



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO



FACULTAD DE ODONTOLOGÍA

CINÉTICA BUFFER DE COMPUESTOS DE CALCIO
UTILIZADOS EN ENDODONCIA.

T E S I N A

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

C I R U J A N O D E N T I S T A

P R E S E N T A:

VICTOR HUGO ROMO ORTIZ

TUTOR: Dr. MIGUEL ÁNGEL ARAIZA TÉLLEZ

ASESOR: Dr. CARLOS ANDRÉS ÁLVAREZ GAYOSSO



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

AGRADECIMIENTOS

A mis padres: que han sido mi apoyo, mi guía, mi modelo a seguir, mi inspiración y mi motor todos estos años, en mis mejores momentos como en la adversidad, estaré siempre en deuda por su motivación y la gran ayuda que me brindaron para que estudiara, me esforzara y saliera adelante académicamente, les doy las gracias por darme la vida, por su amor y educación, por siempre estaré muy agradecido, y para mí es honor y una alegría ser su hijo, los amo.

A mi hermana Melanie: que es nuestro ángel, que nos cuida y nos apoya desde el cielo, gracias por ser nuestro ejemplo de alegría, felicidad y de un gran corazón, siempre estarás presente en cada uno de nosotros.

A mi hermano Roberto: que ha sido mi compañero de muchas alegrías, peleas y juegos, juntos hemos superado momentos adversos y nuestras diferencias, doy gracias a la vida por tenerte como hermano y enseñarme más de lo que yo he podido enseñarte, te amo.

A mis amigos: Alejandro, Adrián, Samuel y Erick les agradezco por sus locuras, ocurrencias, hacer de mi etapa de bachillerato y universidad divertida y por su ayuda incondicional, ustedes son el ejemplo de lealtad, los amo.

A mis tíos Rosa y Arturo: que fueron mi gran apoyo y guía para concluir mi bachillerato.

A mis primas Yazmin y Yareli: que estuvieron al pendiente de mí y me cuidaron como a un hermano.

A mi tutor el Dr. Miguel Ángel Araiza Téllez: que desde el primer día que lo conocí me brindó su ayuda, consejos, me compartió parte de su conocimiento,

me guió en mi proceso de titulación y sobre todo porque me aportó cosas positivas para mi superación personal y escolar.

A mi asesor el Dr. Carlos Andrés Álvarez Gayosso el cual me brindó su apoyo y facilidades para que lograra concluir mi trabajo de investigación.

UNAM: que fue la casa de estudios que me brindó todo para poderme superar académicamente desde mi primer año de bachillerato hasta alcanzar mi último año de licenciatura, estaré siempre agradecido por ser parte de esta gran universidad.

Índice

Introducción.....	1
Óxido de calcio	2
Hidróxido de calcio	4
Uso del hidróxido de calcio en endodoncia.....	5
Medicación intraconducto	7
Materiales empleados en el tratamiento endodóntico	8
P-monoclorofenol alcanforado (PMCF-A)	8
Formocresol	9
Eugenol	9
Agregado de trióxido mineral (MTA).....	10
Hidróxido de calcio.....	10
Infección endodóntica.....	12
Microorganismos en procesos infecciosos	15
pH.....	16
Influencia de pH en el proceso de reparación.....	19
pH de zona infectada	21
Planteamiento del problema	24
Justificación.....	25
Hipótesis.....	26
Hipótesis verdadera.....	26
Hipótesis nula	26
Objetivos	26
Objetivo general	26
Objetivos específicos.....	26

Materiales y método.....	27
Materiales	27
Equipo.....	27
Instalaciones.....	27
Método.....	28
Elaboración de saliva.....	28
Medición de viscosidad.....	29
Modelo de cinética de reacción	30
Resultados	35
Discusión.....	61
Conclusiones.....	65
Referencias bibliográficas.....	66

Índice de figuras

Fig. 1.- Escala de pH.	17
Fig. 2.- Fórmula de pH.	18
Fig. 3.- Valor de pH en función de la relación de concentración de Hidronio e Hidroxilo.	19
Fig. 4.- Saliva artificial, viscosidad 1:1.....	28
Fig. 5.- Saliva artificial, viscosidad 1:1.5.....	28
Fig. 6.- Saliva artificial, viscosidad 1:2.....	28
Fig. 7.- Viscosímetro Brookfield™ RV	30
Fig. 8.- Aguja # 1.....	30
Fig. 9.- Vista para medición	30
Fig. 10.- Tabla de conversión	30
Fig. 11.- Hidróxido de sodio Na(OH)	31
Fig. 12.- Ácido acético	31
Fig. 13.- Medición de los 100mL de la solución ácida	32
Fig. 14.- Agitador magnético.....	32
Fig. 15.- Compuestos de calcio.	32
Fig. 16.- Balanza analítica.	32
Fig. 17.- 0.172 g de Ca(OH) ₂ y CaO.....	33
Fig. 18.- Medición de pH.....	33
Fig. 19.- Medición de temperatura.....	33

Índice de tablas

Tabla 1.- Promedio de pH de pus aspirado en abscesos periapicales	22
Tabla 2.- Viscosidad 1:1 (N=90).....	35
Tabla 3.- Viscosidad 1:1.5 (N=90).....	36
Tabla 4.- Viscosidad de solución 1:2 (N=90).....	36
Tabla 5.- Promedio de viscosidad	37
Tabla 6.- Valores promedios del pH de la reacción de hidrólisis en solución de saliva con CMC al 1:1 y con diferente pH inicial.	38
Tabla 7.- Valores promedios del pH de la reacción de hidrólisis en solución de saliva con CMC al 1:1.5 y con diferente pH inicial.	39
Tabla 8.- Valores promedios del pH de la reacción de hidrólisis en solución de saliva con CMC 1:2 y con diferente pH inicial.	40
Tabla 9.- Comparación de medias U Mann-Whitney ($p<0.05$)	42

Índice de gráficas

Gráfica 1.- Cinética de reacción en solución con viscosidad 1:1 y pH 7.0 con corte a 240 minutos y tendencia de reacción.....	43
Gráfica 2.- Cinética de reacción en solución con viscosidad 1:1, pH 7.0 durante 540 minutos de experimentación.....	43
Gráfica 3.- Promedio de cinética de reacción en solución, viscosidad 1:1, pH 7.0..	44
Gráfica 4.- Cinética de reacción en solución con viscosidad 1:1 y pH 6.8 con corte a 290 minutos y tendencia de reacción.....	45
Gráfica 5.- Cinética de reacción en solución con viscosidad 1:1, pH 6.8 durante 540 minutos de experimentación.....	45
Gráfica 6.- Promedio de cinética de reacción en solución, viscosidad 1:1, pH 6.8..	46
Gráfica 7.- Cinética de reacción en solución con viscosidad 1:1 y pH 6.2 con corte a 300 minutos y tendencia de reacción.....	47
Gráfica 8.- Cinética de reacción en solución con viscosidad 1:1, pH 6.2 durante 540 minutos de experimentación.....	47
Gráfica 9.- Promedio de cinética de reacción en solución, viscosidad 1:1 pH 6.2...	48
Gráfica 10.- Cinética de reacción en solución con viscosidad 1:1.5 y pH 6.8 con corte a 220 minutos y tendencia de reacción.....	49
Gráfica 11.- Cinética de reacción en solución con viscosidad 1:1.5, pH 6.8 durante 540 minutos de experimentación.	49
Gráfica 12.- Promedio de cinética de reacción en solución, viscosidad 1:1.5, pH 6.8	50
Gráfica 13.- Cinética de reacción en solución con viscosidad 1:1.5 y pH 6.6 con corte a 310 minutos y tendencia de reacción.	51
Gráfica 14.- Cinética de reacción en solución con viscosidad 1:1.5, pH 6.6 durante 540 minutos de experimentación.	51
Gráfica 15.- Promedio de cinética de reacción en solución, viscosidad 1:1.5 pH 6.6	52
Gráfica 16.- Cinética de reacción en solución con viscosidad 1:1.5 y pH 6.2 con corte a 222 minutos y tendencia de reacción.....	53

Gráfica 17.- Cinética de reacción en solución con viscosidad 1:1.5, pH 6.2 durante 540 minutos de experimentación.	53
Gráfica 18.- Promedio de cinética de reacción en solución, viscosidad 1:1.5 pH 6.2	54
Gráfica 19.- Cinética de reacción en solución con viscosidad 1:2 y pH 7.0 con corte a 190 minutos y tendencia de reacción.....	55
Gráfica 20.- Cinética de reacción en solución con viscosidad 1:2, pH 7.0 durante 540 minutos de experimentación.....	55
Gráfica 21.- Promedio de cinética de reacción en solución, viscosidad 1:2 pH 7.0.	56
Gráfica 22.- Cinética de reacción en solución con viscosidad 1:2 y pH 6.6 con corte a 330 minutos y tendencia de reacción.....	57
Gráfica 23.- Cinética de reacción en solución con viscosidad 1:2, pH 6.6 durante 540 minutos de experimentación.....	57
Gráfica 24.- Promedio de cinética de reacción en solución, viscosidad 1:2 pH 6.6.	58
Gráfica 25.- Cinética de reacción en solución con viscosidad 1:2 y pH 6.2 con corte a 250 minutos y tendencia de reacción.....	59
Gráfica 26.- Cinética de reacción en solución con viscosidad 1:2, pH 6.2 durante 540 minutos de experimentación.	59
Gráfica 27.- Promedio de cinética de reacción en solución, viscosidad 1:2 pH 6.2.	60

Introducción

Este trabajo es un estudio experimental el cual describe el comportamiento en la cinética de reacción de los compuestos de calcio, el hidróxido de calcio $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$ y óxido de calcio (CaO), comparados entre sí, en diferentes soluciones ácidas, el cual se realizó en el Laboratorio de Investigación de Materiales Dentales y Biomateriales de la DEPEI, Facultad de Odontología, UNAM.

Existen algunos estudios que hablan acerca del comportamiento de la cinética de reacción del hidróxido de calcio obteniendo que su efecto va desde el día uno a semanas incluso cercano a un mes, pero con diferentes métodos al que se empleó en este trabajo.

En este estudio se describe el óxido de calcio y en especial de su cinética de reacción comparado con el hidróxido de calcio; sin embargo, en nuestro conocimiento no hay estudios que refieran acerca de este comportamiento.

Ya que guardan similitudes en su composición y se sabe que son compuestos alcalinos se realizó la comparación entre ellos y conocer si existen diferencias estadísticamente significativas en función de su cinética de reacción.

Se analizaron las diferencias que tienen en función del tiempo, viscosidad y pH de las soluciones ácidas.

La información que proporciona este estudio será importante para saber cuál de los dos compuestos tiene un mejor comportamiento en las soluciones ácidas y si el óxido de calcio será capaz de tener un efecto similar al hidróxido de calcio.

Antecedentes

Óxido de calcio

El óxido de calcio es un material que, en su estado impuro, se le conoce como “*cal viva*”. El óxido de calcio es una sustancia muy reactiva, con el agua se transforma en hidróxido de calcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$ y desprende mucho calor. Se debe almacenar en recipientes cerrados herméticamente, para que no reaccione con la humedad y con el ácido carbónico del aire, pues pasaría de hidróxido de calcio a carbonato de calcio, que no tiene las propiedades del óxido de calcio.¹

El óxido de calcio (**cal**) es un sólido sin olor, de color blanco a gris. Se emplea en materiales de fabricación, el procesamiento de metales, la agricultura y el tratamiento de aguas residuales.²

En el ciclo de la cal, la piedra caliza (CaCO_3) constituye en su estado natural el punto de partida obligado para la fabricación de productos de cal. En el siglo XVIII, los trabajos de Smeaton condujeron al conocimiento científico sobre las propiedades de la cal hidráulica, lo que derivó en la tecnología y la patente del cemento Portland.³

Una vez calcinada la piedra caliza y convertida en *cal viva*, se deben tomar una serie de precauciones ya que el óxido de calcio (CaO), es un producto químico muy susceptible a la humedad ambiente (higroscópico). La *cal viva* debe ser almacenada en sitios herméticos a prueba de aire, ya que en su presencia y contacto se produce lo que se llama “apagado aéreo”, proceso que deteriora la calidad de la cal viva. El “apagado aéreo”, es el proceso en el cual, la *cal viva* (CaO) a temperatura ambiente, capta la humedad presente en el ambiente, convirtiéndose en $\text{Ca}(\text{OH})_2$. La cal apagada no es muy reactiva y tiene partículas de hidróxido de calcio muy grandes. Se recomienda que la *cal*

viva, sea almacenada por el fabricante el menor tiempo posible para minimizar el “apagado aéreo”.¹

El “apagado aéreo” toma tiempo, no es una reacción rápida. Aunque la humedad del aire eventualmente hará un “apagado aéreo” de la cal, este tomará días o semanas de exposición para que esta reacción química pueda suceder. En los sistemas donde quede cal remanente en el sitio, por semanas y/o meses, el “apagado aéreo” tendrá un efecto evidente en la calidad de la cal hidratada. Sin embargo, cuando el consumo de cal es alto y varios camiones con cal son descargados diariamente, el tiempo de exposición de la cal a la humedad del aire es muy corto para afectar evidentemente la calidad de la cal. La exposición de la *cal viva* a una atmósfera que contenga un alto porcentaje de CO₂, debe ser evitado también. El CO₂ presente en el aire será absorbido por la *cal viva* y se convertirá a su forma original de caliza CaCO₃. Esta conversión se acelera con temperaturas elevadas.¹

Una *cal viva* apropiadamente calcinada es muy porosa y suave, y puede ser molida presionándola entre dos dedos. Este tipo de *cal viva* se degradará fácilmente durante su almacenamiento y transporte al sitio de consumo, y también pasará lo mismo, durante el proceso de carga neumática al interior de los sitios. En la medida que la partícula de *cal viva* se hace más pequeña por su manipulación, el área superficial de las partículas de la cal se incrementa. Este incremento de área superficial de las partículas cuando son expuestas a la humedad del aire, también incrementa el “apagado aéreo”, dando como resultado una disminución de la calidad de la *cal viva*.

Clasificación por tamaño

Hay muchos tamaños disponibles de cal ofrecidos por los diferentes fabricantes de *cal viva*, los tamaños más comunes son los siguientes¹:

- Cal pulverizada (Pulverizad quicklime) 100 % - 200 Mallas
- Cal molida (Crushed Lime) 0 x 1/8"
- Cal granulada (Rice Lime) 1/8" x 1/4"
- Cal en guijarros (Pebble Lime) 3/4" x 1/4"

Hidróxido de calcio

Herman, en 1920 introdujo el hidróxido de calcio como agente endodóntico antimicrobiano. Desde entonces, dadas sus propiedades, fue utilizado en numerosos escenarios clínicos en forma de pastas, barnices, resinas y selladores endodónticos.⁴

Composición

El Ca(OH)_2 es un polvo blanco que se obtiene por calcinación del carbonato de calcio y su transformación en óxido de calcio. Con la hidratación de óxido de calcio se obtiene el Ca(OH)_2 : $\text{CO}_3 \text{Ca} \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$, $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca(OH)}_2$; además este polvo granular, amorfo y fino posee marcadas propiedades básicas, su pH es muy alcalino, aproximadamente 12.4, su disociación iónica en iones calcio e iones hidroxilo, que explica su acción sobre los tejidos, posee valiosas cualidades desde el punto de vista biológico, antimicrobiano y mineralizador.⁵

Propiedades

Cuando el Ca(OH)_2 se disuelve en agua, se disocia en iones OH^- y Ca^{2+} , la presencia del ion OH^- hace que la solución se torne alcalina. Este incremento del pH le da la cualidad de bactericida e inhibe la actividad osteoclástica. De acuerdo con Tronstad el mecanismo de acción del hidróxido de calcio es un atributo directo a su capacidad de disociación en iones calcio e hidroxilos, resultando en un aumento del pH local produciendo un ambiente alcalino por la difusión a través de los túbulos de dentina, la eliminación de las bacterias

mediante la utilización de hidróxido de calcio depende de la disponibilidad de iones hidroxilos en la solución.⁴

El hidróxido de calcio ejerce un efecto antibacteriano eficaz mientras mantiene un elevado pH; es esperado entonces que éste provea un fuerte efecto antibacteriano cuando es utilizado en las aplicaciones intraconducto como medicación temporal.⁴

Las propiedades del medicamento Ca(OH)_2 están influenciadas principalmente por los vehículos utilizados, ya sean acuosos, viscosos u oleosos. La desventaja de los vehículos viscosos es la liberación rápida de iones; sin embargo, la citotoxicidad, inmunogenicidad, y la baja carga de Ca(OH)_2 , dificultan la remoción y limitan la aplicación de vehículos aceitosos.⁶

El Ca(OH)_2 puede mostrar altos efectos citotóxicos cuando está en contacto directo con tejidos, debido a la alta alcalinidad causada por su liberación rápida. La liberación rápida de iones y baja carga de Ca(OH)_2 limitan los efectos antibacterianos y la biomineralización. La función principal del Ca(OH)_2 es proporcionar actividad antimicrobiana.

Esta actividad en las células bacterianas es probablemente causada por los siguientes mecanismos ⁶ :

- Daño a la membrana citoplasmática bacteriana.
- Desnaturalización de proteínas.
- Daño en el ADN.

Uso del hidróxido de calcio en endodoncia

El hidróxido de calcio ha sido el medicamento intraconducto recomendado para revertir o detener el proceso de reabsorción, en casos donde la pulpa de un diente traumatizado es dañada y se indica el tratamiento de conductos, por

ejemplo la extirpación de la pulpa y la colocación del hidróxido de calcio en el conducto radicular durante 6 y 24 meses para apexogénesis y apicoformación y de 7 a 14 días en caso de infección. Esberard ⁷ cita a Tronstad el cual sugirió que el hidróxido de calcio colocado en el conducto radicular eleva el pH, produciendo un ambiente alcalino en áreas de reabsorción radicular por la difusión de iones hidroxilo a través de los túbulos dentinarios. El aumento del pH provoca que sea bactericida, y que inhiba también la actividad osteoclástica, para que el hidróxido de calcio actúe eficazmente como un medicamento intraconducto y así prevenir la resorción externa, los iones del hidróxido de calcio se deben poder difundir a través de la dentina.⁷

El hidróxido de calcio se ha utilizado tradicionalmente como un medicamento intraconducto debido a su pH alcalino alto, este material tiene la capacidad de eliminar microorganismos y neutralizar las endotoxinas. Aunque este protocolo de tratamiento ha sido ampliamente aceptado y tiene un gran éxito, parece también plantear ciertas desventajas. La terapia a largo plazo del $\text{Ca}(\text{OH})_2$ puede aumentar la susceptibilidad a la fractura, así como la demanda de alta cooperación y motivación por parte del paciente debido a la necesidad de múltiples citas durante un tiempo prolongado.⁸

Los vehículos inertes asociados con $\text{Ca}(\text{OH})_2$ pueden ser ineficaces para eliminar *Enterococcus faecalis*, una bacteria aislada en infecciones persistentes del conducto radicular, presentando resistencia a pH alcalino. Además, la capacidad de este microorganismo para adherirse, su colonización y formación de biopelículas favorece las asociaciones con otras especies. El vehículo mezclado con el hidróxido de calcio determina la velocidad de disociación iónica, solubilidad y difusión, y aunque algunos vehículos proporcionan una disociación más rápida y consecuentemente una alcalinidad más rápida de la dentina y de los tejidos apicales y periapicales, puede hacer la pasta más cáustica y agresiva en contacto directo con los tejidos. Sin

embargo, la liberación controlada de iones Ca^{2+} y OH^- a la región apical y el tejido periapical contribuye a su reparación.⁹

Medicación intraconducto

La eliminación de tejido enfermo y de bacterias presentes en los conductos radiculares y túbulos dentinarios, y la prevención de la nueva contaminación después del tratamiento son la finalidad. Los objetivos del tratamiento de conductos son¹⁰: limpieza, modelado y desinfección a fondo del sistema de conductos radiculares; sellar los conductos radiculares con una obturación tridimensional y rehabilitar colocando una corona.

Debido a la complejidad de los sistemas de conductos y la actual incapacidad para instrumentar todas las superficies de las paredes, es imposible lograr la eliminación o destrucción de todas las bacterias. Ante este problema se han propuesto varios medicamentos para la desinfección de los conductos radiculares. Algunos incluyen agentes fijadores como el p-monoclorofenol alcanforado, formocresol, la cresatina, el yoduro y el hidróxido de calcio son los principales medicamentos intraconducto.¹⁰

Estos medicamentos son potentes agentes antibacterianos en condiciones de ensayo de laboratorio; sin embargo, su efectividad en el uso clínico es impredecible. Según algunos investigadores, también neutralizan y hacen que los restos de tejidos del conducto sean inertes, algunos contienen derivados de aldehídos que se utilizan para fijar los tejidos frescos en técnicas histológicas; sin embargo, pueden no fijar eficazmente tejido necrótico o descompuesto, Torabinejad ¹⁰ cita en su trabajo a Wesselink, el cual describe que los tejidos fijados no son inertes y pueden volverse más tóxicos y antigénicos después de la fijación. Para desinfectar eficazmente el sistema de conductos radiculares, el irrigante o la medicación intraconducto debe contar con las siguientes características¹⁰:

- Debe ser capaz de eliminar completamente la capa de frotis.

- Debe ser capaz de desinfectar la dentina y sus túbulos.
- Debe tener efecto antibacteriano continuo después de utilizarlo.
- Debe permitir la penetración de agentes antimicrobianos en los túbulos.
- No debe ser antigénico, tóxico y carcinogénico, a las células del tejido circundantes al diente.
- No debe tener efectos adversos en las propiedades de la dentina expuesta.
- No debe tener ningún efecto adverso sobre la capacidad de sellado de los materiales de obturación.
- No debe decolorar el diente.
- Debe tener aplicación conveniente.
- Debe ser relativamente barato.

Materiales empleados en el tratamiento endodóntico

p-monoclorofenol alcanforado (PMCF-A)

El paramonoclorofenol alcanforado que Walkhoff introdujo en 1929, ha sido utilizado por más de 70 años en las más variadas concentraciones como medicación entre sesiones de tratamiento de conductos radiculares. Sin embargo, su uso disminuyó considerablemente en los últimos años, a medida que aumentaba el del hidróxido de calcio.¹¹

Presenta una doble función antiséptica, basada en la función fenólica y en la presencia del cloro, liberado con lentitud durante el uso. El alcanfor, con el que se asocia, además de servir como vehículo, disminuye la acción irritante del derivado fenólico. El p-monoclorofenol es un compuesto fenólico extensamente utilizado como medicación intraconducto, tiene fuerte efecto antibacteriano *in vitro*, pero *in vivo* no ha mostrado ser efectivo. Es volátil, su acción es a distancia y cuando es aplicado en una torunda de algodón dentro

de la cámara pulpar, es rápidamente eliminado, especialmente cuando entra en contacto con los fluidos de los tejidos, si el p-monoclorofenol no es efectivo en este período, las bacterias sobreviven y pueden multiplicarse dentro de los sistemas de conductos radiculares. En un estudio clínico el p-monoclorofenol fue menos efectivo que el hidróxido de calcio y la clorhexidina además de mostrar que su actividad es de múltiples dosis.¹¹

Formocresol

El formocresol, fue introducido para el tratamiento pulpar en 1904 por Buckley, quien sostenía que partes iguales de formol y tricresol reaccionarían químicamente con los productos intermedios y finales de la inflamación pulpar, para formar un nuevo compuesto, incoloro y de naturaleza inocua. Es un aldehído que está constituido por formaldehído (19%), un clásico fijador histológico, el cual es mutagénico y carcinogénico a grandes dosis, cresol (35%), glicerina (15%) y agua destilada. Es un líquido oleoso que tiene un olor picante, por la presencia de formalina, se trata de un antiséptico muy empleado en endodoncia, especialmente en las pulpotomías de dientes primarios, a pesar de la controversia acerca de su potencial carcinogénico y mutagénico.¹¹

Se ha utilizado como un fijador de tejidos, especialmente en la biopulpectomías parciales en los dientes temporales, y con la intención de aliviar el dolor, efecto no demostrado. Por otro lado, la fijación de los tejidos no los vuelve inertes, pudiendo seguir actuando como irritantes y dificultando la reparación apical. Las tasas de éxito clínico en pulpotomías de dientes primarios con formocresol han variado desde 55% hasta 98%. Los fracasos del tratamiento en estos estudios se describen como la resorción interna y externa, así como la formación de abscesos.¹¹

Eugenol

El eugenol es un compuesto fenólico de color amarillo claro, principal componente de la esencia de clavo (80%). Tiene propiedad antiséptica

escasa, actúa como sedante y puede inhibir los impulsos nerviosos. Por ser acentuadamente irritante está contraindicado en las biopulpectomias, pues puede causar la necrosis del muñón pulpar e inflamación periapical, tampoco es indicado para las necropulpectomias, por no tener acción bactericida suficiente.¹¹

Agregado de trióxido mineral (MTA)

El agregado de trióxido mineral (MTA, por sus siglas en inglés) como material de relleno del ápice de la raíz se introdujo en endodoncia por Torabinejad y colaboradores en 1993. Se demostró que el MTA tiene un sellado excelente, promovía la actividad de los osteoblastos, era menos citotóxico que la amalgama, IRM o SuperEBA y tuvo un efecto antimicrobiano. Resultados de los estudios de MTA en perros y monos mostraron que el MTA causó significativamente menos inflamación que la amalgama.¹²

El MTA parece ser el material dental más prometedor para el tratamiento de perforaciones u otra comunicación entre las vías de la pulpa dental y el periodonto. El MTA es ampliamente utilizado, principalmente como un tapón apical (root-end), como un material de relleno, también para la reparación de una perforación y corte de pulpa. Es una mezcla de un refinado del cemento Portland, un material comúnmente utilizado en construcciones, también se han reportado otros ingredientes en el polvo como el óxido de bismuto, silicato tricálcico, aluminio tricálcico, trióxido de calcio y el óxido de silicato.¹³

Hidróxido de calcio

El hidróxido de calcio es una base fuerte que se presenta como un polvo blanco, poco soluble, biocompatible, de alta capacidad antimicrobiana y con capacidad de inducir la formación de una barrera mineralizada promoviendo la reparación tisular.¹⁴

Frank en 1966, fue el primero en describir en la literatura, la utilización del hidróxido de calcio con el objetivo de promover el cierre apical. Según Narita,

el hidróxido de calcio puede estimular la diferenciación de células mesenquimales indiferenciadas en cementoblastos y odontoblastos, lo que llevaría a la producción de una matriz cementoide y osteoide para completar la formación de la raíz dental.¹⁴

Las aplicaciones en endodoncia ⁵ son:

- *Acción antiinflamatoria:* debido a su acción higroscópica, previene la salida de exudado desde los vasos sanguíneos hacia los ápices, y por la inhibición de la fosfolipasa con lo cual disminuye la lisis celular y consecuentemente la liberación de prostaglandinas.
- *Capacidad de desnaturalizar e hidrolizar proteínas:* destruyendo dentro del conducto el tejido blando remanente, haciéndolo más limpio.
- *Solución irrigadora (lechada):* indicada en biopulpectomías. Es altamente hemostático y no provoca el efecto rebote en los vasos sanguíneos como sucede con la adrenalina y la noradrenalina.
- *Tratamiento de dientes con desarrollo radicular incompleto:* la inducción a la formación del ápice radicular representa el empleo más importante del $\text{Ca}(\text{OH})_2$, para lo que se deben tener en cuenta las indicaciones precisas. El $\text{Ca}(\text{OH})_2$ junto a la preparación mecánica, creará el ambiente adecuado para que las células diferenciadas del periápice produzcan el cierre apical mediante la elaboración de un tejido que posteriormente se remineraliza.
- *Fracturas radiculares:* El tratamiento inicial con $\text{Ca}(\text{OH})_2$ tiene un pronóstico muy bueno, se recomienda la obturación del conducto radicular con el mismo, luego de haber sido alineados los fragmentos fracturados.
- *Luxaciones y avulsiones:* en las luxaciones se debe realizar el tratamiento endodóntico lo antes posible, rellenando el conducto con $\text{Ca}(\text{OH})_2$, el cual se cambia cada mes durante un año en los

dientes con ápices formados y se realiza una técnica de Frank en dientes con ápices abiertos; en las avulsiones después de eliminada la pulpa y luego de siete a 14 días de ocurrida, se debe rellenar el conducto con Ca(OH)_2 cada tres meses durante un período entre 12 y 18 meses.

- *Perforaciones radiculares*: se usa el poder de mineralización del Ca(OH)_2 , lo que puede conducir a la formación de una barrera de tejido duro. El Ca(OH)_2 se recomienda para la reparación de estas alteraciones gracias a su capacidad osteogénica y elevado pH.
- *Recubrimiento pulpar indirecto*: consiste en hacer actuar un medicamento sobre la pulpa todavía cubierta de dentina, de esta forma se conserva y estimula a la formación de dentina secundaria. El Ca(OH)_2 produce protección mediante sus propiedades antibacterianas y su capacidad para reducir la permeabilidad dentinaria, ningún fármaco tiene el poder del Ca(OH)_2 y aunque quede dentina alterada siempre será mejor la protección indirecta que la directa.
- *Recubrimiento pulpar directo*: El hidróxido de calcio es el agente ideal para el tratamiento de las pulpas expuestas, el Ca(OH)_2 químicamente puro es eficaz para la conservación de la vitalidad pulpar, mientras permiten la reparación del tejido duro en el sitio de la lesión.

Infección endodóntica

Cuando se producen cambios patológicos en la pulpa dental, el sistema de conductos puede albergar varias especies de bacterias, sus toxinas y subproductos. Un número de investigaciones han demostrado que en los procesos pulpar y perirradicular, la patosis no se desarrolla sin la presencia de bacterias. Dependiendo de la etapa de la patosis pulpar, varias especies de

bacterias pueden ser cultivadas. Estas bacterias son predominantemente Gram-negativo anaerobios que pueden infectar la raíz por exposición directa a la pulpa (caries o lesiones) o por micro filtración coronal. Torabinejad ¹⁰ cita a Davis el cual demostró que la morfología de los conductos radiculares es compleja y que en los conductos preparados mecánicamente existen áreas no accesibles o de difícil acceso por los instrumentos endodónticos actualmente utilizados. Las bacterias se pueden encontrar en todas las áreas de la raíz, en el conducto y en los túbulos dentinarios.¹⁰

Los investigadores han informado la presencia de bacterias en los túbulos dentinarios de dientes infectados, aproximadamente a la mitad de distancia entre las paredes del conducto radicular y la unión cemento-dentina. Horiba y colaboradores encontraron endotoxinas dentro de las paredes dentinarias de los conductos radiculares infectados. Torabinejad ¹⁰ cita a M. Peters el cual evaluó la presencia, profundidad y penetración, morfotipos y el número de colonias unidades de bacterias en la dentina radicular de los dientes con lesiones periapicales. Informaron de la presencia de bacterias en más de la mitad de sus muestras cerca del cemento, Torabinejad ¹⁰ en su publicación hace referencia a Drake el cual mostró que la eliminación del barrillo dentinario abrió los túbulos, permitiendo que las bacterias colonizaran en los túbulos a un grado mucho más alto (10 veces) en comparación con las raíces con un frotis intacto. Factores tales como el número y el tipo de bacterias, además de la duración de la exposición y de la presencia o ausencia de capa del frotis, podría influir en la penetración de bacterias en los túbulos dentinarios.¹⁰

Tanto las infecciones endodónticas como periodontales derivan su microflora de la multitud de organismos que residen en la cavidad oral y las condiciones anaeróbicas similares favorecen el crecimiento de microorganismos anaerobios tanto en la pulpa infectada como en el periodonto. Esto, junto con las numerosas comunicaciones anatómicas entre la pulpa y el periodonto, puede al menos en parte, explicar por qué estos tienen entornos

microbiológicos similares. La invasión de la dentina radicular por bacterias, no necesariamente está implicada por inflamación de una lesión periodontal y puede iniciarse de un irreversible cambio patológico en la pulpa.

Si los procesos odontoblásticos forman o no una barrera protectora para el intercambio bacteriano es discutible y aunque hay evidencia histopatológica del cambio pulpar en dientes sin caries, afectados periodontalmente, es probable que se limiten a la fibrosis, calcificaciones distróficas y vascularidad. De hecho, se ha sugerido que el cambio inflamatorio irreversible de la pulpa sólo se produce una vez que los vasos apicales se han involucrado y esta última observación corroboraría aún más la adopción de una clasificación que distingue a las lesiones periodontales entre las que tienen o no comunicación en la proximidad del ápice de un diente.¹⁵

Muchas de las clasificaciones y estrategias de tratamiento de las lesiones endo-periodontales están basados en la anatomía y las comunicaciones entre la pulpa y el periodonto. En un estudio, alrededor del 27% de los dientes de la muestra, se comprobaron conductos accesorios o laterales. Los conductos accesorios se encuentran a lo largo de la mayor parte de la estructura de la raíz, con un 17% encontrándose en el tercio apical, alrededor del 9% en el tercio medio y 2% en el tercio gingival de la raíz. En la región de la bifurcación de los molares la mayor prevalencia de los conductos accesorios aproximadamente el 25% de los molares tienen tales características. Parece, sin embargo, que sólo alrededor del 10% de los molares con conductos en la furca, se comunican directamente con la cámara de pulpa, mientras que hasta el 60% tienen conductos en la furca que comunican con el aspecto más coronal de la raíz.¹⁵

Microorganismos en procesos infecciosos

La detección e identificación de microorganismos en las infecciones endodónticas ha mejorado. Tradicionalmente se pensó que había hasta 12 especies de bacterias en cualquier infección endodóntica no tratada. Las técnicas moleculares independientes de cultivo contemporáneo han revelado una microflora más diversa con hasta 20 especies de bacterias por infección endodóntica no tratada. También se ha demostrado que la microflora de los dientes tratados endodónticamente con infección persistente difiere de los dientes infectados no tratados, con *Enterococcus faecalis* y *Candida albicans*, que se encuentran más frecuentemente en los conductos radiculares de los dientes tratados endodónticamente. Varios virus, incluyendo el citomegalovirus y el virus de Epstein-Barr, se han detectado en lesiones periapicales. El papel de estos virus en periodontitis apical aún no se ha confirmado.¹⁶

Actualmente se acepta ampliamente que la gran mayoría de los microorganismos existen como biopelículas y no en forma "libre flotante". Una biopelícula es una comunidad compleja de microorganismos incrustados en una matriz de exopolisacárido que se adhiere tenazmente a una superficie o entre sí, y las células exhiben características fenotípicas. En odontología, las biopelículas están presentes en las mangueras de agua de la unidad dental y como placa dental en las superficies de los dientes. En endodoncia, 15 tipos de biopelículas se han visualizado dentro de los conductos accesorios, 16 tipos en el agujero apical y 17 tipos dentro de los istmos. Las biopelículas son usualmente multiespecies y cada especie aporta su propia función benéfica incluyendo mecanismos de supervivencia adaptativa y resistencia a los cambios ambientales adversos.¹⁶

La presencia de microorganismos del sistema de conductos y en los tejidos periapicales implica productos metabólicos de desecho y elementos no vitales de células microbianas como los lipopolisacáridos comúnmente llamados

endotoxinas. La fagocitosis de las bacterias por los macrófagos libera estas endotoxinas, que poseen una gran toxicidad, induciendo a la activación de elementos inflamatorios como prostaglandinas, leucotrienos, factor activador de plaquetas, complemento 3a y 5a e interleucina 1. Esto causa un incremento en la permeabilidad vascular, marginación de neutrófilos, quimiotaxis de neutrófilos, liberación de colagenasa, activación de linfocitos, la producción de proteína inflamatoria de macrófagos (MIP)-1 α y MIP-1 β y muchos otros efectos biológicos en los que se incluye la reabsorción ósea y la formación de lesiones periapicales. Debido a sus efectos, es imprescindible destoxificar los lipopolisacaridos presentes en los conductos radiculares y tejidos periapicales por medio de su degradación. Las soluciones alcalinas, así como la clorhexidina y el hipoclorito de sodio contribuyen a este efecto, lo que nos lleva de nuevo a entender la necesidad de una buena irrigación hasta el tercio apical con alguna de estas sustancias y la medicación intraconducto con pastas alcalinas a base de hidróxido de calcio para lograr evitar los efectos nocivos.¹⁷

pH

El concepto de pH fue introducido por primera vez por Sørensen (1909) y se define como la concentración de iones de hidrógeno en una solución.¹⁸

La concentración de hidrogeniones se expresa por el valor de pH, que indica el estado ácido o alcalino de una solución. A partir de la definición de pH, se ha calculado su valor para diferentes sustancias. Para el caso del agua, solvente universal, se sabe que es un electrólito débil, a partir del cual, sólo una pequeña parte se disocia en los iones que componen su molécula. El punto de equilibrio entre los iones Hidronio (H₃O⁺, ion ácido del agua) e Hidroxilo (OH⁻, ion básico del agua) se da a una concentración de 10⁻⁷ moles/L. Por lo tanto, aplicando la definición de pH, se expresa que el valor de pH 7 es un valor neutro entre acidez y alcalinidad.¹⁹(Fig. 1)²⁰

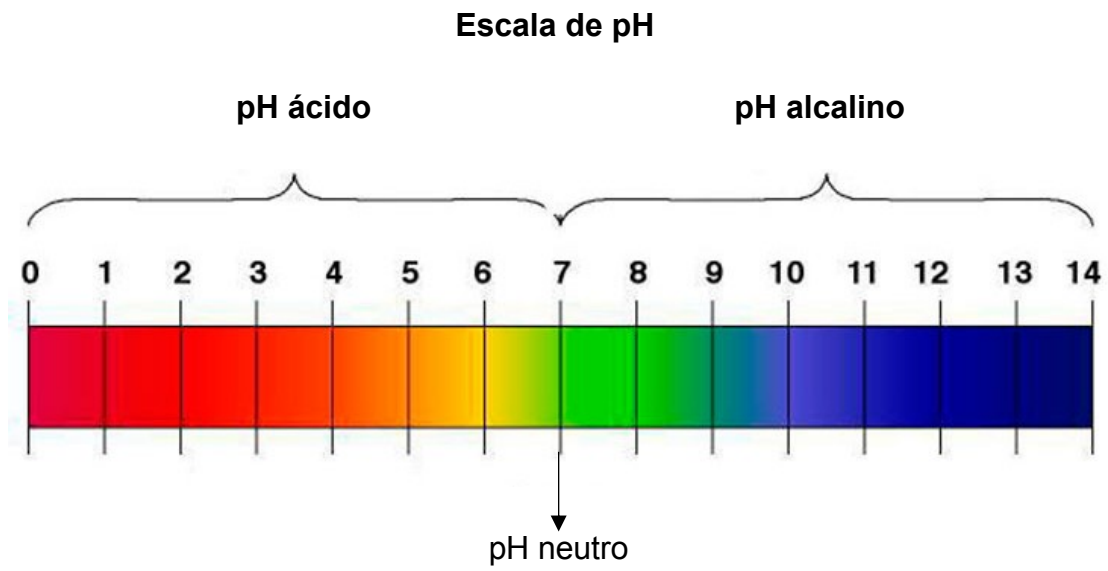


FIG. 1.- ESCALA DE PH.

De la misma forma, la capacidad teórica de disociación del agua en sus dos iones, marca los límites de la escala de valores posibles del pH¹⁹:

- *pH Alcalino*: es cualquier valor de pH mayor a 7.
- *pH Ácido*: es cualquier valor de pH menor a 7.
- *pH Neutro*: es un valor de pH de 7.

La producción de hidrógeno es cuantiosa y permanente. Cambios relativamente pequeños en su concentración pueden producir trastornos graves en múltiples órganos y enzimas; llegando a ser incompatibles con la vida a niveles extremos de acidez o alcalinidad. En todo organismo vivo, se producen sustancias ácidas y alcalinas a partir del metabolismo de hidratos de carbono, lípidos y proteínas. El ion hidrógeno es la sustancia resultante más importante de estos procesos metabólicos y está presente en todos los compartimentos corporales, y es el responsable del nivel de acidez o alcalinidad de los líquidos y tejidos corporales.¹⁹

La escala de pH supone una manera conveniente de designar la concentración de H^+ (y por consiguiente de OH^-) en cualquier disolución acuosa entre 1.0 M de H^+ y 1.0 M de OH^- .

El término de pH se define mediante la expresión: (Fig. 2) ²¹

$$pH = \log \frac{1}{[H^+]} = -\log [H^+]$$

FIG. 2.- FÓRMULA DE PH.

El valor de 7 para el pH de una disolución exactamente neutra no es una cifra escogida de manera arbitraria; proviene del valor absoluto del producto iónico del agua a 25°C. Las disoluciones que tienen un pH superior a 7 son alcalinas o básicas y en ellas la concentración de OH^- es mayor que la de H^+ . Inversamente, las disoluciones con un pH inferior a 7 son ácidas. La escala de pH es logarítmica y no aritmética (Fig. 3), es decir que el pH de dos soluciones difiere en 1 unidad de pH y significa que una solución tiene concentración de H^+ diez veces superior al de la otra¹⁹, pero no nos dice cuál es el valor absoluto de la diferencia.²¹

pH	[H ₃ O ⁺]	[OH ⁻]
0	1.0	0.000000000000001
1	0.1	0.00000000000001
2	0.01	0.0000000000001
3	0.001	0.000000000001
4	0.0001	0.00000000001
5	0.00001	0.000000001
6	0.000001	0.00000001
7	0.0000001	0.0000001
8	0.00000001	0.000001
9	0.000000001	0.00001
10	0.0000000001	0.0001
11	0.00000000001	0.001
12	0.000000000001	0.01
13	0.0000000000001	0.1
14	0.00000000000001	1.0

FIG. 3.- VALOR DE PH EN FUNCIÓN DE LA RELACIÓN DE CONCENTRACIÓN DE HIDRONIO E HIDROXILO.

Se puede medir aproximadamente el pH de una solución acuosa utilizando diversos colorantes indicadores, entre ellos el tornasol, la fenolftaleína y el rojo fenol que experimentan cambios de color cuando se disocia un protón de la molécula de colorante. Las determinaciones precisas de pH en el laboratorio químico o clínico se hacen con un electrodo de vidrio que es selectivamente sensible a la concentración de H⁺ pero que es insensible al Na⁺, K⁺ y otros cationes. En un potenciómetro se amplifica la señal de un electrodo de vidrio colocado en la disolución a ensayar y se compara con la señal generada por una disolución cuyo pH se conoce con exactitud.²¹

Influencia de pH en el proceso de reparación

El proceso de cicatrización o curación de heridas involucra una serie de eventos que ocurren en respuesta a una lesión, su finalidad es lograr que ese tejido dañado sane. Estos eventos que se desarrollan son: controlar el

sangrado, establecer una línea de defensa, eliminar restos necróticos, bacterias o cuerpos extraños en el sitio de la lesión y formación de tejido conectivo cicatrizal.²²

Altare ²² cita en su publicación a Andreasen JO y Lovschall H quienes definen a una lesión como una interrupción en la continuidad de los tejidos. Esto desencadena una reacción de defensa en el organismo durante la inflamación. Para devolver la continuidad perdida de los tejidos y restablecer la función, es necesario que se desarrolle el proceso de curación. Existen dos formas de curar las heridas, una es a partir de la regeneración de los tejidos y otra a partir de la reparación. El término regeneración es aplicado a aquellos fenómenos biológicos en los cuales la anatomía y función de los tejidos dañados, son restaurados en forma completa. En cambio la reparación o formación de cicatriz son aquellos procesos biológicos en donde se restablece la continuidad del tejido lesionado por una nueva formación tisular que no restaura su anatomía y función.²²

Durante el proceso de reparación el tejido de granulación es remodelado y madurado hacia la formación de una cicatriz. Se inicia el proceso de osteogénesis y mineralización. Hay un aumento del pH y de la enzima fosfatasa alcalina. Esto promueve la precipitación de fosfato de calcio, el cual inicia la mineralización, la cual está limitada al espacio físico disponible por las fibras de colágeno dispuestas longitudinalmente.²²

Esberard ²³ menciona a Tronstad el cual sugiere que el hidróxido de calcio colocado en el conducto radicular eleva el pH, produciendo un ambiente alcalino en áreas de reabsorción radicular por la difusión de iones hidroxilo a través de los túbulos dentinarios. El aumento del pH es bactericida e inhibe también la actividad osteoclástica.²³

Estudios han demostrado que a un pH 11.5 o mayor, el *Enterococcus faecalis* no puede sobrevivir; sin embargo, sí puede hacerlo a concentraciones

menores. Debido a la arquitectura de la dentina, es poco probable que el pH alto del hidróxido de calcio alcance los túbulos dentinarios, donde *Enterococcus faecalis* tiene la capacidad de penetrar profundamente. Aunque el pH de las pastas de hidróxido de calcio utilizado en endodoncia generalmente es 12.3 en la dentina radicular, la alcalinidad alcanzada no excede al pH 10.3 después de cubrirse los conductos con hidróxido de calcio; este valor puede caer incluso a pH 8.5-9.0 dentro del sistema de conductos radiculares debido a la obturación tubular de la dentina, valor que no es lo suficientemente alto como para erradicar al *Enterococcus faecalis*.²⁴

pH de zona infectada

Durante la inflamación aguda, la dilatación arterial aumenta el flujo sanguíneo del sitio de la lesión. Este proceso aumenta la permeabilidad vascular y la recolección rica en proteínas y líquido extracelular. Este infiltrado contiene los leucocitos, predominantemente neutrófilos, que migran junto con agentes fagocíticos al tejido lesionado. Nekoofar ¹⁸ cita a Jensen y Bainton (1973) los cuales informaron que el pH de los neutrófilos y monocitos cayeron a 3.5 - 4.5 dentro de 7-15 min después de la ingestión de microorganismos. Este fenómeno inicia una hidrólisis ácida y degradación de microorganismos muertos. Al mismo tiempo, leucocitos polimorfonucleares (PMN) que exhiben signos de lesión celular y / o mueren, liberan su ácido contenidos en el entorno extracelular. Los restos de microorganismos, partículas, y restos de neutrófilos pueden formar posteriormente **pus**, que se puede definir como un líquido grueso opaco, usualmente de color amarillento a verde que está formado por exudado, leucocitos, diversas especies de bacterias, la mayoría de las cuales son anaerobias, células muertas y restos de tejido.¹⁸

Las lesiones apicales son un conjunto de procesos inflamatorios crónicos generalmente producidos por microorganismos o sus productos, residiendo o

invadiendo el tejido periapical del conducto radicular y que se manifiestan por la respuesta de defensa del huésped al estímulo microbiano en el sistema de conductos radiculares. En cuanto a su patogenia, se ha descrito que inicia con el desarrollo de la destrucción perirradicular de los tejidos después de la infección bacteriana de la pulpa dental, de tal forma que los componentes de la pared celular de las bacterias reaccionan con los monocitos, macrófagos, fibroblastos y otras células del sistema inmune.²⁵

La velocidad de destrucción tisular dentro de la lesión dependerá del crecimiento bacteriano dentro de los focos, la virulencia de los gérmenes y el pH local. Un ambiente ácido favorece la actividad de las enzimas lisosómicas y promueve la destrucción tisular.²⁶

En el estudio de Nekoofar¹⁸ registra el pH del pus de los abscesos periapicales de la muestra de los pacientes, el cual fue de 6,68 +/- 0,32 con un intervalo entre 6,0 y 7,0, esto se refleja en la tabla 1, y que en conclusión no existen diferencias estadísticamente significativas en el pH por sexo o edad.

	Hombre	Mujer	Todos
Número	17	23	40
Media de edad	27	25	26
Media de pH	6.70	6.66	6.68
Desviación estándar	0.3082	0.3588	0.3345
Rango de pH	6.0 - 7.3	6.0 - 7.2	6.0 - 7.3
pH < 7.0	13	17	30
pH = 7.0	3	2	5
pH > 7.0	1	4	5

TABLA 1.- PROMEDIO DE pH DE PUS ASPIRADO EN ABSCESOS PERIAPICALES

Los cementos ideales utilizados en el ámbito de la endodoncia deben proporcionar un sello apical impermeable, especialmente en diferentes condiciones clínicas, tales como el medio ambiente ácido, que puede resultar de enfermedades periapicales.²⁷

Planteamiento del problema

Una etapa importante del tratamiento de conductos es el control de la infección del área perirradicular, para lo cual se emplean diferentes compuestos cuya principal característica es el pH. El óxido de calcio, también llamado *cal viva*, es un compuesto con usos limitados a la construcción, debido a su alto pH, es importante considerar que en contacto con el agua se hidrata y puede transformarse en hidróxido de calcio, con los efectos y acciones conocidas en el tratamiento endodóntico. En ambos casos es escasa la información de cinética de reacción en condiciones de acidez.

En este contexto se plantea la siguiente pregunta de investigación:

¿Cuál es la cinética de reacción de los compuestos de hidróxido de calcio y óxido de calcio en condiciones de pH ácido y viscosidad variable?

Justificación

El hidróxido de calcio ha sido utilizado por mucho tiempo en odontología y es uno de los compuestos más estudiados, ya sea como protección pulpar o terapia endodóntica, gracias a su pH alcalino tiene la capacidad de modificar el pH en procesos de infección pulpar, neutralizar microorganismos, estimular odontoblastos para la reparación de la dentina y estimular osteoclastos para la reparación de tejido óseo. El óxido de calcio es un material que su uso principal es en la construcción, este es un polvo blanco que tiene un pH alcalino muy alto, que al contacto con tejidos del ser humano provoca quemaduras. En la actualidad el óxido de calcio no es utilizado en odontología, sin embargo, es una parte importante en la fabricación del hidróxido de calcio el cual es uno de los materiales más estudiados, empleados en tratamientos endodónticos, ya que guardan similitud en la composición y en su pH, el óxido de calcio y el hidróxido de calcio, se decidió comparar su cinética de reacción y así conocer cómo se comportan en soluciones ácidas.

Hipótesis

Hipótesis verdadera

Existen diferencias estadísticamente significativas en la reacción de hidrólisis del hidróxido de calcio y óxido de calcio colocados en soluciones de pH ácido.

Hipótesis nula

No existen diferencias estadísticamente significativas en la reacción de hidrólisis del hidróxido de calcio y óxido de calcio en soluciones de pH ácido.

Objetivos

Objetivo general

Determinar *in vitro* la cinética de reacción de compuestos de calcio en soluciones ácidas y viscosidad variable en el Laboratorio de Investigación de Materiales Dentales y Biomateriales en la DEPEI de la Facultad de Odontología UNAM.

Objetivos específicos

- Determinar el efecto de la reacción de hidrólisis del Hidróxido de calcio en soluciones con pH 6.2, 6.4, 6.6, 6.8 y 7.0.
- Determinar el efecto de la reacción de hidrólisis del Óxido de calcio en soluciones con pH 6.2, 6.4, 6.6, 6.8 y 7.0.
- Comparar los niveles de pH de la reacción de hidrólisis del óxido de calcio y el hidróxido de calcio en soluciones ácidas.
- Comparar los valores de viscosidad inicial de las soluciones ácidas con respecto al pH.
- Conocer el intervalo de mayor cambio de pH en las soluciones ácidas.

Materiales y método

Materiales

1. Óxido de calcio (Calidra[®], México)
2. Hidróxido de calcio (J.T. Baker[™], USA)
3. Hidróxido de sodio (J.T. Baker[™], USA)
4. Ácido láctico 85% (J.T. Baker[™], USA)
5. Saliva artificial (Laboratorio de Investigación de Materiales dentales y Biomateriales, en la DEPel de la Facultad de Odontología UNAM, México)
6. Agua desionizada (Hycel[®], México)
7. Agua (Bonafont[®], México)

Equipo

1. Viscosímetro (Brookfield[™] RV, USA)
2. Potenciómetro 1 (Oakton[™], USA)
3. Potenciómetro 2 (Conductronic[®] pH10, México)
4. Balanza Analítica (Boeco[™], USA)
5. Agitador magnético (Cimarec[™], USA)
6. Agitadores magnéticos (Fisherbrand[™], USA)
7. Pissetas 500 mL.
8. Pipetas (Pyrex[™], Alemania)
9. Vasos de precipitado 100 mL. (Pyrex[™], Alemania)
10. Probeta 100 mL. (Pyrex[™], Alemania)
11. Vidrios de reloj
12. Espátula para polvos

Instalaciones

Laboratorio de Investigación de Materiales Dentales y Biomateriales en la DEPel de la Facultad de Odontología, UNAM.

Método

Elaboración de saliva.

Como primer paso se obtiene saliva artificial con diferentes concentraciones de carboximetil celulosa (CMC), partiendo de la fórmula base que tiene cantidades específicas de componentes inorgánicos, orgánicos y de CMC (llamada 1:1), se varió la concentración de CMC en 50% y 100% más, obteniendo concentraciones 1:1.5 y 1:2, respectivamente. (Fig. 4, 5 y 6)

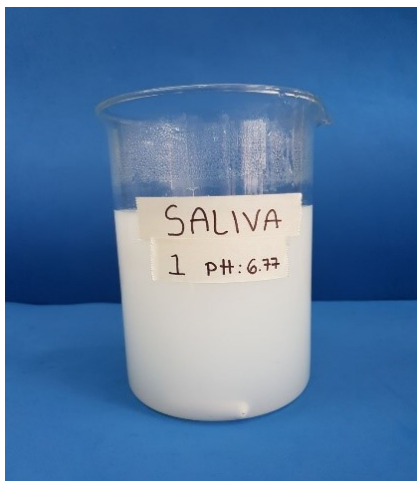


FIG. 4.- SALIVA ARTIFICIAL, VISCOSIDAD 1:1

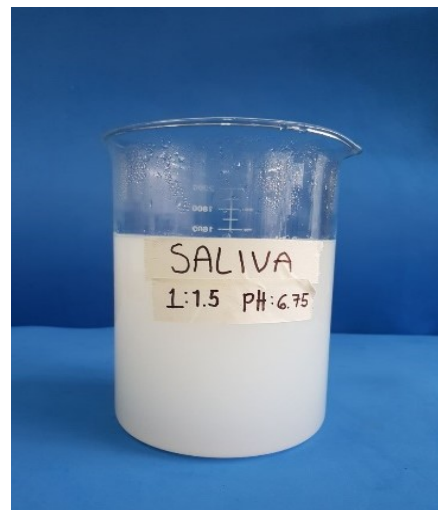


FIG. 5.- SALIVA ARTIFICIAL, VISCOSIDAD 1:1.5

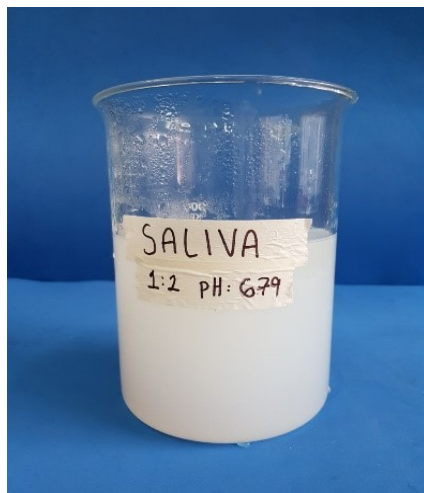


FIG. 6.- SALIVA ARTIFICIAL, VISCOSIDAD 1:2.

La solución de saliva artificial se realizó con la fórmula desarrollada en el Laboratorio de Biomateriales Dentales (Patente pendiente).

Medición de viscosidad.

Después de obtener la saliva artificial, se realizó la medición de viscosidad de las tres soluciones por medio de un viscosímetro (Fig. 7), que junto con parámetros como el número de aguja (Fig. 8) y las revoluciones por minuto (RPM), marca un valor en una escala de 0 a 100 (Fig. 9) el cual se registra, y con una tabla que incluye el viscosímetro (Fig. 10) y la aplicación de una fórmula da valores para determinar la viscosidad de las soluciones (centi Poises, cP).

Como primer paso se debe verificar la nivelación del viscosímetro, después se elige la aguja dependiendo del compuesto a medirse, en este caso se eligió la aguja número 1 ya que tenía mayor sensibilidad para registrar los valores en comparación con las demás agujas, se colocaron 300 mL de saliva artificial de cada una de las tres soluciones en vasos de precipitado de 400 mL y se llevaron al viscosímetro, sumergiendo la aguja dentro del vaso hasta la marca que tiene en el vástago, después se elige las revoluciones por minuto con la que se trabajará, en este caso fueron 4, 10 y 20 RPM para las tres soluciones (N=90).

Primero se midió la temperatura de la solución A (1:1) y se comenzó el registro de los valores con la aguja # 1 y 4 RPM, se registraron 10 valores para obtener un promedio que junto con la tabla y la aplicación de la fórmula se obtiene el valor real de la viscosidad. El mismo procedimiento se realizó con la misma solución, pero con 10 y 20 RPM. Se obtuvieron 10 valores por cada RPM.

Al igual que la solución A, se midió la temperatura de la solución B (1:1.5) y se registraron los valores con las mismas RPM.

En la solución C (1:2) se midió temperatura y solamente se registraron los valores con 4 RPM ya que eran valores dentro de la escala de medición en comparación con 10 y 20 RPM que sobrepasaba el valor 100 de la escala del viscosímetro.



FIG. 7.- VISCOSÍMETRO BROOKFIELD™ RV



FIG. 8.- AGUJA # 1



FIG. 9.- VISTA PARA MEDICIÓN

VISCOMETER MODEL		RV		SPINDLE NUMBER	
		1			
.5	200				
1	100				
2	50				
2.5	40				
4	25				
5	20				
10	10				
20	5				
50	2				
100	1				
SPEED-RPM		FACTOR			

M = 1000

FIG. 10.- TABLA DE CONVERSIÓN

PARA VISCOSIDAD

Modelo de cinética de reacción

Al inicio de cada experimento, se colocan 100 mL de saliva en un vaso de precipitado para después colocarlos en el agitador magnético con platina de

calentamiento, realizar agitación y calibrarlos a diferentes valores de pH (6.2, 6.4, 6.6, 6.8, 7.0) dependiendo del pH a trabajar y así simular condiciones ácidas. El pH se ajustó con Na(OH) (1 M) (Fig.11) para conseguir una solución alcalina, y con ácido acético (CH_3COOH) (Fig.12) para obtener un pH ácido.



FIG. 11.- HIDRÓXIDO DE SODIO Na(OH)

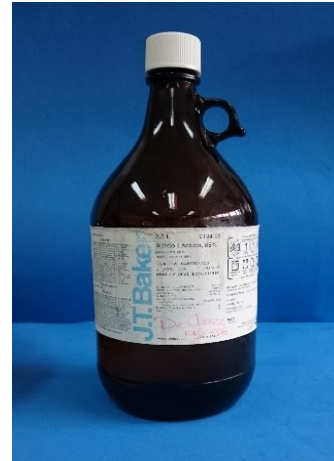


FIG. 12.- ÁCIDO ACÉTICO

Después de ajustar el pH de la solución de la saliva artificial en el nivel deseado, se midieron posteriormente 100 mL de solución con una probeta graduada de 100 mL. (Fig.13)

Se depositaron 50 ml en cada uno los vasos de precipitado y se agitaron las soluciones (Fig.14), junto con el electrodo del potenciómetro para comenzar a medir pH y temperatura.



FIG. 13.- MEDICIÓN DE LOS 100ML DE LA SOLUCIÓN ÁCIDA



FIG. 14.- AGITADOR MAGNÉTICO

Se pesaron los compuestos de calcio (Fig. 15) en la balanza analítica (Fig. 16) para obtener el peso de 0.172 g (Fig. 17) en cada ocasión, después se colocaron en las soluciones de saliva artificial a la viscosidad y pH determinados.

Cuando se terminaron de pesar los compuestos, inmediatamente se agrega uno a cada solución ácida.



FIG. 15.- COMPUESTOS DE CALCIO.



FIG. 16.- BALANZA ANALÍTICA.

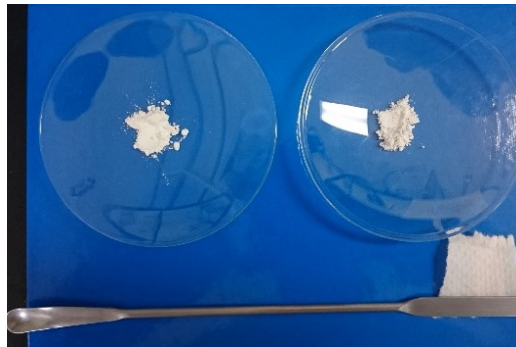


FIG. 17.- 0.172 G DE Ca(OH)_2 Y CaO .

La primer medición se obtuvo al ajustar al pH deseado; después de agregaron los compuestos a la solución ácida, se contabilizaron 10 min y se midió el pH, y así sucesivamente hasta que se obtuvieron los 54 valores (9 h) de pH de cada solución. (Fig. 18)

Se mantuvieron a una temperatura constante de 37°C (Fig. 19), se cubrieron los vasos para evitar evaporación y tener las mismas concentraciones desde la primera lectura.



FIG. 18.- MEDICIÓN DE PH



FIG. 19.- MEDICIÓN DE TEMPERATURA

Se inició el experimento con saliva artificial de viscosidad 1:1, después con saliva artificial de viscosidad 1:1.5 y por último con saliva artificial de viscosidad de 1:2, cada día utilizando un pH diferente iniciando con 7.0 seguido de 6.8, 6.6, 6.4 y terminando en 6.2.

Resultados

Viscosidad

Se utilizó un viscosímetro Brookfield™ RV, para determinar la viscosidad de 10 muestras de cada concentración. En las tablas 2 a 4 se encuentran los valores ordenados obtenidos de cada una de las medidas de las viscosidades.

El valor promedio de la viscosidad a 4 RPM es de 87.5 cPoises de la concentración 1:1. El valor promedio de la viscosidad a 10 RPM es de 85 cP de la concentración 1:1. El valor promedio de la viscosidad a 20 RPM es de 80 cP de la concentración 1:1. (Tabla 2)

Saliva Artificial 1:1 (N=90)

Muestra	Rpm	Lectura	Viscosidad (cPoises)	Rpm	Lectura	Viscosidad (cPoises)	Rpm	Lectura	Viscosidad (cPoises)
1	4	3.5	87.50	10	8.5	85	20	16	80
2	4	3.5	87.50	10	8.5	85	20	16	80
3	4	3.5	87.50	10	8.5	85	20	16	80
4	4	3.5	87.50	10	8.5	85	20	16	80
5	4	3.5	87.50	10	8.5	85	20	16	80
6	4	3.5	87.50	10	8.5	85	20	16	80
7	4	3.5	87.50	10	8.5	85	20	16	80
8	4	3.5	87.50	10	8.5	85	20	16	80
9	4	3.5	87.50	10	8.5	85	20	16	80
10	4	3.5	87.50	10	8.5	85	20	16	80
Promedio			87.50			85			80
Desv. Est.			0.00			0,00			0.00

TABLA 2.- VISCOSIDAD 1:1 (N=90)

El valor promedio de la viscosidad a 4 RPM es de 277.25 cP de la concentración 1:1.5. El valor promedio de la viscosidad a 10 RPM es de 250 cP de la concentración 1:1.5. El valor promedio de la viscosidad a 20 RPM es de 230 cP de la concentración 1:1.5. (Tabla 3)

Saliva Artificial 1:1.5 (N=90)

Muestra	Rpm	Lectura	Viscosidad (cPois)	Rpm	Lectura	Viscosidad (cPois)	Rpm	Lectura	Viscosidad (cPois)
1	4	11.7	292.5	10	25	250	20	46	230
2	4	11.2	280	10	25	250	20	46	230
3	4	11	275	10	25	250	20	46	230
4	4	11	275	10	25	250	20	46	230
5	4	11	275	10	25	250	20	46	230
6	4	11	275	10	25	250	20	46	230
7	4	11	275	10	25	250	20	46	230
8	4	11	275	10	25	250	20	46	230
9	4	11	275	10	25	250	20	46	230
10	4	11	275	10	25	250	20	46	230
Promedio			277.25			250			230
Desv. Est.			1.67			0.00			0.00

TABLA 3.- VISCOSIDAD 1:1.5 (N=90)

El valor promedio de la viscosidad a 4 RPM es de 1250 cP de la concentración 1:2. El valor promedio de la viscosidad a 10 RPM es de 995.5 cP de la concentración 1:2. (Tabla 4)

El valor promedio de la viscosidad a 20 RPM no se registró debido a que no hay valores registrables, ya que el viscosímetro en su escala de 0 a 100 no puede leer el valor real con estas RPM.

Saliva Artificial 1:2 (N=90)

Muestra	Rpm	Lectura	Viscosidad (cPois)	Rpm	Lectura	Viscosidad (cPois)	Rpm	Lectura
1	4	50	1250	10	95.5	955	20	*
2	4	50	1250	10	100	1000	20	*
3	4	50	1250	10	100	1000	20	*
4	4	50	1250	10	100	1000	20	*
5	4	50	1250	10	100	1000	20	*
6	4	50	1250	10	100	1000	20	*
7	4	50	1250	10	100	1000	20	*
8	4	50	1250	10	100	1000	20	*
9	4	50	1250	10	100	1000	20	*
10	4	50	1250	10	100	1000	20	*
Promedio			1250			995,5		
Desv. Est.			0,00			14,23		

TABLA 4.- VISCOSIDAD DE SOLUCIÓN 1:2 (N=90)

La saliva artificial en concentración 1:2 es la solución con más viscosidad en comparación con las dos soluciones restantes que es 1:1 y 1:1.5. Entre cada solución 1:1, 1:1.5 y 1:2 existen diferencias en la viscosidad.

En la tabla 5 se encuentran los valores promedio de las tres viscosidades en las diferentes variables de medición.

	Viscosidad de la saliva artificial (cP)		
	1.0	1.5	2.0
4	87.50	277.25	1250.00
10	85.00	250.00	995.50
20	80.00	230.00	*

* Los valores obtenidos son mayores a la escala del viscosímetro

TABLA 5.- PROMEDIO DE VISCOSIDAD

En resumen, la saliva artificial no respeta la ley de Newton: es un fluido no newtoniano, con respecto a la rapidez de corte (RPM) y con respecto a la concentración.

Valor promedio de pH de la reacción de hidrólisis

A continuación se describe el promedio de los compuestos en con viscosidad 1:1 (Tabla 6). La solución con Ca(OH)_2 en concentración 1:1 y pH 7.0, 6.8 y 6.6 tiene un valor promedio mayor en comparación con el CaO. La solución con CaO en concentración 1:1 y pH 6.2, tiene un valor promedio mayor en comparación con el Ca(OH)_2 .

En viscosidad 1:1 y pH 6.4 los valores promedios de las dos soluciones es casi la misma y no presenta un gran cambio.

El valor promedio más alto del Ca(OH)_2 comparado con los diferentes valores de pH de las soluciones, es el 10.00 que se obtiene con pH 7.0. El valor promedio más alto del CaO comparado con los diferentes valores de pH de las soluciones, es 9.27 que se obtiene con pH 6.2 y 6.4.

El valor promedio más bajo del Ca(OH)_2 comparado con los diferentes valores de pH de las soluciones, es 8.70 que se obtiene con pH 6.6. El valor promedio más bajo del CaO comparado con los diferentes valores de pH de las soluciones, es 8.12 que se obtiene con pH 6.8.

Compuesto	pH de solución				
	6.2	6.4	6.6	6.8	7.0
Ca (OH)₂	8.74 (±1.45)	9.24 (±1.53)	8.70 (±1.70)	9.29 (±1.34)	10.00 (±1.05)
Ca O	9.27 (±1.61)	9.27 (±1.51)	8.60 (±1.44)	8.12 (±0.76)	9.35 (±1.05)

TABLA 6.- VALORES PROMEDIOS DEL PH DE LA REACCIÓN DE HIDRÓLISIS EN SOLUCIÓN DE SALIVA CON CMC AL 1:1 Y CON DIFERENTE PH INICIAL.

En la tabla 7 se describe el promedio de los compuestos en viscosidad 1:15. Las soluciones con Ca(OH)_2 en viscosidad 1:5 y pH 6.2, 6.6, 6.8 tienen valores promedios mayores comparado con las soluciones con CaO en la misma viscosidad y pH. Las soluciones con CaO en viscosidad 1:1.5 y pH 6.4 y 7.0 tienen valores promedios mayores comparado con las soluciones con Ca(OH)_2 en la misma viscosidad y pH.

El valor promedio más alto del Ca(OH)_2 comparado con los diferentes valores de pH de las soluciones, es 9.67 que se obtiene con pH 7.0. El valor promedio más alto del CaO comparado con los diferentes valores de pH de las soluciones, es 10.10 que se obtiene con pH 7.0

El valor promedio más bajo del Ca(OH)_2 comparado con los diferentes valores de pH de las soluciones, es 8.72 que se obtiene con pH 6.4. El valor promedio más bajo del CaO comparado con los diferentes valores de pH de las soluciones, es 7.45 que se obtiene con pH 6.8.

Compuesto	pH de solución				
	6.2	6.4	6.6	6.8	7.0
Ca (OH)₂	9.31 (±1.52)	8.72 (±1.50)	9.61 (±1.40)	9.54 (±1.11)	9.67 (±1.25)
Ca O	9.06 (±1.19)	9.18 (±1.29)	8.46 (±1.28)	7.45 (±0.19)	1.10 (±0.87)

TABLA 7.- VALORES PROMEDIOS DEL PH DE LA REACCIÓN DE HIDRÓLISIS EN SOLUCIÓN DE SALIVA CON CMC AL 1:1.5 Y CON DIFERENTE PH INICIAL.

En la tabla 8 se describe el promedio de los compuestos en viscosidad 1:2. Las soluciones con Ca(OH)_2 en viscosidad 1:2 y pH 6.4, 6.6, 6.8 y 7.0 tienen valores promedios mayores comparado con las soluciones con CaO en la misma viscosidad y pH. La solución con CaO en viscosidad 1:2 y pH 6.2 tiene valor promedio mayor comparado con las soluciones con Ca(OH)_2 en la misma viscosidad y pH.

El valor promedio más alto del Ca(OH)_2 comparado con los diferentes valores de pH de las soluciones, es 10.57 que se obtiene con pH 6.6. El valor promedio más alto del CaO comparado con los diferentes valores de pH de las soluciones, es 9.88 que se obtiene con pH 6.8.

El valor promedio más bajo del Ca(OH)_2 comparado con los diferentes valores de pH de las soluciones, es 7.15 que se obtiene con pH 6.2. El valor promedio más bajo del CaO comparado con los diferentes valores de pH de las soluciones, es 8.27 que se obtiene con pH 6.6.

Compuesto	pH de solución				
	6.2	6.4	6.6	6.8	7.0
Ca (OH)₂	7.15 (±0.41)	8.65 (±1.51)	10.57 (±1.11)	10.30 (±1.19)	10.35 (±1.11)
Ca O	9.45 (±1.68)	8.49 (±1.56)	8.27 (±1.17)	9.88 (± 1.39)	9.39 (±1.12)

TABLA 8.- VALORES PROMEDIOS DEL PH DE LA REACCIÓN DE HIDRÓLISIS EN SOLUCIÓN DE SALIVA CON CMC 1:2 Y CON DIFERENTE PH INICIAL.

Con la finalidad de establecer las asociaciones estadísticas se utilizó la prueba de U Mann-Whitney, para la comparación de dos grupos independientes, porque la distribución de los grupos no sigue una distribución normal.

La tabla 9 contiene la relación de las asociaciones estadísticas significativas y no significativas establecidas en el análisis aplicado a un nivel de significancia ($p < 0.05$), para determinar la aceptación o rechazo de las hipótesis planteadas.

Es importante mencionar que se lograron determinar diferencias entre los grupos de cada una de las viscosidades, siendo el $\text{Ca}(\text{OH})_2$ el compuesto que presentó diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) en pH 6.2, 6.6 y 6.8. En la concentración de pH 6.4 de las diferentes viscosidades no se logró establecer una diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$) por lo que la hipótesis nula se retiene.

Viscosidad	pH	Compuestos	Aceptación o rechazo ($p < 0.05$)	
			H. Alterna	H. Nula
1	7.0	Ca(OH) ₂ CaO	*	
	6.8	Ca(OH) ₂ CaO	*	
	6.6	Ca(OH) ₂ CaO		*
	6.4	Ca(OH) ₂ CaO		*
	6.2	Ca(OH) ₂ CaO	*	
1.5	7.0	Ca(OH) ₂ CaO		*
	6.8	Ca(OH) ₂ CaO	*	
	6.6	Ca(OH) ₂ CaO	*	
	6.4	Ca(OH) ₂ CaO		*
	6.2	Ca(OH) ₂ CaO	*	
2	7.0	Ca(OH) ₂ CaO	*	
	6.8	Ca(OH) ₂ CaO		*
	6.6	Ca(OH) ₂ CaO	*	
	6.4	Ca(OH) ₂ CaO		*
	6.2	Ca(OH) ₂ CaO	*	

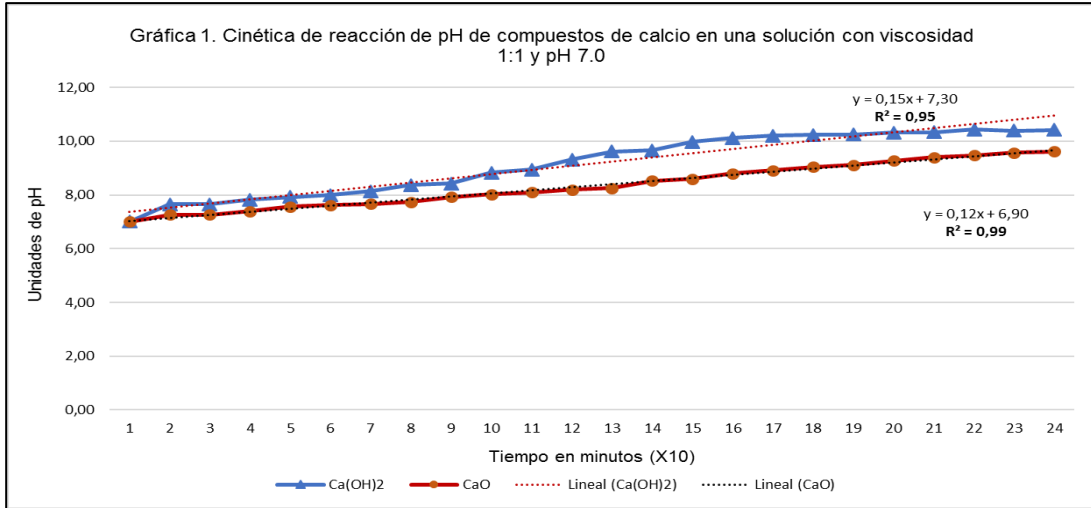
Prueba de comparación de medias de U Mann-Whitney ($p < 0.05$)

TABLA 9.- COMPARACIÓN DE MEDIAS U MANN-WHITNEY ($P < 0.05$)

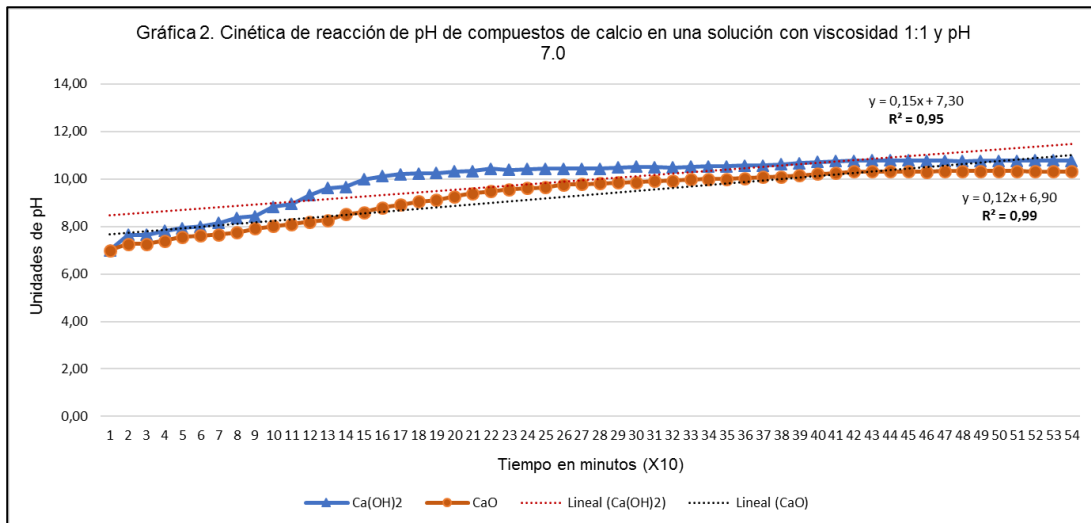
Cinética de reacción y promedio de cinética de reacción

Viscosidad 1:1 pH 7

El Ca(OH)_2 tiene mayor efecto en menor tiempo en comparación con el CaO . El CaO tiene un aumento de pH constante en viscosidad 1:1 y pH 7.0. La hidrólisis del Ca(OH)_2 es mayor (0.15 min) que la descomposición del CaO . (Gráfica 1 y 2). El valor máximo del Ca(OH)_2 es 10.78 y del CaO 10.34.

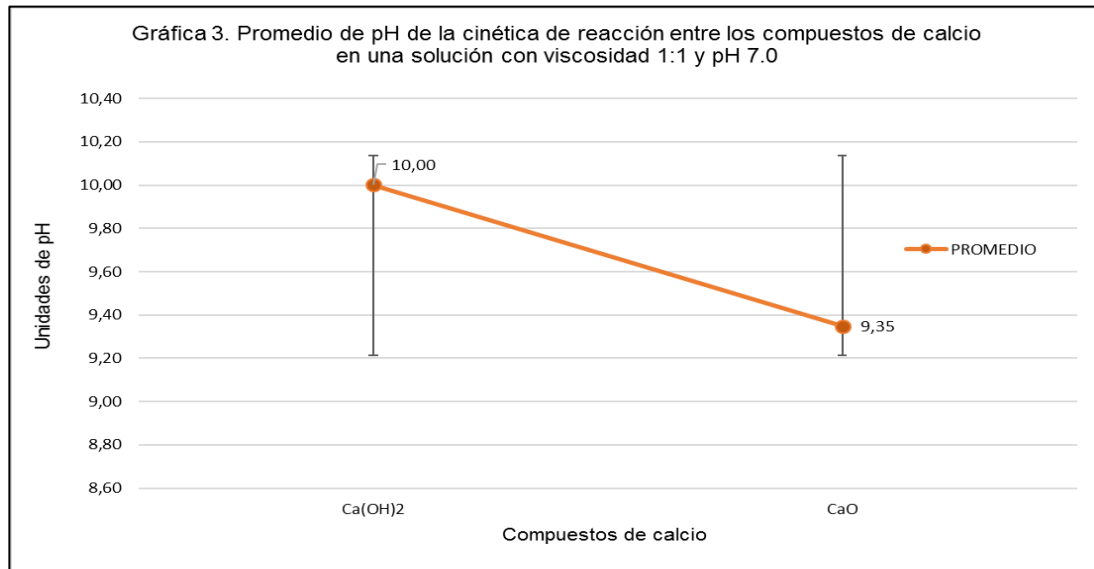


GRÁFICA 1.- CINÉTICA DE REACCIÓN EN SOLUCIÓN CON VISCOSIDAD 1:1 Y PH 7.0 CON CORTE A 240 MINUTOS Y TENDENCIA DE REACCIÓN.



GRÁFICA 2.- CINÉTICA DE REACCIÓN EN SOLUCIÓN CON VISCOSIDAD 1:1, PH 7.0 DURANTE 540 MINUTOS DE EXPERIMENTACIÓN.

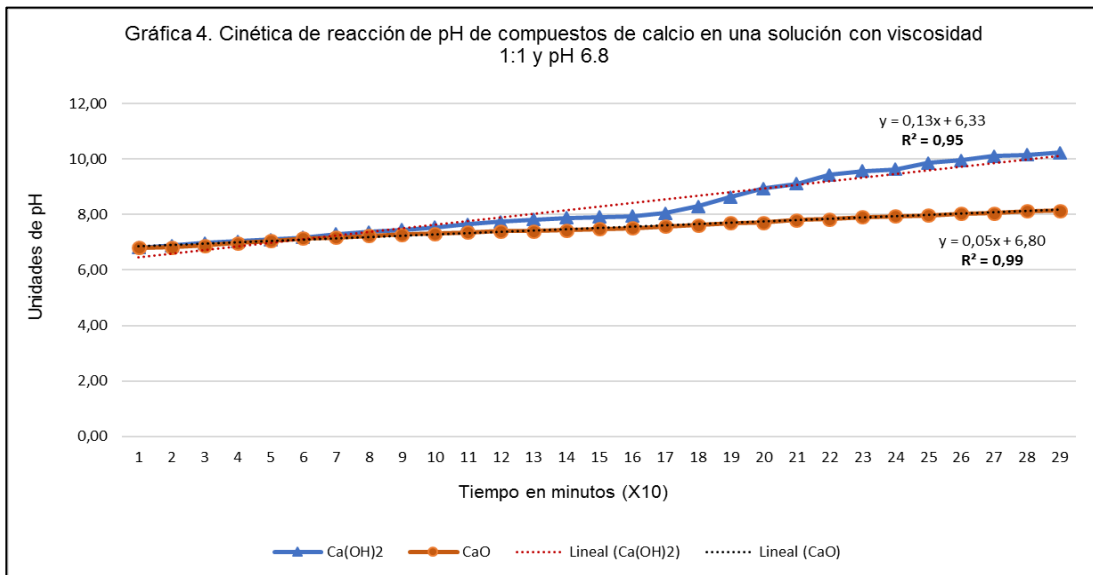
El promedio del pH del $\text{Ca}(\text{OH})_2$ es mayor (10.00), el cual indica una diferencia comparado con el promedio del CaO (9.35). El $\text{Ca}(\text{OH})_2$ tiene mayor efecto en comparación del CaO en solución alcalina.(Gráfica 3)



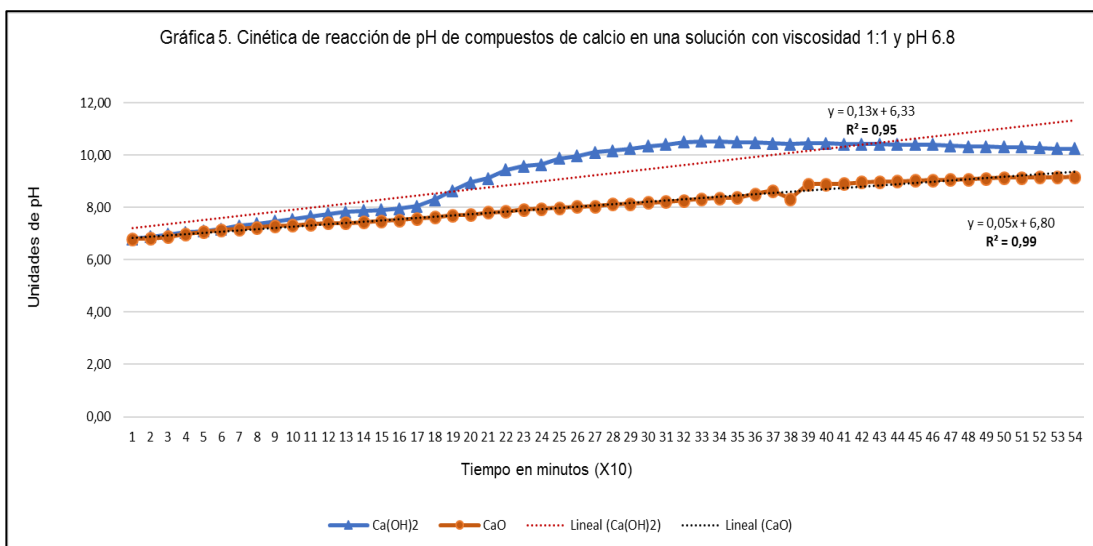
GRÁFICA 3.- PROMEDIO DE CINÉTICA DE REACCIÓN EN SOLUCIÓN, VISCOSIDAD 1:1, PH 7.0

Viscosidad 1:1 pH 6.8

El CaO en una viscosidad de 1:1 y pH de 6.8 aumenta su pH de manera constante conforme avanza el tiempo. El $\text{Ca}(\text{OH})_2$ aumenta su pH de manera constante hasta el minuto 170 que es cuando tiene mayor aumento de pH. La hidrólisis del $\text{Ca}(\text{OH})_2$ es mayor (0.13 min) que el CaO (0.05 min) (Gráfica 4 y 5). El valor máximo del $\text{Ca}(\text{OH})_2$ es 10.53 y del CaO 9.20.

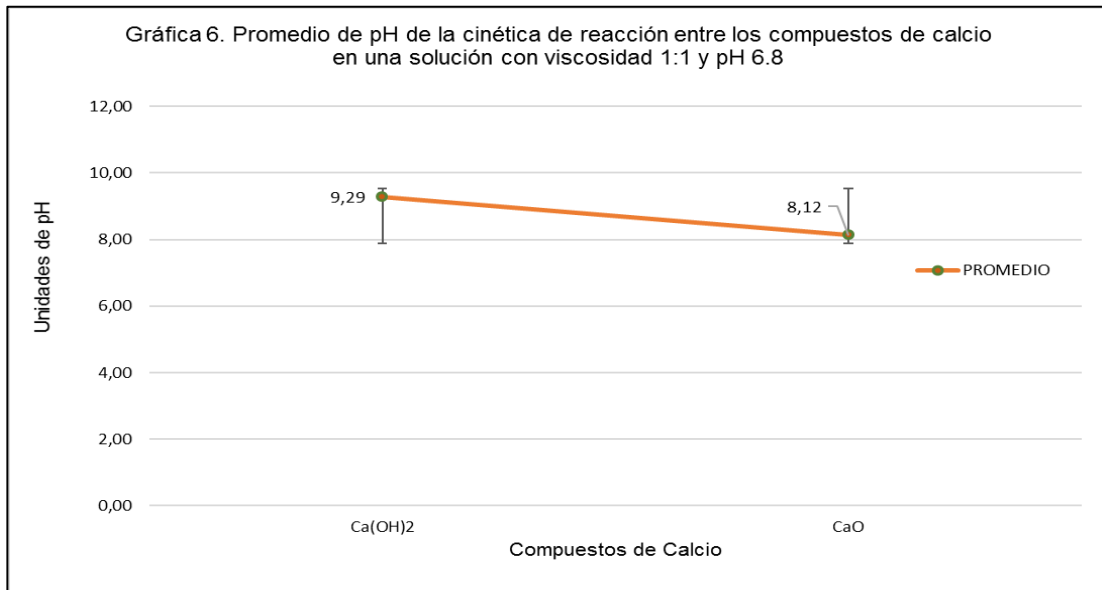


GRÁFICA 4.- CINÉTICA DE REACCIÓN EN SOLUCIÓN CON VISCOSIDAD 1:1 Y PH 6.8 CON CORTE A 290 MINUTOS Y TENDENCIA DE REACCIÓN.



GRÁFICA 5.- CINÉTICA DE REACCIÓN EN SOLUCIÓN CON VISCOSIDAD 1:1, PH 6.8 DURANTE 540 MINUTOS DE EXPERIMENTACIÓN.

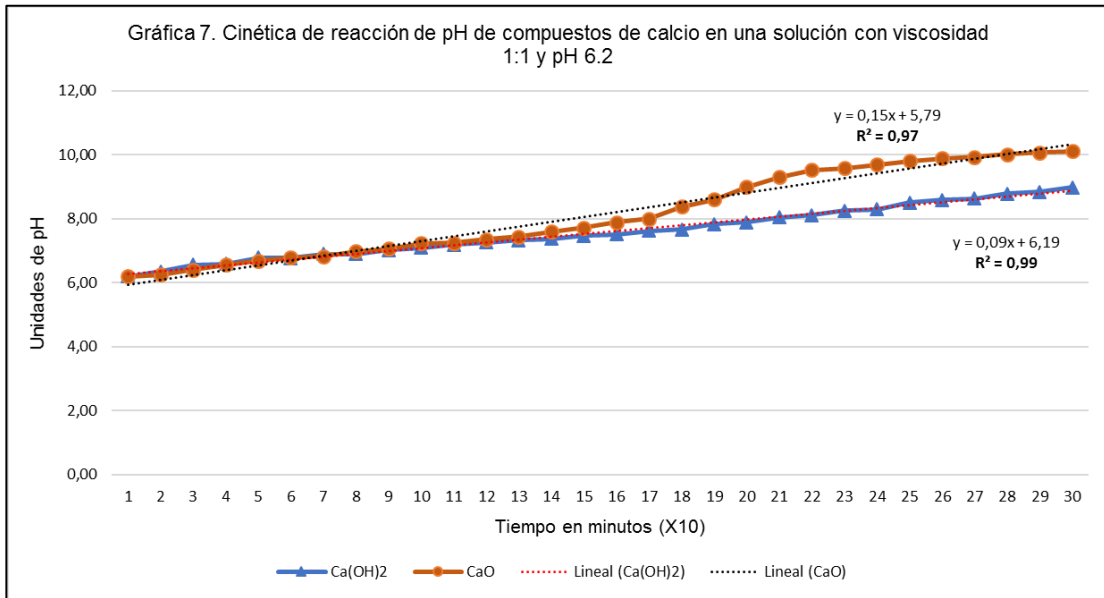
El $\text{Ca}(\text{OH})_2$ tiene un promedio mayor (9.29) en comparación del CaO (8.12) en una viscosidad de 1:1 y pH 6.8. El $\text{Ca}(\text{OH})_2$ tiene un efecto en la solución ácida. (Gráfica 6).



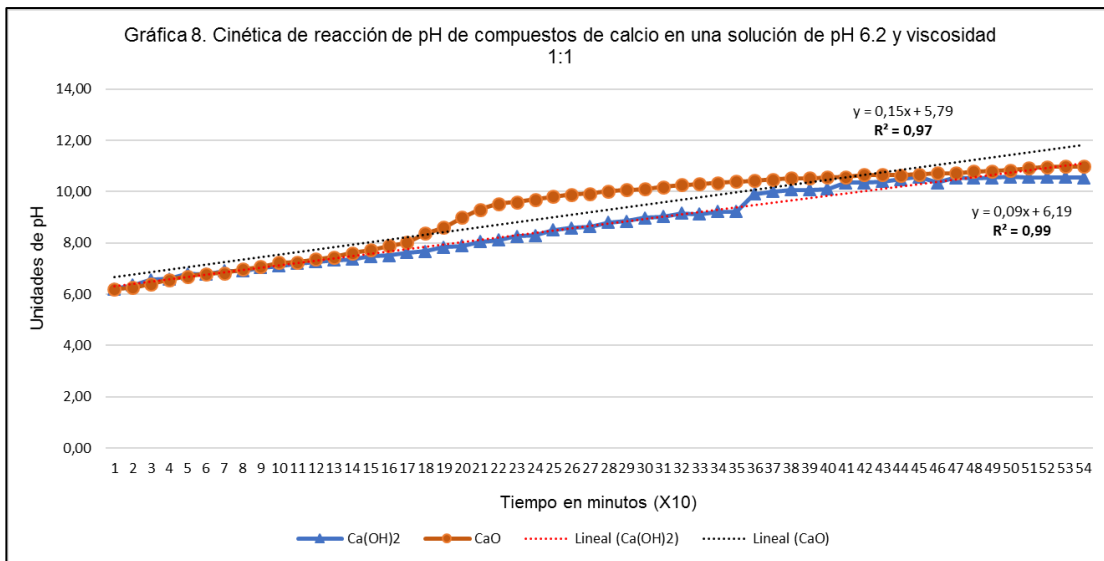
GRÁFICA 6.- PROMEDIO DE CINÉTICA DE REACCIÓN EN SOLUCIÓN, VISCOSIDAD 1:1, PH 6.8

Viscosidad 1:1 pH 6.2

El CaO tiene un efecto mayor de pH en menor tiempo en comparación con el $\text{Ca}(\text{OH})_2$ en viscosidad 1:1 y pH 6.2. A partir del minuto 140 el CaO tiene un aumento radical en su pH. Ambos compuestos tienen un comportamiento similar. (Gráfica 7 y 8) Valor máximo del $\text{Ca}(\text{OH})_2$ es 10.57 y del CaO 11.00.

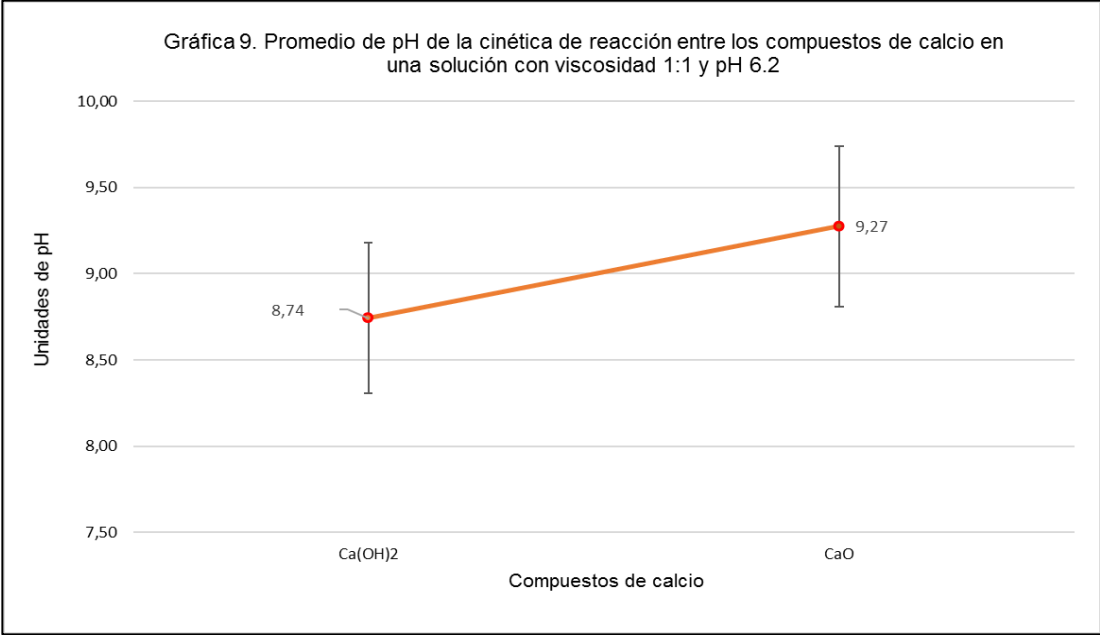


GRÁFICA 7.- CINÉTICA DE REACCIÓN EN SOLUCIÓN CON VISCOSIDAD 1:1 Y PH 6.2 CON CORTE A 300 MINUTOS Y TENDENCIA DE REACCIÓN.



GRÁFICA 8.- CINÉTICA DE REACCIÓN EN SOLUCIÓN CON VISCOSIDAD 1:1, PH 6.2 DURANTE 540 MINUTOS DE EXPERIMENTACIÓN.

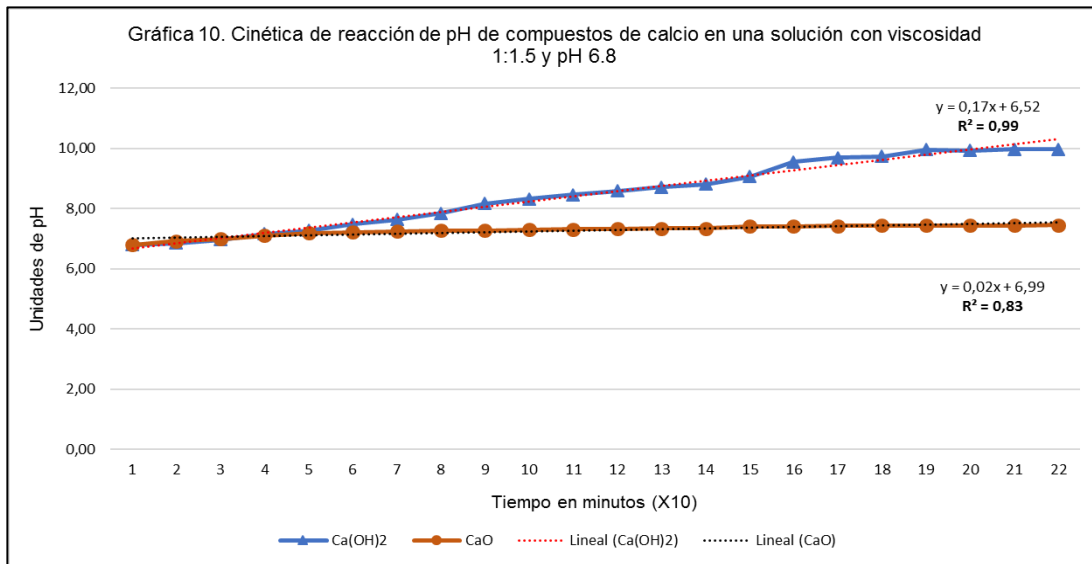
El CaO tiene un valor promedio alto (9.27) comparado con el Ca(OH)_2 (8.74) en este pH y viscosidad. El CaO tiene un efecto mayor en la solución ácida.(Gráfica 9)



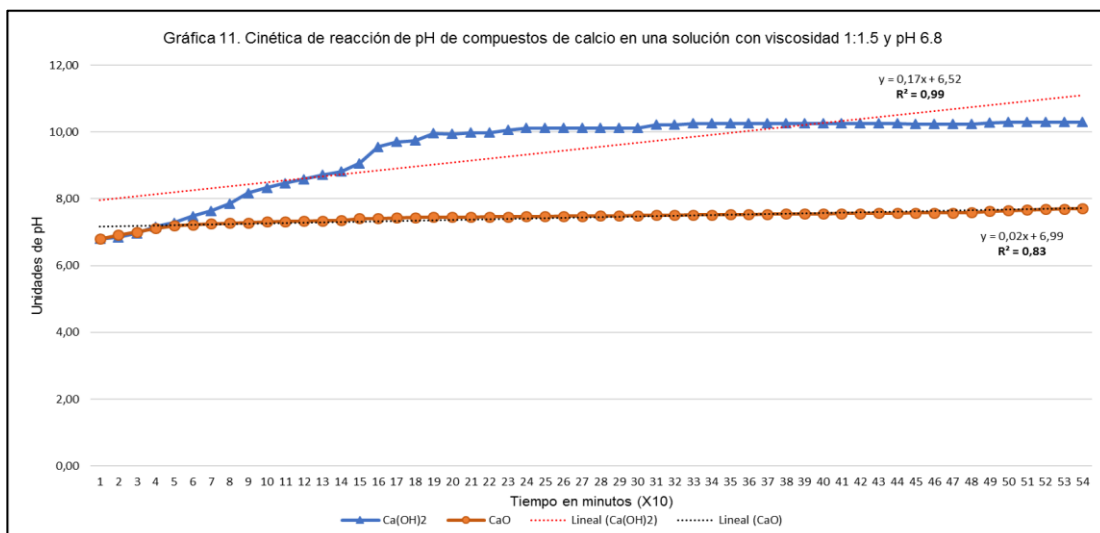
GRÁFICA 9.- PROMEDIO DE CINÉTICA DE REACCIÓN EN SOLUCIÓN, VISCOSIDAD 1:1 PH 6.2

Viscosidad 1:1.5 pH 6.8

El Ca(OH)_2 tiene un efecto mayor en viscosidad 1:1.5 y pH 6.8. La rapidez de descomposición del Ca(OH)_2 es mayor (0.17 min) que la del CaO (0.02) y con respecto a la relación 1:1 la rapidez es ligeramente mayor (Gráfica 10 y 11) El valor máximo del Ca(OH)_2 es 10.31 y del CaO 7.71.

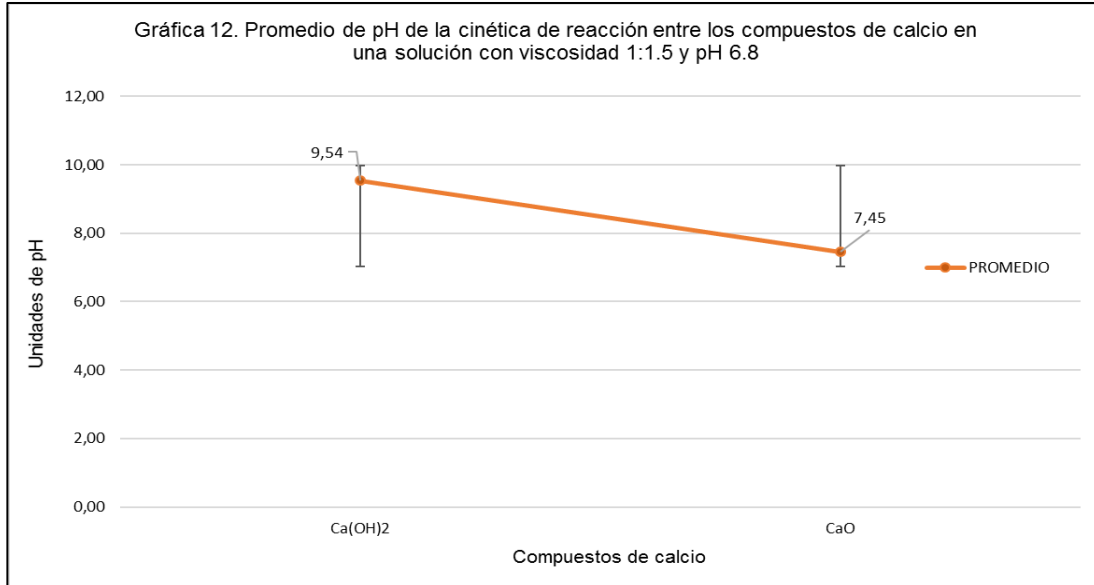


GRÁFICA 10.- CINÉTICA DE REACCIÓN EN SOLUCIÓN CON VISCOSIDAD 1:1.5 Y PH 6.8 CON CORTE A 220 MINUTOS Y TENDENCIA DE REACCIÓN.



GRÁFICA 11.- CINÉTICA DE REACCIÓN EN SOLUCIÓN CON VISCOSIDAD 1:1.5, PH 6.8 DURANTE 540 MINUTOS DE EXPERIMENTACIÓN.

El Ca(OH)_2 tiene un valor promedio alto de pH (9.54) en comparación con el CaO (7.45). El Ca(OH)_2 tiene un efecto mayor en la solución ácida. (Gráfica 12)

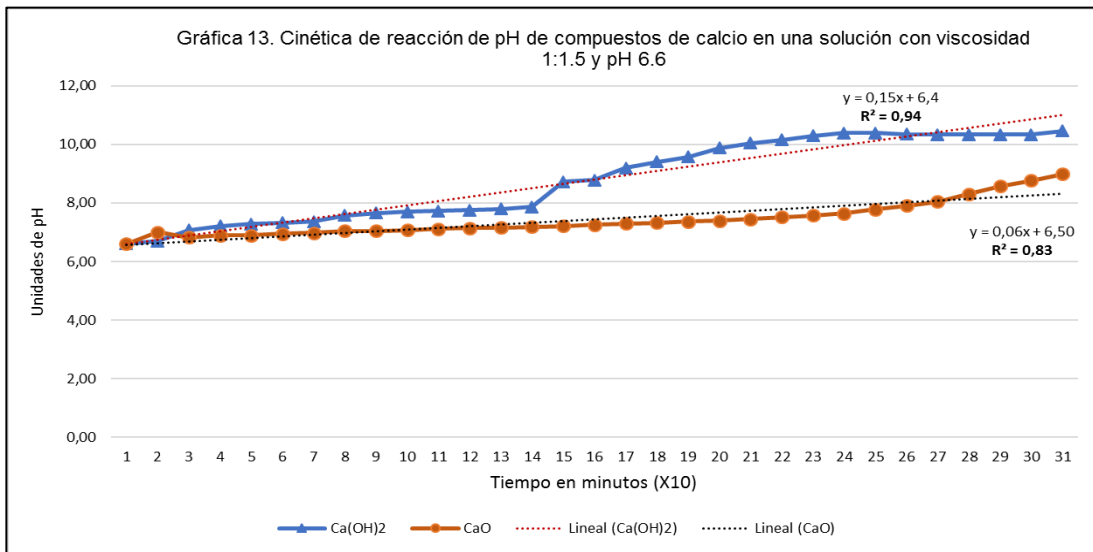


GRÁFICA 12.- PROMEDIO DE CINÉTICA DE REACCIÓN EN SOLUCIÓN, VISCOSIDAD 1:1.5, PH 6.8

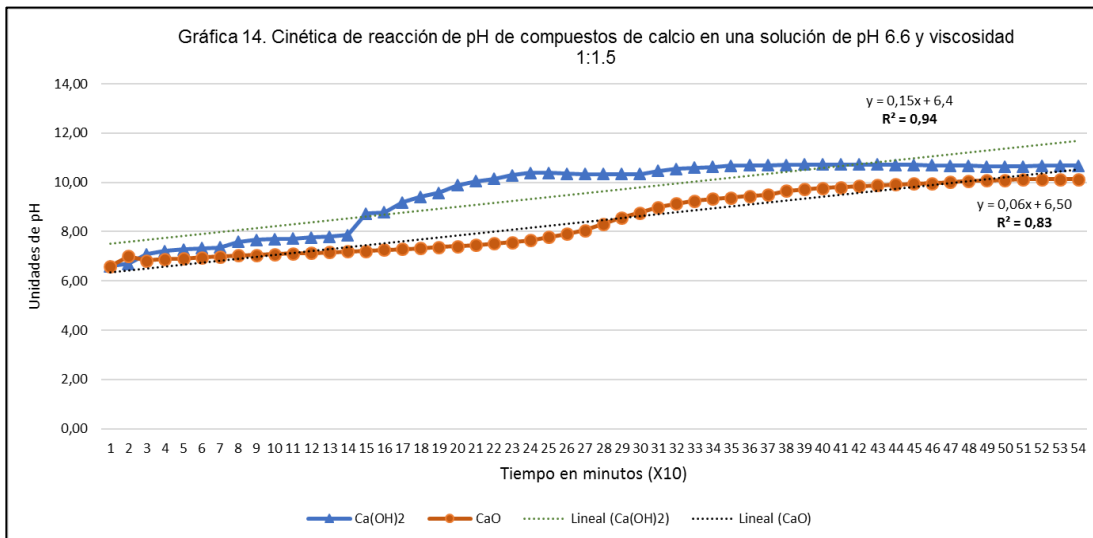
Viscosidad 1:1.5 pH 6.6

El Ca(OH)_2 se mantiene con pH constante al igual que el CaO hasta el min.150, que es cuando el Ca(OH)_2 tiene un aumento radical de pH. El CaO mantiene por mucho tiempo un pH constante hasta el minuto 250 que es cuando tiene un mayor cambio en su pH. Se observa que la cinética de reacción del CaO incrementó al presentar mayor acidez la saliva con relación 1:1.5, el Ca(OH)_2 no presenta cambio.(Gráfica 13 y 14)

El valor máximo del Ca(OH)_2 es 10.73 y del CaO 10.12.

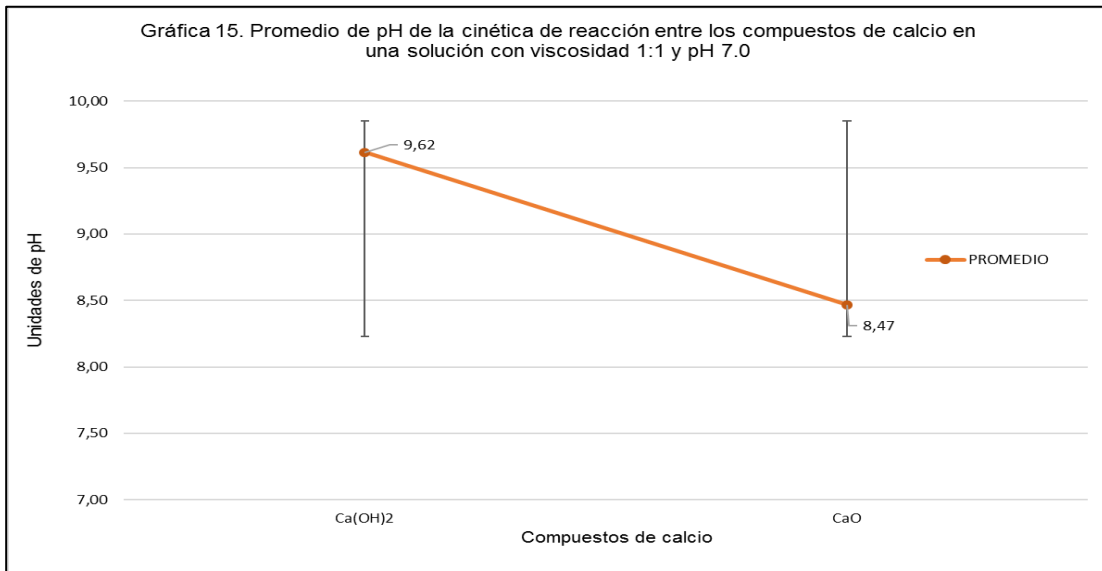


GRÁFICA 13.- CINÉTICA DE REACCIÓN EN SOLUCIÓN CON VISCOSIDAD 1:1.5 Y PH 6.6 CON CORTE A 310 MINUTOS Y TENDENCIA DE REACCIÓN.



GRÁFICA 14.- CINÉTICA DE REACCIÓN EN SOLUCIÓN CON VISCOSIDAD 1:1.5, PH 6.6 DURANTE 540 MINUTOS DE EXPERIMENTACIÓN.

El promedio de pH del hidróxido de calcio es mayor (9.62) que el óxido de calcio (8.47). El Ca(OH)_2 tiene un efecto mayor cuando la solución está en pH 6.6 y viscosidad 1:1.5. (Gráfica 15)

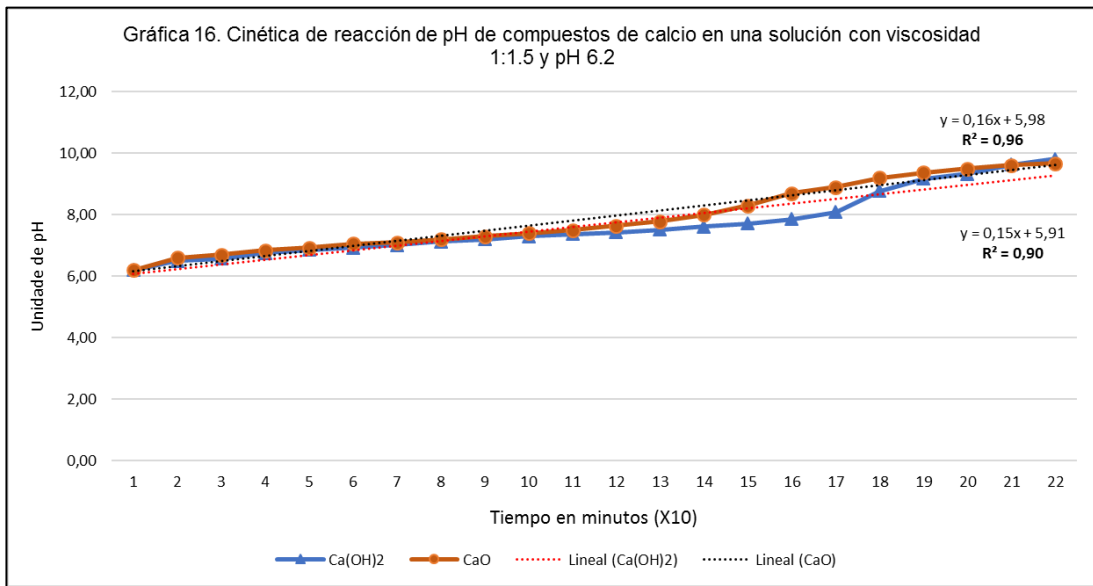


GRÁFICA 15.- PROMEDIO DE CINÉTICA DE REACCIÓN EN SOLUCIÓN, VISCOSIDAD 1:1.5 PH 6.6

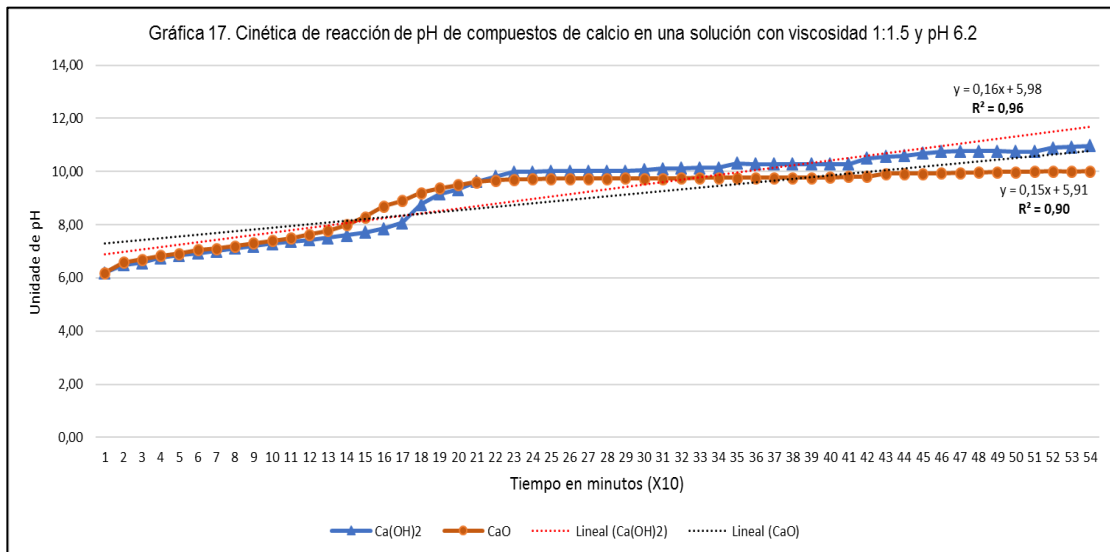
Viscosidad 1:1.5 pH 6.2

El Ca(OH)_2 y CaO mantienen valores de pH casi similares hasta el minuto 110 que es cuando el CaO tiene un efecto mayor hasta el minuto 220. El CaO tiene un aumento de pH más rápido en menor tiempo en pH 6.2 y viscosidad 1:1.5. A pH de 6.2, la cinética de reacción del CaO incrementó sustancialmente y casi igualó a la descomposición del Ca(OH)_2 . Esto demuestra que la acidez a la relación 1:1.5, tiene alto impacto en la cinética de CaO. (Gráfica 16 y 17)

El valor máximo del Ca(OH)_2 es 10.99 y del CaO 10.01.

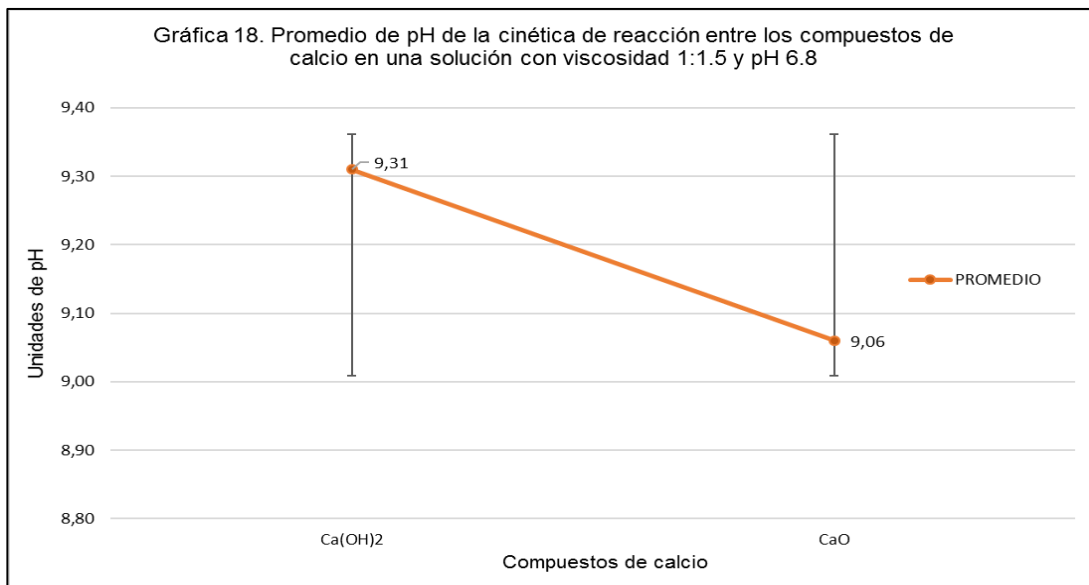


GRÁFICA 16.- CINÉTICA DE REACCIÓN EN SOLUCIÓN CON VISCOSIDAD 1:1.5 Y PH 6.2 CON CORTE A 222 MINUTOS Y TENDENCIA DE REACCIÓN.



GRÁFICA 17.- CINÉTICA DE REACCIÓN EN SOLUCIÓN CON VISCOSIDAD 1:1.5, PH 6.2 DURANTE 540 MINUTOS DE EXPERIMENTACIÓN.

El $\text{Ca}(\text{OH})_2$ tiene un valor promedio más alto que el de CaO . Comparando el promedio, el $\text{Ca}(\text{OH})_2$ tiene un efecto mayor en la solución ácida. (Gráfica 18)

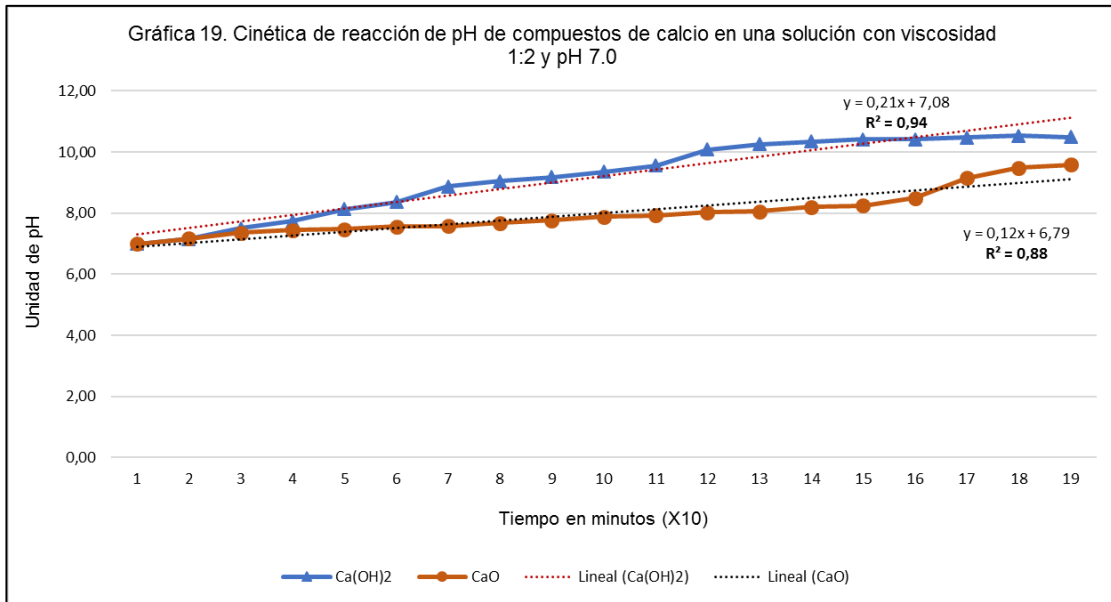


GRÁFICA 18.- PROMEDIO DE CINÉTICA DE REACCIÓN EN SOLUCIÓN, VISCOSIDAD 1:1.5 PH 6.2

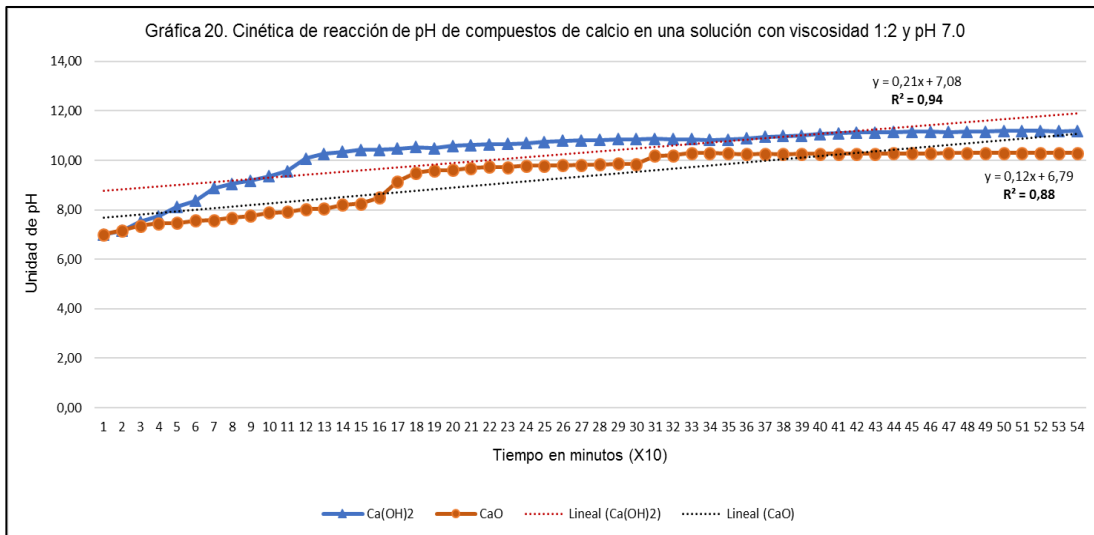
Viscosidad 1:2 pH 7.0

El $\text{Ca}(\text{OH})_2$ tiene un mayor efecto en el pH en menor tiempo, mientras que el CaO aumenta su pH de manera constante y tarda más tiempo en tener un cambio significativo antes de estabilizarse en viscosidad 1:2 y pH 7.0. Mayor rapidez de hidrólisis presentan ambos compuestos (0.21 y 0.12 min) al aumentar la viscosidad de la saliva artificial. (Gráfica 19 y 20)

El valor máximo del $\text{Ca}(\text{OH})_2$ es 11.19 y del CaO 10.30.

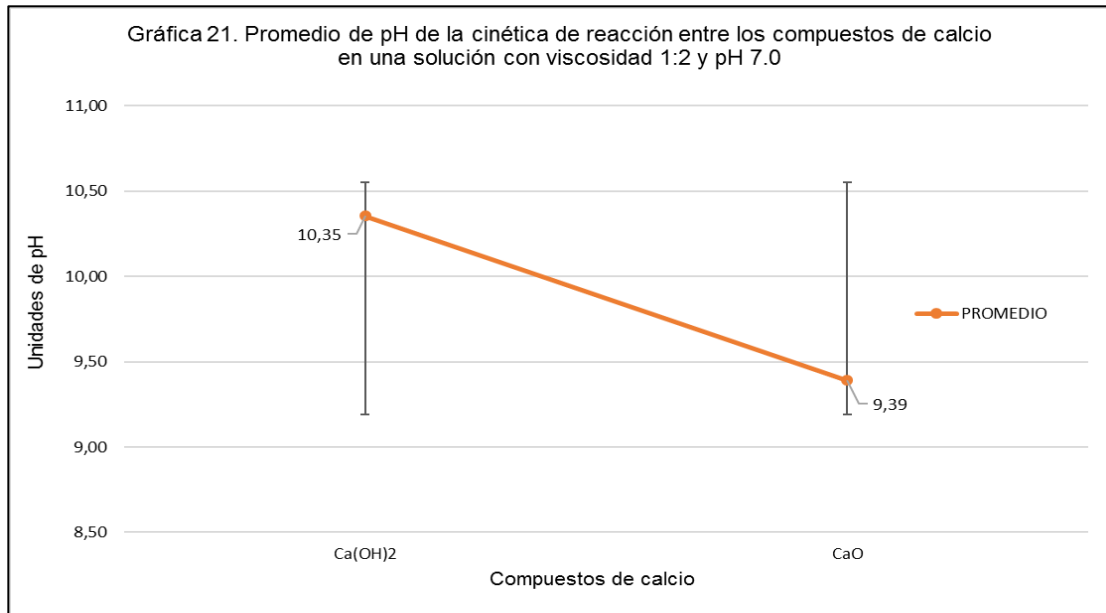


GRÁFICA 19.- CINÉTICA DE REACCIÓN EN SOLUCIÓN CON VISCOSIDAD 1:2 Y PH 7.0 CON CORTE A 190 MINUTOS Y TENDENCIA DE REACCIÓN.



GRÁFICA 20.- CINÉTICA DE REACCIÓN EN SOLUCIÓN CON VISCOSIDAD 1:2, PH 7.0 DURANTE 540 MINUTOS DE EXPERIMENTACIÓN.

El Ca(OH)_2 tiene un promedio mayor de pH (10.35) y significativo en comparación con el CaO (9.39). El Ca(OH)_2 tiene un efecto mayor en pH 7.0 y en la solución ácida. (Gráfica 21)

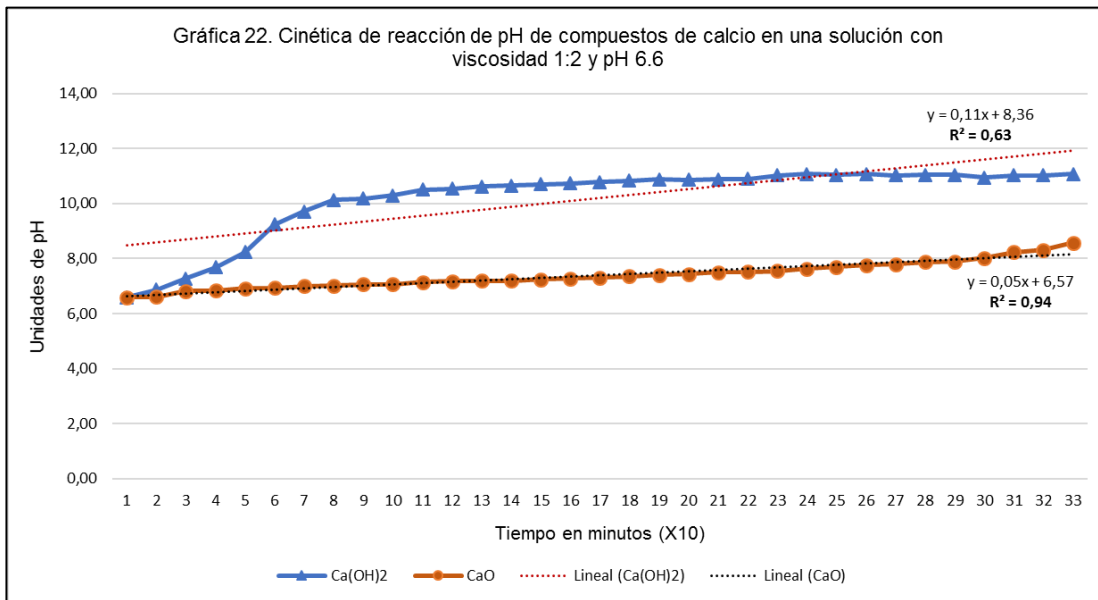


GRÁFICA 21.- PROMEDIO DE CINÉTICA DE REACCIÓN EN SOLUCIÓN, VISCOSIDAD 1:2 PH 7.0

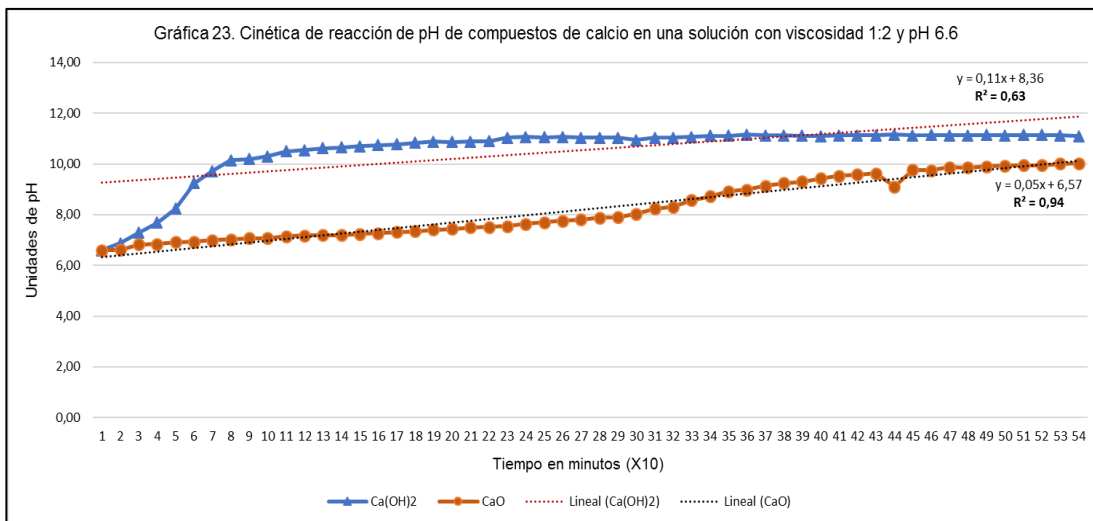
Viscosidad 1:2 pH 6.6

El Ca(OH)_2 tiene un mayor efecto en menor tiempo (80 min) ya que desde el minuto 20 comienza un aumento radical en el pH. El CaO mantiene un aumento constante en su pH en la mayor parte del tiempo. (Gráfica 22 y 23)

El valor máximo del Ca(OH)_2 es 11.16 y del CaO 10.08.

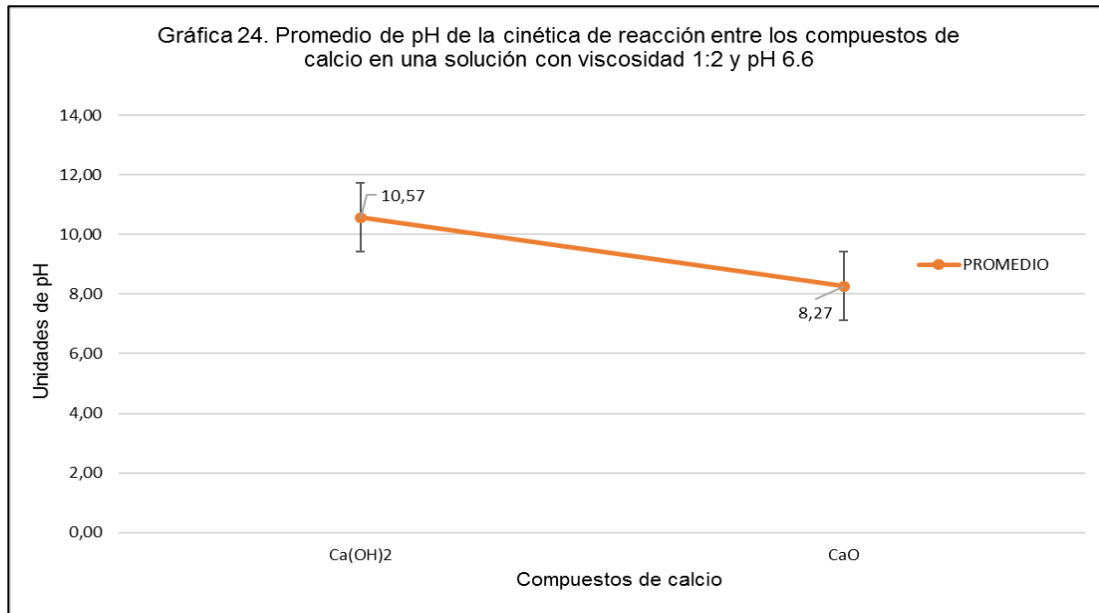


GRÁFICA 22.- CINÉTICA DE REACCIÓN EN SOLUCIÓN CON VISCOSIDAD 1:2 Y PH 6.6 CON CORTE A 330 MINUTOS Y TENDENCIA DE REACCIÓN.



GRÁFICA 23.- CINÉTICA DE REACCIÓN EN SOLUCIÓN CON VISCOSIDAD 1:2, PH 6.6 DURANTE 540 MINUTOS DE EXPERIMENTACIÓN.

El Ca(OH)_2 tiene un valor promedio de pH (10.57) mayor en comparación con el CaO (8.27). El Ca(OH)_2 tiene un efecto mayor en viscosidad 1:2 y pH 6.6. (Gráfica 24).

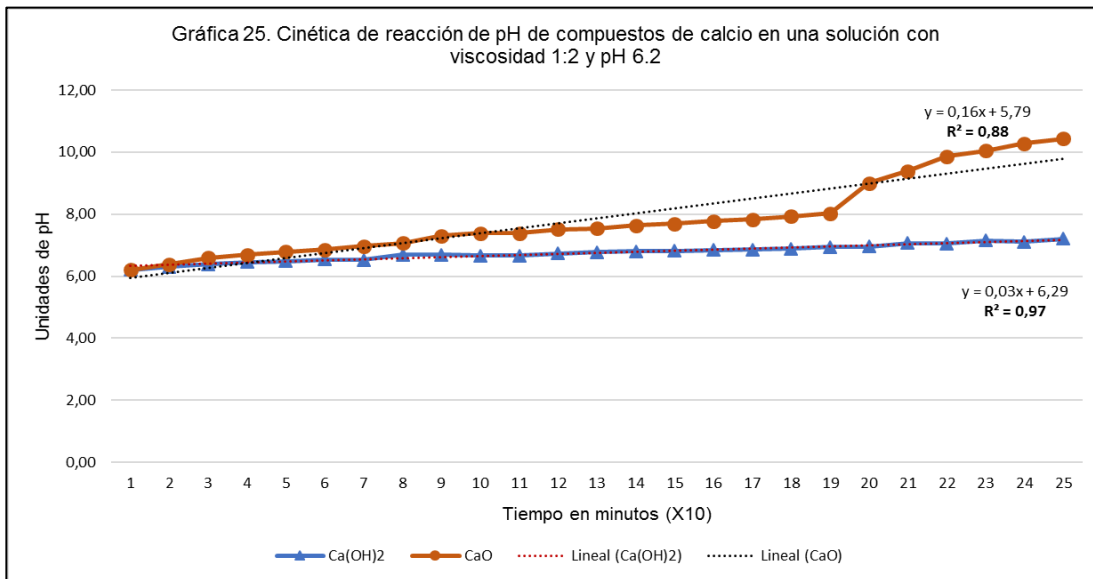


GRÁFICA 24.- PROMEDIO DE CINÉTICA DE REACCIÓN EN SOLUCIÓN, VISCOSIDAD 1:2 PH 6.6

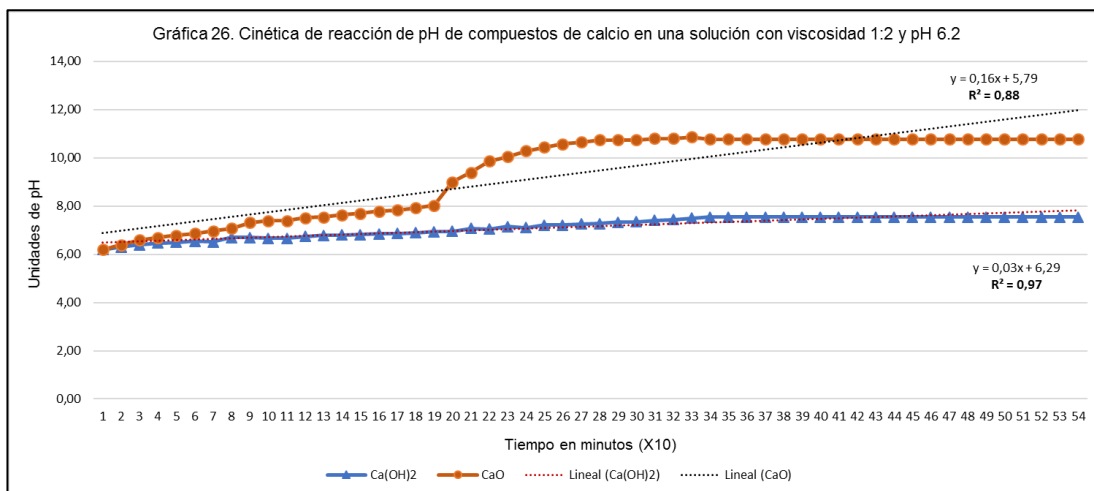
Viscosidad 1:2 pH 6.2

El CaO mantiene un aumento constante de pH hasta el minuto 190, que es cuando tiene un aumento radical de pH. El Ca(OH)_2 aumenta su pH de manera constante sin cambios significativos en viscosidad 1:1 y pH 6.2. En la viscosidad de la saliva artificial 1:2, el Ca(OH)_2 presenta comportamientos anómalos; mientras que el CaO se mantiene constante. (Gráfica 25 y 26).

El valor máximo del Ca(OH)_2 es 7.54 y del CaO 10.56.

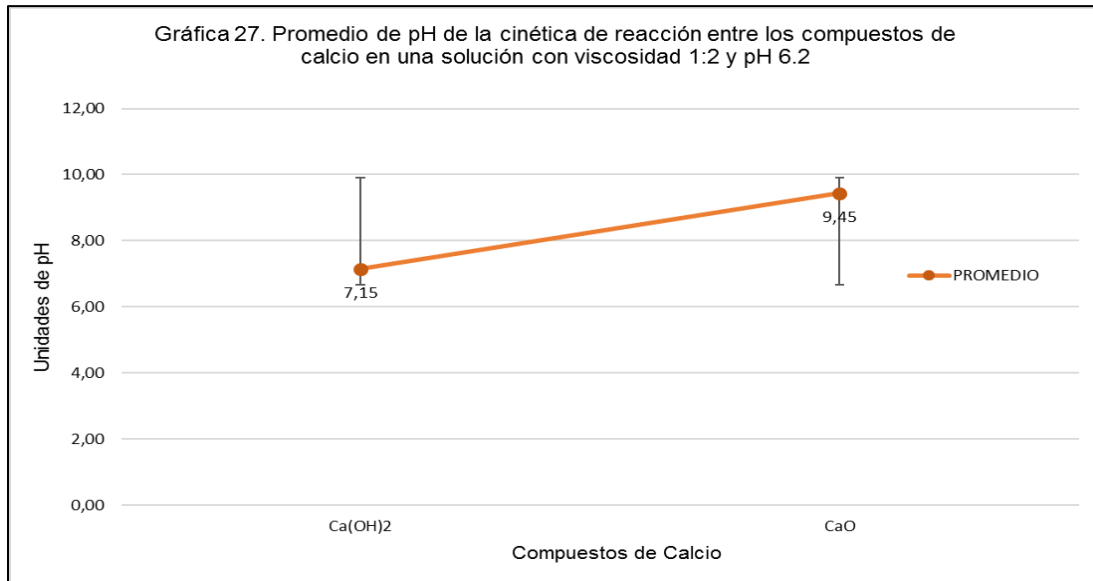


GRÁFICA 25.- CINÉTICA DE REACCIÓN EN SOLUCIÓN CON VISCOSIDAD 1:2 Y PH 6.2 CON CORTE A 250 MINUTOS Y TENDENCIA DE REACCIÓN.



GRÁFICA 26.- CINÉTICA DE REACCIÓN EN SOLUCIÓN CON VISCOSIDAD 1:2, PH 6.2 DURANTE 540 MINUTOS DE EXPERIMENTACIÓN.

El CaO tiene un mayor promedio (9.45) en comparación con el Ca(OH)₂ (7.15), el CaO tiene un efecto mayor en la solución ácida. (Gráfica 27)



GRÁFICA 27.- PROMEDIO DE CINÉTICA DE REACCIÓN EN SOLUCIÓN, VISCOSIDAD 1:2 PH 6.2

Discusión

El pH ácido en infecciones endodónticas es una condición que favorece la proliferación de bacterias dentro del sistema de conductos. Para detener la colonización y reparar tejido infectado, se utilizan diferentes materiales para la limpieza y desinfección de los conductos radiculares, uno de los materiales más estudiados y utilizados es el hidróxido de calcio, que al ser un material que favorece un medio alcalino, interviene en la proliferación de bacterias desde las primeras horas y mantiene su efecto hasta varios días según reportaron varios estudios^{8,28}, por lo que desde su aceptación en endodoncia hasta la actualidad, ha sido el medicamento intraconducto más utilizado en infecciones endodónticas.

El hidróxido de calcio como ya se mencionó, es un compuesto que tiene diversos usos en odontología debido a sus propiedades, este estudio se enfocó en la cinética de hidrólisis del hidróxido de calcio y óxido de calcio en diversas soluciones ácidas con distintas viscosidades y en la reacción se encontró que el hidróxido de calcio es el mejor compuesto con capacidad buffer en cualquier viscosidad utilizada. Y en casi todos los valores de pH que se establecieron.

El óxido de calcio a su vez es un compuesto con capacidad buffer por su pH alto, pero que en este modelo experimental está por debajo de los valores del hidróxido de calcio; al ser un compuesto activado no es utilizado en seres humanos y solamente tiene usos en la construcción, agricultura entre otras. El uso importante que tiene en la odontología es para la obtención del hidróxido de calcio. Aun así, el óxido de calcio tiene un efecto alcalino en las soluciones ácidas, y según los resultados obtenidos mantiene un pH alto en poco tiempo.

Forghani M.⁸ habla del efecto alcalino que tiene el hidróxido de calcio desde las 24 h, días o semanas, y presentaron diferentes métodos para la medición

de la cinética de reacción, como lo fue en dientes naturales extraídos con diversas características. En nuestro estudio se difiere en el método ya que se utilizó saliva artificial y solo en las primeras horas, simulando condiciones en las que el hidróxido de calcio tiene su mayor efecto en una infección y pH ácido.

En el caso del óxido de calcio no tenemos conocimiento de trabajos que hablen acerca de su cinética de reacción y de su uso en infecciones endodónticas, debido a que es un compuesto activado y a su gran alcalinidad.

Tanto el hidróxido de calcio como el óxido de calcio son compuestos alcalinos capaces de tener un efecto buffer, en cambio el hidróxido de calcio fue el mejor compuesto en las tres viscosidades y en diferentes valores de pH.

Nekoofar MH ¹⁸ menciona que en un proceso de infección existe la posibilidad de tener supuración, dependiendo de la etapa en la que se encuentre, ésta condición crea un medio ácido por los restos celulares, células de defensa y diferentes bacterias que provocan la modificación no solo del pH, sino también de la viscosidad, la cual depende de la cantidad de los componentes celulares. Por lo que en el actual trabajo se utilizaron tres diferentes viscosidades para determinar en qué medio tienen mejor capacidad de amortiguamiento. También se manejaron diferentes valores de pH en las soluciones ya que la infección tiene un medio ácido entre 6.4 y 6.8 y con estas soluciones se intentó simular valores distintos de pH ácido hasta el nivel 7.0 y así conocer su comportamiento en un tiempo determinado.

Ho²⁸ describe el comportamiento del hidróxido de calcio a las 3 h, 24 h y hasta dos semanas después de su colocación, obteniendo un pH final de la dentina interna y externa de 11.67 y 10.82 por lo que al igual que en nuestro estudio presenta valores cercanos al Ca(OH)_2 , en su método describe como es el comportamiento en los primeros minutos a su colocación, ni del incremento constante o radical del pH desde el inicio hasta un punto estable, su método

se basa en la utilización de dientes naturales extraídos y realizando un tratamiento de conductos previo a la aplicación de hidróxido de calcio en diferentes presentaciones, ya sea pasta de hidróxido de calcio o puntas de hidróxido de calcio.

En este trabajo de investigación se hicieron mediciones de pH desde el minuto cero para tener un control acerca del hidróxido de calcio y óxido de calcio en su comportamiento en medios ácidos y a diferencia de otros autores, solo se hicieron en soluciones ácidas fabricadas en el Laboratorio de Investigación de Materiales Dentales y Biomateriales en la DEPEI de la Facultad de Odontología, UNAM y se mantuvo un control solamente de 9 h, otra diferencia es que se trabajó con soluciones con viscosidad mayor a la que representa la mezcla de Ca(OH)_2 con solución salina.

En función del pH en la solución 1:1, el hidróxido de calcio y el óxido de calcio tienen diferencias estadísticamente significativas entre ellos, con base en los resultados y el análisis estadístico de U Mann-Whitney, por lo tanto, hay un mayor efecto alcalinizante en el mismo tiempo, en pH 7.0, 6.8 y 6.2, por lo que la hipótesis de trabajo se acepta en esta solución y estos valores de pH, sin embargo, en pH 6.6 y 6.4 no existe cambios significativos por lo cual la hipótesis nula se acepta solo en estos valores.

En la solución de viscosidad 1:1.5, el hidróxido de calcio y el óxido de calcio tienen diferencias significativas entre ellos, con base en los resultados y el análisis estadístico de U Mann-Whitney, por lo tanto, hay un mayor efecto alcalinizante en el mismo tiempo, en pH 6.8, 6.6 y 6.2, por lo que la hipótesis de trabajo en el trabajo se acepta en esta solución y estos valores de pH, sin embargo, en pH 7.0 y 6.4 no existe ningún cambio significativo por lo cual la hipótesis nula se acepta para estos valores.

En la solución de viscosidad 1:2, el hidróxido de calcio y el óxido de calcio tienen diferencias estadísticamente significativas entre ellos, con base en los

resultados y el análisis estadístico de U Mann-Whitney, por lo tanto, hay un mayor efecto buffer; es decir un efecto alcalinizante en el mismo tiempo, en pH 7.0, 6.6 y 6.2, por lo que la hipótesis de trabajo se acepta en esta solución y estos valores de pH, sin embargo, en pH 6.8 y 6.4 no existe ningún cambio significativo por lo cual la hipótesis nula se acepta solo para valores.

Conclusiones

El $\text{Ca}(\text{OH})_2$ y el CaO son compuestos que tienen diferencias y similitudes en función de su cinética de reacción y la viscosidad de las soluciones ácidas (1:1, 1:1.5 y 1:2). Las diferencias significativas existen en las tres soluciones ácidas, en los valores de pH y en la viscosidad de cada una de las soluciones.

El hidróxido de calcio obtuvo su mejor comportamiento con la mayoría de los valores de pH establecidos y alcanzó su pH más alto de 10.57, en la viscosidad 1:2.

El óxido de calcio solamente obtuvo valores por arriba del hidróxido de calcio en viscosidad 1:1 y 1:1.5 en dos valores de pH establecido; mientras que en la viscosidad 1:2 tuvo un comportamiento desfavorable en comparación con las otras viscosidades y el hidróxido de calcio. Su valor más alto de pH fue de 10.10 en viscosidad 1:1.5.

La hipótesis que plantea la existencia de diferencias en la cinética de reacción entre el hidróxido de calcio y el óxido de calcio en soluciones ácidas con diferente viscosidad se acepta.

El hidróxido de calcio fue el compuesto con mayor efecto alcalino en las tres soluciones ácidas y en la mayoría de los valores de pH establecidos.

Referencias bibliográficas

1. Hassibi M. Factores que afectan la calidad de la cal viva (CaO) desde el mineral hasta el procesamiento para su uso. 2009:7.
2. Departamento de salud y servicios para personas mayores de New Jersey. (*methane*) *Efectos agudos sobre la salud Efectos crónicos sobre la salud Riesgo de cáncer Riesgo para la reproducción Otros efectos a largo plazo Exámenes médicos*. Vol 1971.; 2003.
3. Galvan Ruiz M, Velazquez Castillo R. Cal , un antiguo material como una renovada opción para la construcción. *Ing Investig y Tecnol*. 2011;XII:93–102.
4. Lopreite G, Rodríguez P, Lenarduzzi A, et al. Variación de los niveles de pH del hidróxido de calcio mezclado con distintos vehículos. *Rev la Fac Odontol*. 2009;24(56):56–58.
5. Dra. Genné Rodríguez Gutiérrez; Dra. Marina Álvarez Llanes; Dr. Joel García Boss; Dra. Sury R. Arias Herrera; Maheli Más Sarabia. El hidróxido de calcio: su uso clínico en la endodoncia actual. 2004:143–152.
6. Han B, Wang X, Liu J, et al. The biological performance of calcium hydroxide-loaded microcapsules. *J Endod*. 2013;39(8):1030–1034. doi:10.1016/j.joen.2013.04.014.
7. Esberard RM, Carnes DL, del Rio CE. Changes in pH at the dentin surface in roots obturated with calcium hydroxide pastes. *J Endod*. 1996;22(8):402–405. doi:10.1016/S0099-2399(96)80239-1.
8. Forghani M, Mashhoor H, Rouhani A, Jafarzadeh H. Comparison of pH changes induced by calcium enriched mixture and those of calcium hydroxide in simulated root resorption defects. *J Endod*. 2014;40(12):2070–2073. doi:10.1016/j.joen.2014.09.006.
9. Zancan RF, Vivian RR, Milanda Lopes MR, et al. Antimicrobial Activity and Physicochemical Properties of Calcium Hydroxide Pastes Used as Intracanal Medication. *J Endod*. 2016;42(12):1822–1828. doi:10.1016/j.joen.2016.08.017.
10. Torabinejad M, Handysides R, Khademi AA, Bakland LK. Clinical implications of the smear layer in endodontics: A review1. Torabinejad M, Handysides R, Khademi AA, Bakland LK. Clinical implications of the smear layer in endodontics: A review. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 2002;94(6):658–66. doi:10.1067/moe.2002.128962.
11. Zamorano. DFB. Medicación intraconducto en endodoncia. 2013:1–37.
12. Baek SH, Lee WC, Setzer FC, Kim S. Periapical bone regeneration after endodontic microsurgery with three different root-end filling materials: Amalgam, SuperEBA, and mineral trioxide aggregate. *J Endod*. 2010;36(8):1323–1325. doi:10.1016/j.joen.2010.04.008.
13. Katsamakidis S, Slot DE, Van Der Sluis LWM, Van Der Weijden F. Histological responses

- of the periodontium to MTA: A systematic review. *J Clin Periodontol*. 2013;40(4):334–344. doi:10.1111/jcpe.12058.
14. Soares DJ, Lima FR, Lins F, et al. Un nuevo protocolo de medicación intraconducto para dientes con necrosis pulpar y rizogénesis incompleta. *Rev Estomatol Hered*. 2011;21:145–149.
 15. Heasman P a. An endodontic conundrum: the association between pulpal infection and periodontal disease. *Br Dent J*. 2014;216(6):275–279. doi:10.1038/sj.bdj.2014.199.
 16. Barnes JJ, Patel S. Contemporary endodontics – part 1. *Bdj*. 2011;211(10):463–468. doi:10.1038/sj.bdj.2011.964.
 17. Hilú R, Balandrano Pinal F. Opinión del Experto El éxito en endodoncia. *Endodoncia (Mex)*. 2009;27(3):131–138.
 18. Nekoofar MH, Namazikhah MS, Sheykhrezae MS, et al. PH of pus collected from periapical abscesses. *Int Endod J*. 2009;42(6):534–538. doi:10.1111/j.1365-2591.2009.01550.x.
 19. Mansilla C. Potencial de hidrogeniones- pH. *Rev Actual Clínica*. 2013;40:2076–2082.
 20. Biology 9. <http://colectivo11-904.blogspot.mx/2016/11/ph-el-ph-e-s-una-unidad-de-medida-que.html>. Consultado septiembre 27, 2017.
 21. DL Nelson MC. *Lehninger Principios de Bioquímica*. 5ª. OMEGA; 2007.
 22. Altare L. Reparación apical y periapical post-tratamiento endodóntico. *J Endod*. 2010;2:433–461.
 23. Esberard RM, Carnes DL, Rio CE. pH Changes at the Surface of Root Dentin When Using Root Canal Sealers Containing Calcium Hydroxide. 1996;22(8):399–401.
 24. Rodríguez-Niklitschek C, Oporto V GH. Implicancias clínicas de la contaminación microbiana por *Enterococcus faecalis* en canales radiculares de dientes desvitalizados: Revisión de la literatura. *Rev Odontológica Mex*. 2015;19(3):181–186. doi:10.1016/j.rodex.2015.04.002.
 25. Correa CP, García LB, del Río EP, Caballero AD. Correlación en el diagnóstico clínico, radiográfico e histológico de lesiones apicales dentales. *Rev Odontológica Mex*. 2017;21(1):22–29. doi:10.1016/j.rodex.2017.01.004.
 26. Yuni J. Salinas M, Ronald E. Millán I JCL. Abscesos del periodonto. *Conducta Odontológica*. 2008:1–23.
 27. Saghiri M, Sheibani N, Asatourian A, et al. The effect of pH on solubility of nano-modified endodontic cements. *J Conserv Dent*. 2014;17(1):13. doi:10.4103/0972-0707.124096.
 28. Ho CH, Khoo A, Tan R, Teh J, Lim KC, Sae-Lim V. pH changes in root dentin after intracanal placement of improved calcium hydroxide containing gutta-percha points. *J Endod*. 2003;29(1):4–8. doi:10.1097/00004770-200301000-00002.

