England) [Internet]. 6 de enero de 2007 [citado 15 de marzo de 2025];369(9555). Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17208642/>

10. Vitiello F, Tosco V, Monterubbianesi R, Orilisi G, Gatto ML, Sparabombe S, et al. Remineralization Efficacy of Four Remineralizing Agents on Artificial Enamel Lesions: SEM-EDS Investigation. *Materials*. 22 de junio de 2022;15(13):4398.
11. Google Books [Internet]. [citado 15 de marzo de 2025]. The First Outstanding 50 Years of “Università Politecnica delle Marche”. Disponible en: [https://books.google.com/books/about/The\\_First\\_Outstanding\\_50\\_Years\\_of\\_Univer.html?id=nNPHDwAAQBAJ](https://books.google.com/books/about/The_First_Outstanding_50_Years_of_Univer.html?id=nNPHDwAAQBAJ)
12. Lacruz RS, Habelitz S, Timothy Wright J, Paine ML. Dental Enamel Formation and Implications for Oral Health and Disease. *Physiological Reviews* [Internet]. 3 de mayo de 2017 [citado 18 de marzo de 2025]; Disponible en: <https://journals.physiology.org/doi/10.1152/physrev.00030.2016>
13. Moradian-Oldak J. The REGENERATION of TOOTH ENAMEL. *Dimensions of dental hygiene*. agosto de 2009;7(8):12.
14. Ojeda-Garcés JC, Oviedo-García E, Salas LA. *Streptococcus mutans* y caries dental. *CES odontol*. 2013;26(1):44-56.
15. Lemos JA, Palmer SR, Zeng L, Wen ZT, Kajfasz JK, Freires IA, et al. The Biology of *Streptococcus mutans*. *Microbiology Spectrum* [Internet]. 18 de enero de 2019 [citado 18 de marzo de 2025]; Disponible en: <https://journals.asm.org/doi/10.1128/microbiolspec.gpp3-0051-2018>
16. Ajdić D, McShan WM, McLaughlin RE, Savić G, Chang J, Carson MB, et al. Genome sequence of *Streptococcus mutans* UA159, a cariogenic dental pathogen. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 29 de octubre de 2002;99(22):14434-9.
17. Mv CS, Jj RR. [Characteristics of white spot lesions associated with orthodontic treatment: a review]. *Revista científica odontologica (Universidad Científica del Sur)* [Internet]. 26 de septiembre de 2023 [citado 18 de marzo de 2025];11(3). Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38287997/>
18. Carrouel F, Viennot S, Ottolenghi L, Gaillard C, Bourgeois D. Nanoparticles as Anti-Microbial, Anti-Inflammatory, and Remineralizing Agents in Oral Care Cosmetics: A Review of the Current Situation. *Nanomaterials (Basel)* [Internet]. 13 de enero de 2020;10(1).

Disponible en: <http://dx.doi.org/10.3390/nano10010140>

19. Rathee M, Sapra A. Dental Caries. enero de 2025 [citado 14 de marzo de 2025]; Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31869163/>

20. Buzalaf MAR, Hannas AR, Kato MT. Saliva and dental erosion. J Appl Oral Sci. octubre de 2012;20(5):493-502.

21. MI Paste: Crema Dental con RECALDENT [Internet]. [citado 25 de marzo de 2025]. Disponible en: <https://www.coadental.com/productos/mi-paste-crema-dental-con-recaldent>

22. Quintessenz Verlags-GmbH [Internet]. [citado 25 de marzo de 2025]. Effect of CPP-ACPF and Nano-hydroxyapatite Preventive Treatments on the Susceptibility of Enamel to Erosive Challenge. Disponible en: <https://www.quintessencepublishing.com/deu/de/article/842231/oral-health-and-preventive-dentistry/2019/04/effect-of-cpp-acpf-and-nano-hydroxyapatite-preventive-treatments-on-the-susceptibility-of-enamel-to-erosive-challenge>

23. Browman DL. Tierras comestibles de la Cuenca del Titicaca: geofagia en la prehistoria boliviana. 2000. 11 p.

24. Rodolfo PP. Ayni Ensayos [Internet]. [citado 19 de marzo de 2025]. Disponible en: <http://sachabarrio.blogspot.com/2009/02/la-milagrosa-arcilla-de-chaco-la.html>

25. Linares González J, García FH, Martínez JC. LA ARCILLA COMO MATERIAL CERÁMICO. CARACTERÍSTICAS Y COMPORTAMIENTO. cpag. 1983;8:479-90.

26. García Romero E. Arcillas comestibles: reporte exclusivo sobre el consumo milenario de chacko (arcilla 3A-T) en Puno. 2007 [citado 19 de marzo de 2025]; Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.14352/49747>

27. Website Internet]. Disponible en: <https://www.monografias.com/trabajos14/ladrillocolomb/ladrillocolomb>

28. Valdizán H. La medicina popular peruana. 1922. 542 p.

29. Guerra G, Saturnino E. Efecto del consumo de la arcilla comestible Ch'aoqo (Montmorillonita) en gestantes con anemia ferropénica del Centro de Salud Simón Bolívar - Puno [Internet]. Universidad Nacional del Altiplano. Repositorio Institucional - UNAP; 2022 [citado 24 de marzo de 2025]. Disponible en:

<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/19005>

30. Ticona W, Blanco M, Cabrera S. CARACTERIZACIÓN QUÍMICA MINERALÓGICA ESTRUCTURAL DE DOS ARCILLAS BOLIVIANAS. Rev. Bol. Quím. [Internet] 2006; [Acceso 27 de Marzo de 2025] 23(1): 71-6; Disponible en: [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0250-54602006000100014&lng=es](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0250-54602006000100014&lng=es)

31. Venegas Q, Paola A. Efecto remineralizador in vitro de la arcilla «Chaco» en lesiones incipientes del esmalte, Puno-2024 [Internet]. Universidad Nacional del Altiplano. Repositorio Institucional; 2024 [citado 25 de marzo de 2025]. Disponible en: <https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/22734>

32. Roque Almanza L. Caracterización físico - química y grado de conocimiento de los consumidores y comercializadores de las arcillas comestibles (cha'qo) de la Región de Puno. 2017 [citado 19 de marzo de 2025]; Disponible en: [https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/RNAP\\_c942c5d116646f34228e9a5c4417129e](https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/RNAP_c942c5d116646f34228e9a5c4417129e)

33. Romero Macuaga E. Elaboración y efecto de una bebida tipo néctar a base de la arcilla Ch'aco (Montchack) en la gastritis inducida por estrés en ratas wistar [Internet]. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco; 2013 [citado 19 de marzo de 2025]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12918/952>

34. Sanca Apaza TM, Huarachi Ito HR. Evaluación in vitro de la arcilla de hidralgirita (chaqo) y del aceite esencial de timol en la inhibición de crecimiento de Streptococcus mutans, Puno 2021 [Internet]. Universidad Nacional del Altiplano. Repositorio Institucional - UNAP; 2023 [citado 24 de marzo de 2025]. Disponible en: <https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/19574>

35. Supo H, Vladimir G. Efecto de la arcilla de Hidralgirita y de la Clorhexidina en el crecimiento de Porphyromona gingivalis, e Identificación Molecular en pacientes con Periodontitis Crónica de la Especialidad de Periodoncia e Implantología UCSM. Arequipa, 2016. 25 de noviembre de 2016 [citado 19 de marzo de 2025]; Disponible en: <https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/5785>

36. Pashley DH, Carvalho RM, Sano H, Nakajima M, Yoshiyama M, Shono Y, et al. The microtensile bond test: a review. J Adhes Dent. 1999 Winter;1(4):299–309. 63. 64.

- 37 Armstrong S, Geraldeli S, Maia R, Raposo LHA, Soares CJ, Yamagawa J. Adhesion to tooth structure: a critical review of “micro” bond strength test methods. *Dent Mater.* 2010 Feb;26(2):e50–62..
38. Website [Internet]. Available from: <https://doi.org/10.1590/1807-3107BOR2015.vol29.0088>
39. Valera MC, Albuquerque MTP, Yamasaki MC, Vassallo FNS, da Silva DAESA, Nagata JY. Fracture resistance of weakened bovine teeth after long-term use of calcium hydroxide. *Dent Traumatol.* 2015 Oct;31(5):385–9.
40. Perdigão J, Francci C, Swift EJ Jr, Ambrose WW, Lopes M. Ultra-morphological study of the interaction of dental adhesives with carbamide peroxide-bleached enamel. *Am J Dent.* diciembre de 1998;11(6):291-301.
41. Rotstein I, Dankner E, Goldman A, Heling I, Stabholz A, Zalkind M. Histochemical analysis of dental hard tissues following bleaching. *J Endod.* enero de 1996;22(1):23-5.
42. The Effect of MIpaste Plus and Reminpro on Incipient Caries Using DIAGNOdent and SEM: An Invitro Study. *Journal of the National Medical Association.* 1 de septiembre de 2017;109(3):192-7.
43. Thaveesangpanich P, Itthagaran A, King NM, Wefel JS. The effects of child formula toothpastes on enamel caries using two in vitro pH-cycling models. *Int Dent J.* agosto de 2005;55(4):217-23.
44. ten Cate JM, Duijsters PPE. Alternating Demineralization and Remineralization of Artificial Enamel Lesions. *Caries Res.* 17 de noviembre de 2009;16(3):201-10.
45. Buzalaf MAR, Hannas AR, Magalhães AC, Rios D, Honório HM, Delbem ACB. pH-cycling models for in vitro evaluation of the efficacy of fluoridated dentifrices for caries control: strengths and limitations. *J Appl Oral Sci.* Jul-Aug de 2010;18(4):316-34.
46. Zegarra G, Susana C. Comparación del efecto in vitro de la microdureza en la superficie del Esmalte en bloques de dientes de bovino tratadas con Mi Varnishtm [Internet]. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC). Disponible en: <http://hdl.handle.net/10757/621205>
47. Website [Internet]. Disponible en: chrome-

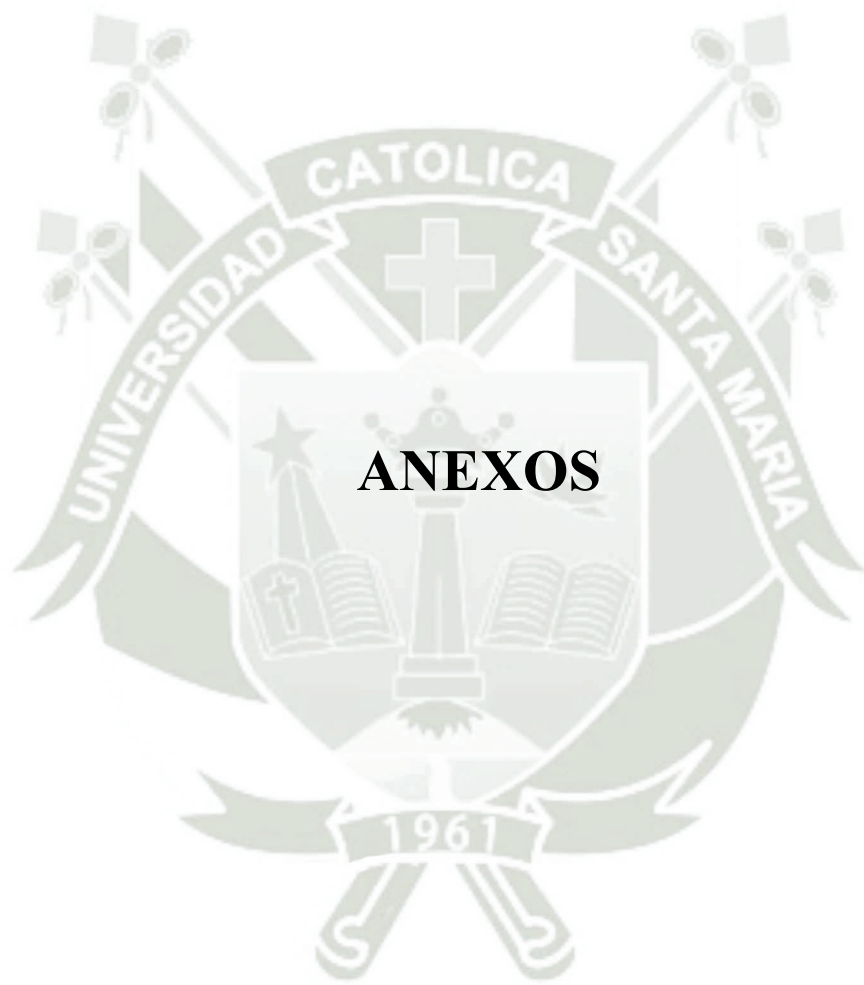
extension://efaidnbmnnnibpcajpcglefindmkaj/https://dspace.unitru.edu.pe/server/api/core/bitstreams/e3d8b18f-c5f4-4abb-a91b-41a6629b14e1/content

48. Guía Completa sobre Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) – Inclay [Internet]. [citado 20 de Mayo de 2025]. Disponible en: <https://www.inclay.com.co/guia-completa-sobre-microscopia-electronica-de-barrido-sem/>

49. Fourier Transform Infrared Spectroscopy. En: Developments in Clay Science. Elsevier; 2013. p. 213-31.

50. Cruz, P. (1998). Caracterización Físico - Química de una arcilla montmorillonita (chacko) y su evaluación como absorbente. Tesis para optar el grado de Magister. Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa, Perú.

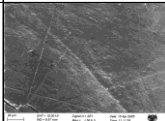
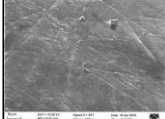
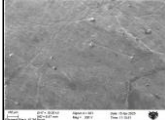
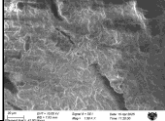
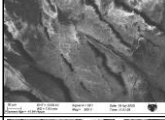
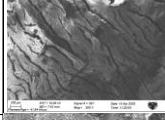
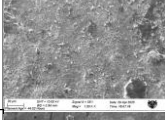
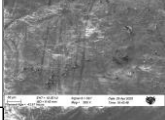
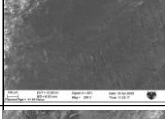
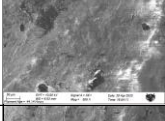
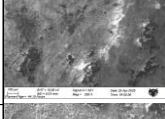
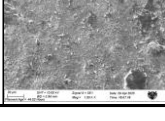
51. Preethi P N. Remineralizing agent -then and now -an update. Dentistry (Sunnyvale) [Internet]. 2014;04(09). Disponible en: <https://www.omicsonline.org/open-access/remineralizing-agent-then-and-now-an-update-2161-1122.1000256.php?aid=33229>.



**ANEXO N°1: MODELO DEL INSTRUMENTO**

<b>GRUPOS</b>	<b>MUESTRA</b>	<b>AUMENTO 200X</b>	<b>AUMENTO 500X</b>	<b>AUMENTO 1500X</b>
<b>ESMALTE SANO</b>	A1	Grietas por resequedad	Rayones en el esmalte compatibles con periquematis del esmalte dental	Superficie lisa
<b>ESMALTE DESMINERALIZADO</b>	A2	Superficie irregular Estructura panal de abeja	Grietas en la superficie del esmalte	Cambio significativo multiplicación de grietas en esmalte
<b>MI PASTE PLUS</b>	A4	Superficie presenta desprendimiento de Ca y P sin embargo se mantiene el producto remineralizante en la superficie del esmalte	Rayones por lesión superficial de macha blanca	Rayones, zonas porosas, superficie de esmalte Lisa
<b>ARCILLA CHACO</b>	A3	Superficie del esmalte lisa Zonas con residuos de material	Desprendimiento de capa superficial del esmalte	Zonas porosas, superficie lisa

ANEXO N°2: FICHA OBSERVACIONAL

GRUPOS		MICROFOTOGRAFÍAS SEM	AUMENTO X
G01	C01 ESMALTE SANO		1500 X
G01	C01 ESMALTE SANO		500 X
G01	C01 ESMALTE SANO		200 X
G02	C02 ESMALTE DESMIENRALIZADO		1500 X
G02	C02 ESMALTE DESMIENRALIZADO		500 X
G02	C02 ESMALTE DESMIENRALIZADO		200 X
G03	MP		1500 X
G03	MP		500 X
G03	MP		200 X
G04	CH20		500 X
G04	CH20		200 X
G04	CH20		1500 X

**ANEXO N°3: FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

<b>GRUPOS</b>	<b>ESPÉCTRUM</b>	<b>REMINERALIZACION A LOS 7 DIAS (Ca/P)</b>
<b>ESMALTE SANO</b>	1	15.64/9.94
	2	15.31/9.94
<b>MI PASTE PLUS</b>	1	15.06 / 9.12
	2	17.71/10.50
	3	15.06/9.12
<b>ARCILLA CHACO 20</b>	1	16.81/10.38
	2	19.40/11.75
<b>ESMALTE DESMINERALIZADO</b>	1	18.94/11.41
	2	20.09/11.51

## ANEXO N° 4: SOLICITUD DE CARTA DE PRESENTACIÓN PARA EJECUCIÓN DE PROYECTO DE TESIS

**Carta de presentación del proyecto dirigida al Vicerrectorado de  
Investigación para atención de Comité Institucional de Ética en  
Investigación**

Arequipa, 27 de Marzo de 2025

Señor Doctor:

**MAXIMO ORLANDO RONDÓN RONDÓN**

Vicerrector de Investigación

Universidad Católica de Santa María

Presente

De mi especial consideración

Presento ante usted mi proyecto, anexos, recibo de pago y formatos requeridos para la evaluación y dictamen del Comité institucional de ética de investigación de la Universidad Católica de Santa María del proyecto denominado:

**“POTENCIAL REMINERALIZANTE DE LA ARCILLA CHACO EN LESIONES INICIALES DE CARIES  
ESTUDIO IN VITRO”**

El autor es:

Mavila Yameli Palomino Catasi

Sin otro particular me despido a la espera de observaciones y dictamen.

Atentamente,



---

Investigador principal

**Nombres completos del Investigador:** Mavila Yameli Palomino Catasi

**Email:** palominocatasimavila@gmail.com

**Celular:** 992911045

**ANEXO N° 5: FICHA DE ASPECTOS ETICOS DE LA INVESTIGACION  
CON ANIMALES INFORMACION SOBRE INVESIGACIÓN CON ANIMALES**

<b>Título del estudio</b>	"POTENCIAL REMINERALIZANTE DE LA ARCILLA CHACO EN LESIONES INICIALES DE CARIES ESTUDIO IN VITRO"				
<b>Tipo de animal</b>	Bovino:Vaca				
<b>Género:</b>	Hembra <input checked="" type="checkbox"/> Macho <input checked="" type="checkbox"/>				
<b>Número de animales</b>	5				
<b>Peso</b>	-				
<b>Edad</b>	5 años				
<b>Existe la posibilidad de uso de modelos alternativos:</b> SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>					
<b>Justifique las razones de uso de animales de experimentación:</b> Los dientes de Bovino (incisivos) de la vaca son los mas parecidos a los dientes de los seres humanos por lo cual son utilizados ampliamente en odontología para experimentación					
<b>Estado del arte sobre similares estudios con uso de animales</b>	<b>Existen estudios similares</b>		<b>Incluya Referencias de estudios similares</b>		
	SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>		Fuente: <a href="https://upc.aws.openrepository.com/bitstream/handle/10757/621205/original.pdf?sequence=5&amp;isAllowed=y">https://upc.aws.openrepository.com/bitstream/handle/10757/621205/original.pdf?sequence=5&amp;isAllowed=y</a>		
<b>Justifique las razones de número de animales:</b> Cada Vaca presenta 6 dientes incisivos ,requiero para mi estudio 30 dientes					
<b>Efectos en los animales</b>	<b>Explicar medidas para aliviar</b>				
<b>Dolor</b>	Retirare los dientes de un camal en el cual desechan las mandíbulas de las vacas destinadas para consumo humano, es decir después de ser sacrificadas.				
<b>Estrés</b>					
<b>Lesiones</b>					
<b>PROCEDIMIENTOS CON ANIMALES DE EXPERIMENTACIÓN O SUS MUESTRAS</b>					
<b>Condiciones de alojamiento de los animales</b>	<b>Lugar</b>	<b>Luz</b>	<b>Alimento</b>	<b>Humedad</b>	<b>Temperatura</b>
	Casa	natural	-	Saliva artificial	Ambiente
<b>Sedación de animales</b>	<b>Medicamentos</b>	<b>Dosis</b>	<b>Cuidados</b>	<b>Métodos</b>	<b>Personal que hará la sedación</b>
	-	-	-	-	-
<b>Obtención de material biológico</b>	<b>Muestra a tomar</b>		<b>Métodos</b>		<b>Conservación para reutilizar en otros estudios</b>
	DIENTES INCISIVOS		EXTRACCIÓN /EXODONCIA CON FORCEP ESPECIAL PARA EL PROCEDIMIENTO		SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/>
<b>Eutanasia</b>	<b>Método</b>		<b>Número de animales</b>		<b>Justificación</b>
	-		5		consumo humano
<b>Manejo de desechos</b>	<b>Tipo de desecho</b>	<b>Muestras contaminadas con:</b>			<b>Medidas de control</b>
	Huesos: mandíbulas incisivos de bovino	<b>Químicos</b> SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>	<b>Microorganismos</b> SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/>		
<b>Seguridad para los animales</b>	<b>PROCEDIMIENTOS DE SEGURIDAD</b>				
	<b>Para evitar contagio con otros animales</b>	<b>Para reemplazo</b>		<b>Para reutilización</b>	
<b>Seguridad de investigador</b>	<b>Bioseguridad</b>		<b>Uso de EPP</b>		<b>Explique medidas de bioseguridad requiere el equipo de investigación</b>
	SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>		SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>		Guantes de exploración, lentes de protección mascarilla 3M, Mandil de laboratorio
<b>Relevancia de los resultados</b>	Los resultados me permitirán aplicar la arcilla chaco en dentición humana, cómo medida natural preventiva contra la enfermedad de caries dental				

**ANEXO N° 6: CONSTANCIA DE LABORATORIO**



Universidad Católica de Santa María

Dirección de Contabilidad  
Avenida San Jerónimo 516  
Arequipa - Arequipa - Arequipa  
<http://www.ucsm.edu.pe> (054)382038 ucsm@ucsm.edu.pe

**RUC 20141637941**  
**BOLETA DE VENTA**  
**ELECTRONICA**  
**B040 - 00007524**

Señor(es) : **PALOMINO CATASI, MAVILA**

DNI : **75619930**

Dirección : **AV.LOS ALAMOS|AREQUIPA**

Fecha : **29-ABR-2025**

Moneda : **SOLES**

Condiciones : **CONTADO**

Forma pago : **EFFECTIVO**

Cant.	Unidad	Descripción	P.Unitario	P.Total
1.00	SERVICIO	LAB. DE MICROSCOPIA ELECTRONICA Análisis por EDS composición elemental	480.000000	480.00





Universidad Católica de Santa María

Dirección de Contabilidad  
Avenida San Jerónimo 516  
Arequipa - Arequipa - Arequipa  
<http://www.ucsm.edu.pe> (054)382038 [ucsm@ucsm.edu.pe](mailto:ucsm@ucsm.edu.pe)

**RUC 20141637941**  
**BOLETA DE VENTA**  
**ELECTRONICA**  
**B040 - 00007525**

Señor(es) : **PALOMINO CATASI, MAVILA**  
DNI : **75619930**  
Dirección : **AV.LOS ALAMOS|AREQUIPA**

Fecha : **29-ABR-2025**  
Moneda : **SOLES**  
Condiciones : **CONTADO**  
Forma pago : **EFFECTIVO**

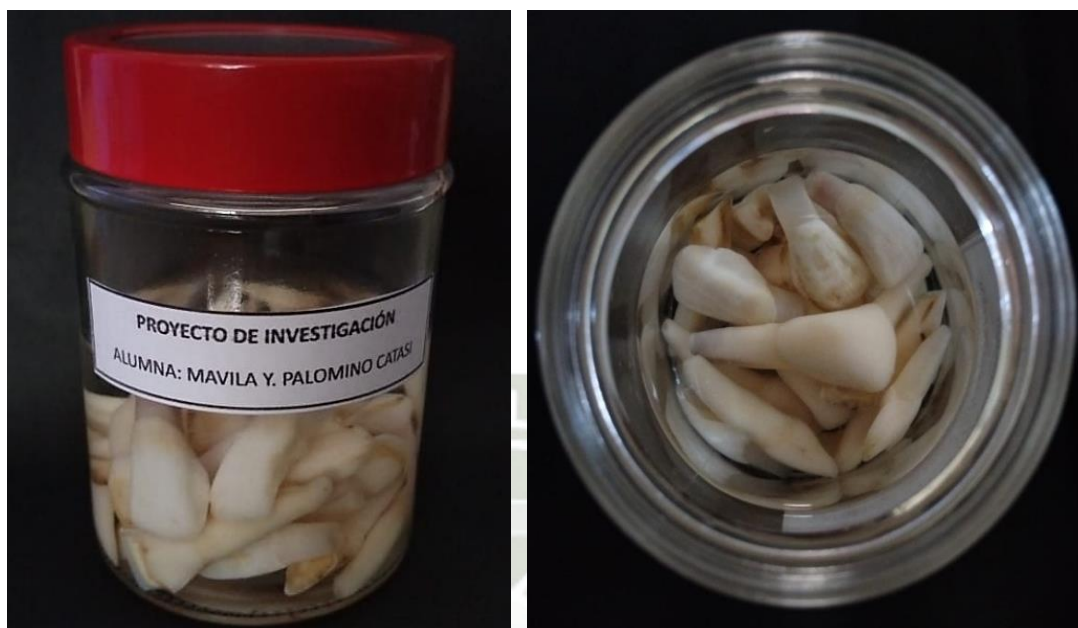
Cant.	Unidad	Descripción	P.Unitario	P.Total
1.00	SERVICIO	LAB. DE MICROSCOPIA ELECTRONICA -Metalizado de muestras (02 muestras) -Observación grandes aumentos con detector de electrones secundarios (01 hora)	410.000000	410.00





## **ANEXO N°7 EVIDENCIAS FOTOGRAFICAS**

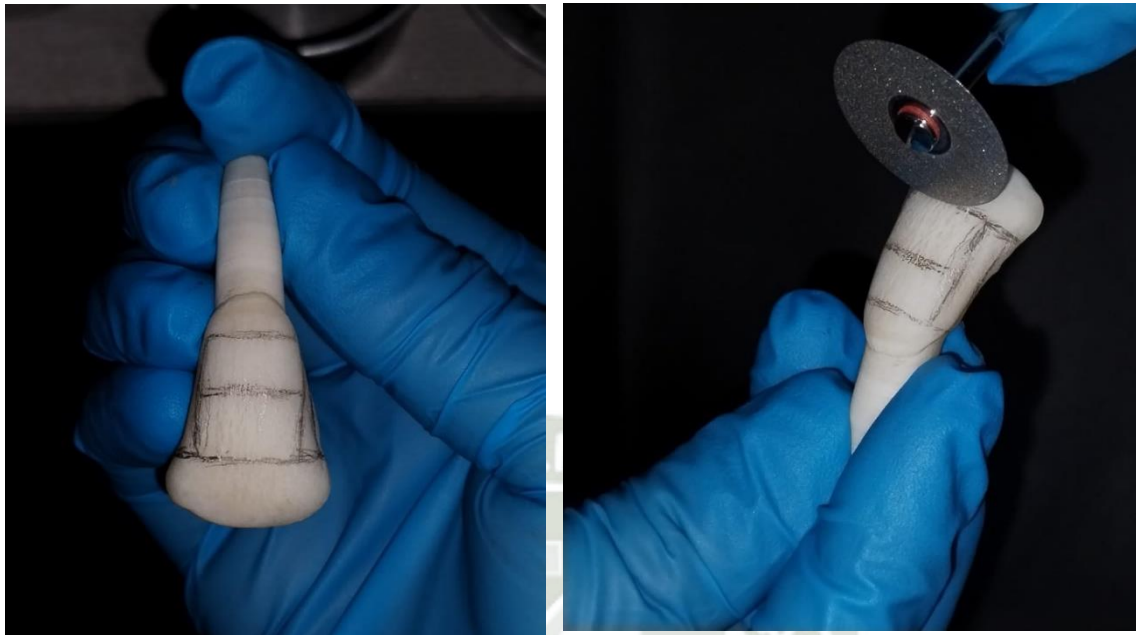
**Figura 5:**Recolección de incisivos de Bovino almacenados en suero fisiológico+cloro al 0.5%



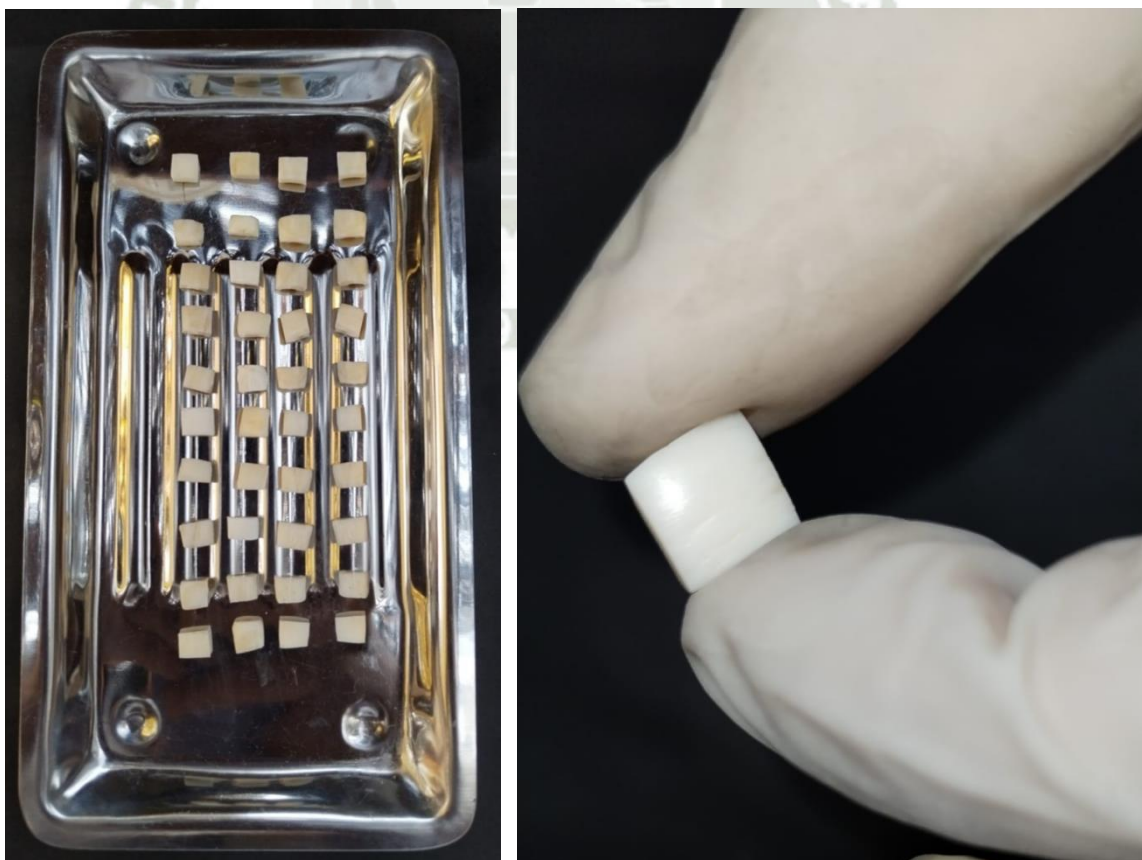
**Figura 6:**Selección de incisivos de Bovino.



**Figura 7:** Marcado y corte de Incisivos de Bovino seleccionados con disco diamantado.



**Figura 8:** Bloques de esmalte dental obtenidos de la cara vestibular.



**Figura 9:**Preparación de muestra de Arcilla Chaco.



**Figura 10:** Almacenamiento de Saliva Artificial en refrigeradora.



**Figura 11:** Aplicación de Ácido Láctico durante 72 horas, en estufa a temperatura de 37°C.



**Figura 12:** Aplicación de primer ciclo de desmineralización.



**Figura 13:** Aplicación de agente remineralizante Mi Paste Plus.



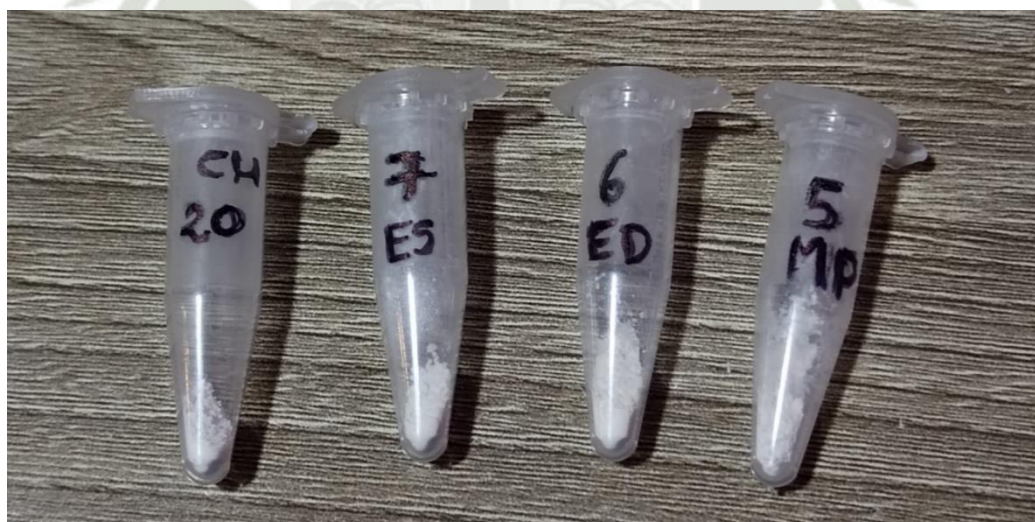
**Figura 14:** Lavado de muestras con agua destilada y secadas con papel toalla.



**Figura 15:** Aplicación de agente remineralizante Arcilla Chaco en las muestras.



**Figura 16:** Muestras en polvo para análisis en FTIR.



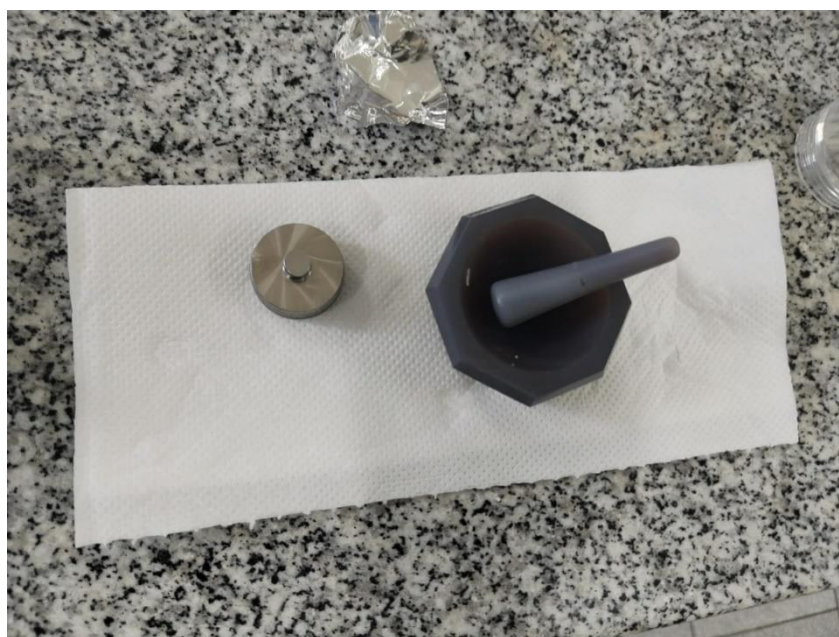
**Figura 17:** KBr (bromuro de potasio) previamente secado en la estufa.



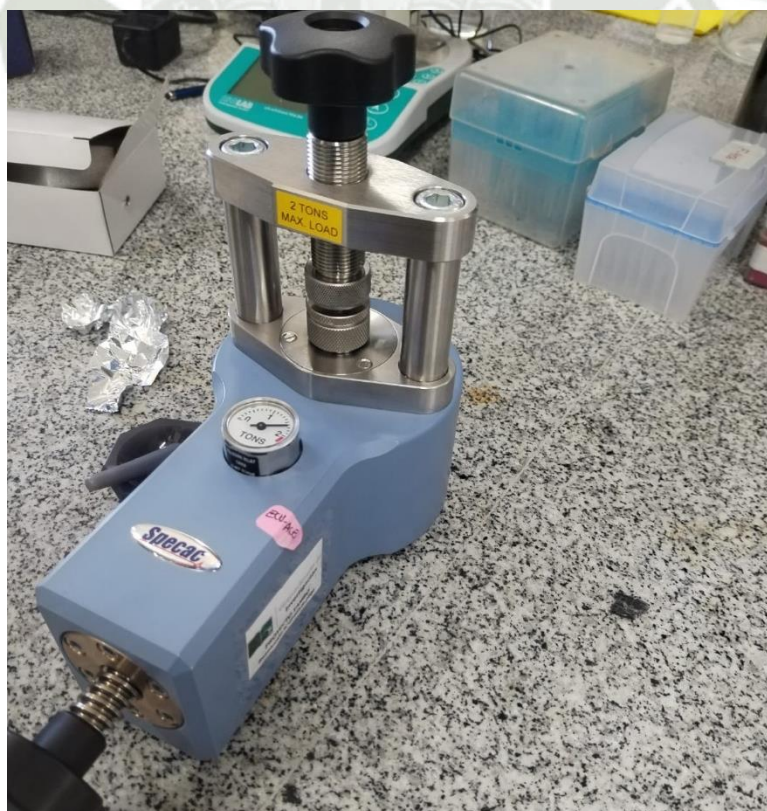
**Figura 18:** Pesado de 0.5 gr de muestra y 50 mg de KBr.



**Figura 19:**Mezclado en mortero de ágata para la preparación homogénea de la muestra con KBr.



**Figura 20:**Prensado de la muestra+KBr a 1.7 toneladas.



**Figura 21:** Formación de la pastilla o Pellet.



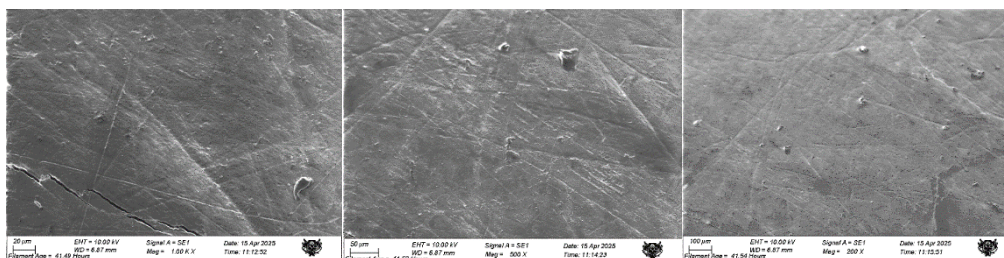
**Figura 22:** Colocación del pellet en el porta muestras del FTIR para su análisis.



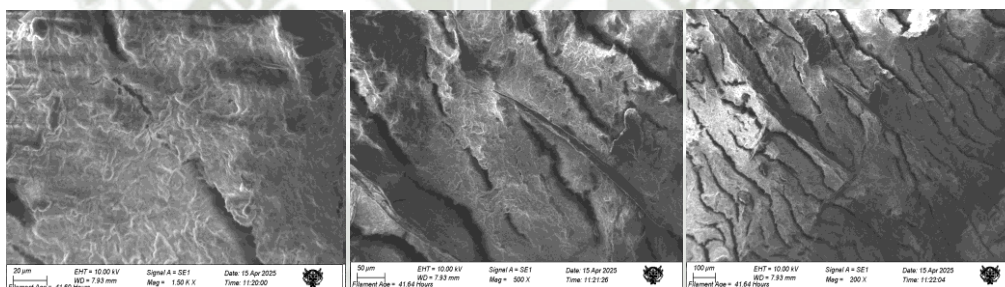


**ANEXO N°8 IMÁGENES  
SEM Y EDX**

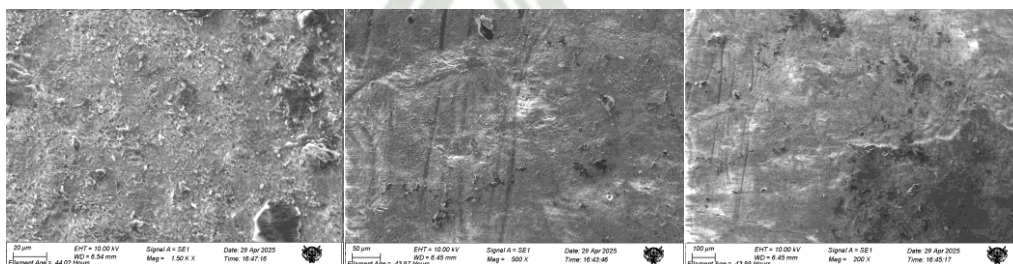
**Figura 23:**Fotografía del Microscopio electrónico de barrido G1 (ES)



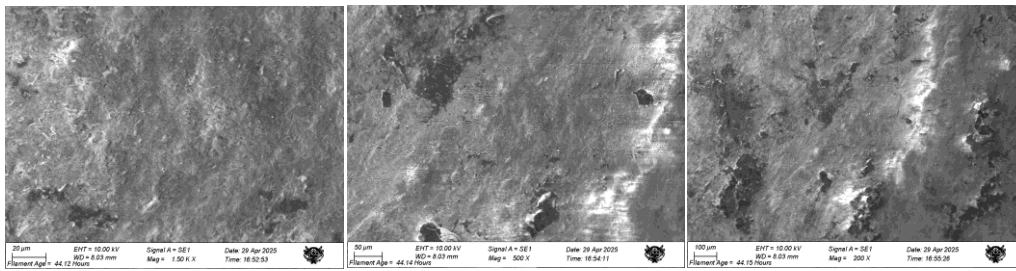
**Figura 24:**Fotografía del Microscopio electrónico de barrido G2 (ED)



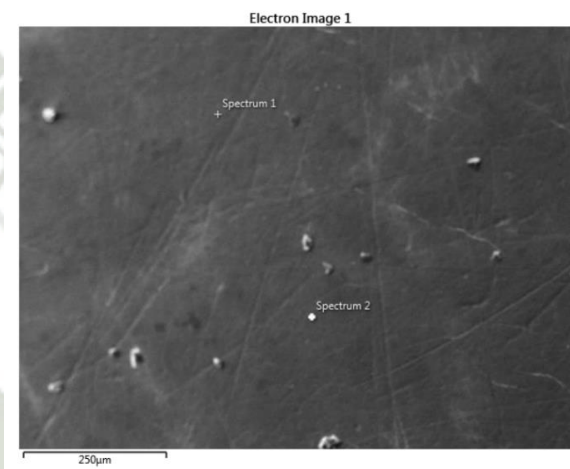
**Figura 25:**Fotografía del Microscopio electrónico de barrido G3 (MP)



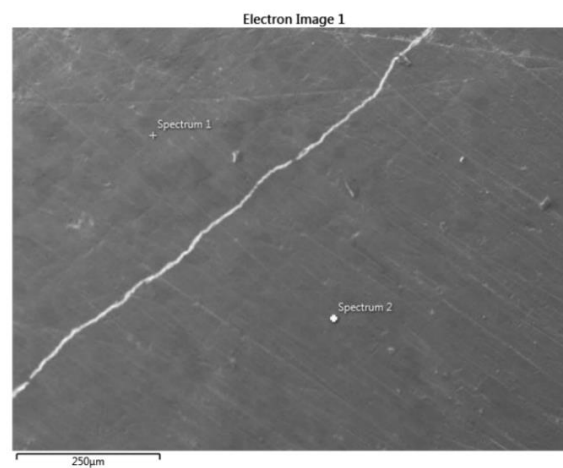
**Figura 26:**Fotografía del Microscopio electrónico de barrido G4 (CH)



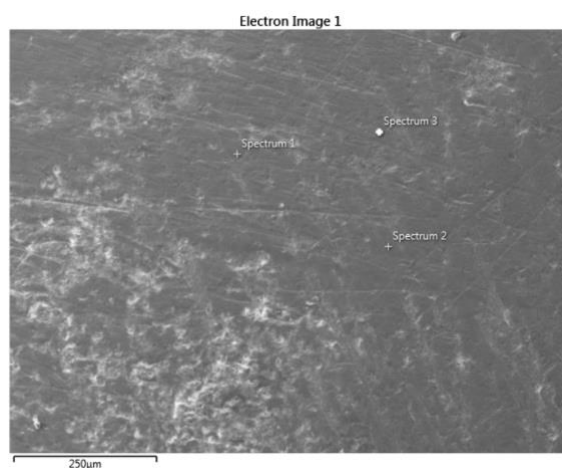
**Figura 27:**Fotografía del Spectrum G1 (ES)



**Figura 28:**Fotografía del Spectrum G2 (ED)



**Figura 29:**Fotografía del Spectrum G3 (MP)



**Figura 30:**Fotografía del Spectrum G4 (CH)

