



**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE ODONTOLÓGÍA
DEPARTAMENTO DE ODONTOLÓGÍA RESTAURADORA**

**“COMPARACIÓN DE LA CONDUCTANCIA HIDRÁULICA TRANSDENTINARIA,
DE ACUERDO AL TIEMPO DE APLICACIÓN DE DESENSIBILIZANTES EN BASE
A OXALATOS, EN UN MODELO *IN VITRO*”**

María de los Ángeles Romero Verdugo

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN
REQUISITO PARA OPTAR AL TÍTULO DE
CIRUJANO-DENTISTA**

TUTOR PRINCIPAL

Prof. Dr. Eduardo Fernández Godoy

TUTORES ASOCIADOS

Prof. Dr. Javier Martín Casielles

**Adscrito a Proyecto de Difusión Transdentinaria PRI-ODO U. Chile
Santiago - Chile
2012**



**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE ODONTOLÓGIA
DEPARTAMENTO DE ODONTOLÓGIA RESTAURADORA**

**“COMPARACIÓN DE LA CONDUCTANCIA HIDRÁULICA TRANSDENTINARIA,
DE ACUERDO AL TIEMPO DE APLICACIÓN DE DESENSIBILIZANTES EN BASE
A OXALATOS, EN UN MODELO *IN VITRO*”**

María de los Ángeles Romero Verdugo

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN
REQUISITO PARA OPTAR AL TÍTULO DE
CIRUJANO-DENTISTA**

TUTOR PRINCIPAL

Prof. Dr. Eduardo Fernández Godoy

TUTORES ASOCIADOS

Prof. Dr. Javier Martín Casielles

**Adscrito a Proyecto de Difusión Transdentinaria PRI-ODO U. Chile
Santiago – Chile
2012**

A mi familia y amigos, especialmente a mis padres por su apoyo incondicional, entrega y respaldo. A Fabiola por su cariño y paciencia. A Polo e Isabella.

Agradezco a todos aquellos que contribuyeron a realizar este proyecto en especial al Dr. Javier Martín por su gran apoyo, paciencia y completa disponibilidad; al Dr. Eduardo Fernández por su respaldo y simpatía; a la Dra. Yelitza Niño por su incondicional ayuda en la recolección de muestras; a Francisco Araya por su ánimo, buen humor y compañía; a mi familia y amigos por su dedicación y cariño.

ÍNDICE.

Introducción.....	1
Marco Teórico.....	4
Hipótesis.....	21
Objetivos.....	22
Materiales y Métodos.....	24
Resultados.....	32
Discusión.....	41
Conclusión.....	50
Referencias Bibliográficas.....	51
Anexos.....	56

RESUMEN

El objetivo del estudio fue determinar mediante la utilización de un modelo *in vitro* la conductancia hidráulica en discos de dentina humana tratados con ácido oxálico por 15, 30 o 60 segundos y la mantención del efecto oclusivo medido a los 7 y 14 días post aplicación.

El modelo experimental utilizado para calcular la conductancia hidráulica de la dentina está basado en el planteado por Reeders en el año 1978. 45 discos dentinarios de 1mm de grosor fueron obtenidos de terceros molares humanos libres de caries, en inclusión, de pacientes entre 16 a 30 años de edad. Las caras oclusal y pulpar de los discos fueron grabadas con ácido ortofosfórico al 35% por 15 segundos para eliminar el barro dentinario y posteriormente fueron divididos en tres grupos de estudio (n=15), dependiendo del tiempo de aplicación de una solución comercial, BisBlock®, que contiene <5% ácido oxálico pH 1,5-1,8: Grupo A aplicación del agente por 15 segundos; Grupo B aplicación por 30 segundos y Grupo C por 60 segundos. La conductancia hidráulica de cada disco fue calculada posterior al grabado ácido, lo que corresponde a la máxima permeabilidad de dicho disco (100%), inmediatamente tras la aplicación del ácido oxálico y tras siete y 14 días de mantención en suero fisiológico. El análisis estadístico se realizó mediante test de ANOVA y post hoc de Games-Howell.

Los resultados muestran que tras la aplicación del ácido oxálico los valores promedio de conductancia obtenidos, expresados como un porcentaje de la máxima permeabilidad, son de $35,46 \pm 23,41\%$ para el grupo A, $36,34 \pm 15,88\%$ para el grupo B y $24,99 \pm 14,99\%$ para el grupo C, por lo que la utilización de BisBlock® por 15, 30 ó 60 segundos generó una disminución en la permeabilidad que fue estadísticamente significativa ($p < 0,05$). Ninguno de los tres tiempos de aplicación demostró ser más efectivo que el otro en disminuir la conductancia en ninguno de los tres tiempos de evaluación. Tras una semana de almacenamiento, la conductancia comienza a aumentar, siendo este aumento estadísticamente

significativo ($p < 0,05$) en los tres grupos de estudio. Al día 14 se observa un nuevo aumento de la conductancia, sin ser significativo ($p > 0,05$). Se concluyó que el ácido oxálico, BisBlock®, fue eficaz en reducir la conductancia hidráulica independiente del tiempo de aplicación, siendo esta reducción sólo temporal, ya que tras siete días la permeabilidad retorna a valores cercanos a los iniciales.

INTRODUCCIÓN

La permeabilidad dentinaria se define como el pasaje de fluidos, iones, moléculas, partículas y bacterias en y a través de la dentina bajo diferentes condiciones ⁽¹⁾. Los primeros estudios referidos a ella datan de la década del 40, cuando Bodecker y Lefkowitz realizaron un clásico experimento, que consistió en preparar una cavidad profunda, que incluyera dentina, que fue obturada con un apósito de colorante que luego pasó de la cavidad a zonas adyacentes del esmalte, dentina y pulpa ⁽²⁾.

Ya en el año 1978, Reeders *y cols* ⁽³⁾ describieron por primera vez un sistema de cámara de difusión y micropipeta para evaluar la velocidad del flujo de fluido a través de discos de la dentina. Este sistema puede ser utilizado para evaluar la permeabilidad no solo de discos de dentina, si no que de la dentina en cavidades profundas y piezas dentarias restauradas. También es apto para medir la capacidad de sellado de los materiales restauradores ⁽⁴⁾.

La comprensión del concepto de permeabilidad necesariamente requiere el conocimiento de las características morfológicas de la dentina. Esta ha sido descrita como un compuesto biológico poroso formado por una matriz de colágeno llena de cristales de apatita. Esta matriz es penetrada por los túbulos dentinarios, revestidos de dentina intratubular o peritubular rica en minerales y pobre en colágeno, que se encuentra incorporada dentro de una matriz de colágeno menos mineralizada o dentina intertubular ^(5, 6). Los túbulos dentinarios contienen, además del proceso odontoblástico, el fluido dentinario saturado de iones de calcio y fosfato que tienden a formar depósitos minerales dentro de los túbulos ^(5, 6).

Cada túbulo dentinario corresponde a un cono invertido, con el diámetro menor en la zona del límite amelodentinario y con el mayor hacia la pulpa dental. Debido a que se extienden a lo largo de todo el grosor de la dentina establecen

una comunicación con la pulpa dental lo que determina que estas dos estructuras se comporten funcionalmente como una sola, el complejo pulpo-dentinario ⁽⁶⁾. La presencia de estos túbulos es lo que determina que la dentina sea un tejido permeable, especialmente cuando pierde el sello externo dado por el esmalte y el cemento radicular, lo que determina que estos representen un continuo lleno de líquido desde la superficie oral a la cámara pulpar ⁽⁵⁾.

Cuando la dentina está expuesta y los túbulos abiertos al medio oral, se genera un flujo continuo hacia el exterior. Este fluido transforma a la dentina en un tejido extremadamente húmedo y es esta humedad la que atenta contra la adhesión de los materiales restauradores ⁽⁴⁾. Así, la permeabilidad de la dentina es una parte integral de la odontología restauradora moderna, donde la tecnología adhesiva juega un rol central ⁽¹⁾.

La dentina expuesta al medio oral puede causar, además, dolor agudo e intenso, usualmente denominado sensibilidad dentinaria, debido al movimiento de fluidos a lo largo de los túbulos dentinarios ^(1, 4). Se ha demostrado que la dentina sensible es permeable mientras que la dentina expuesta no sensible es impermeable ya que se encuentra hipermineralizada, y que este incremento en el contenido mineral es producto de la oclusión de los túbulos por material cristalino ⁽¹⁾. En 1986 Pashley ⁽⁷⁾ reportó que la sensibilidad dentinaria puede ser reducida fisiológica o patológicamente por la formación de cristales intratubulares a partir de minerales de la saliva o el fluido dentinario, formación de dentina peritubular, invasión de los túbulos por bacterias o proteínas plasmáticas y formación de dentina reparativa. La reducción de la permeabilidad a través de la oclusión tubular es el método que utilizan muchos de los agentes desensibilizantes existentes hoy en día para el tratamiento de la sensibilidad, como es el caso de los oxalatos, los cuales evaluados *in vitro* con el uso de discos de dentina han demostrado generar una oclusión de los túbulos dentinario ⁽⁸⁻¹⁰⁾ y reducir la permeabilidad dentinaria ⁽¹⁰⁻¹⁶⁾.

Esta reducción de la permeabilidad se traduce clínicamente en una reducción de la sensibilidad dentinaria, lo que ha sido demostrado por diversos

estudios, encontrándose diferencias estadísticamente significativas frente a la aplicación de placebos ⁽¹⁷⁻²²⁾. Sin embargo, esta reducción de la sensibilidad parece no ser permanente en el tiempo, mostrando un efecto de corta duración ^(17, 18).

Actualmente parece no existir un tratamiento permanente para la sensibilidad dentinaria, por lo que existe la necesidad de evaluar y comprender la duración de la oclusión tubular de los agentes desensibilizantes, como los basados en oxalatos, con el fin de mejorar la reducción de la permeabilidad y la duración de esta en el largo plazo.

MARCO TEÓRICO

Permeabilidad dentinaria y conductancia hidráulica

La permeabilidad de la dentina se define como el pasaje de fluidos, iones, moléculas, partículas y bacterias en y a través de la dentina bajo diferentes condiciones. En física, se refiere a la facilidad de pasaje y/o difusión a través de un cuerpo o tejido bajo condiciones estándar ⁽¹⁾.

La permeabilidad de la dentina no es uniforme en toda la pieza dentaria ya que el número de túbulos por mm^2 no es uniforme. La dentina ubicada justo por debajo del límite amelodentinario posee aproximadamente 1500 a 1900 túbulos/ mm^2 con un diámetro de 0,8 μm , mientras que la dentina cercana a la pulpa contiene 4500 túbulos/ mm^2 y poseen un diámetro de 2.5 μm . Esto determina que la cantidad de fluido presente en la superficie dentinaria es diferente en ambas dentinas, siendo de un 1% en dentina superficial y cerca de 22% en dentina profunda ⁽⁵⁾. Es por esto que cuando preparamos una cavidad para obturarla, a mayor profundidad de esta, mayor será la humedad, lo que afecta los mecanismos de adhesión de algunos de los materiales empleados, disminuyendo por lo tanto su capacidad de sellado. Esto se refleja en clínica por la aparición de sensibilidad postoperatoria, tinción de márgenes de la restauración y recidiva de caries ⁽²³⁾.

La dentina cercana a los cuernos pulpares es más permeable debido a que posee una mayor densidad tubular y un mayor diámetro de los túbulos, a diferencia de la dentina que se encuentra en el segmento medio, donde se halla el valor más bajo de permeabilidad, como se observa en la Figura 1 ^(5, 24). Además, la dentina radicular es menos permeable que la dentina coronaria; la dentina bajo una lesión cariosa (también llamada dentina afectada o esclerótica) es mucho

menos permeable que la normal ya que los túbulos de ésta se encuentran llenos con cristales minerales y los túbulos de dentina infectada por caries están llenos de bacterias. Estas dos formas de dentina ofrecen una alta resistencia al movimiento de fluido, razón por la cual son insensibles a estímulos masticatorios, termales y osmóticos ⁽⁵⁾.

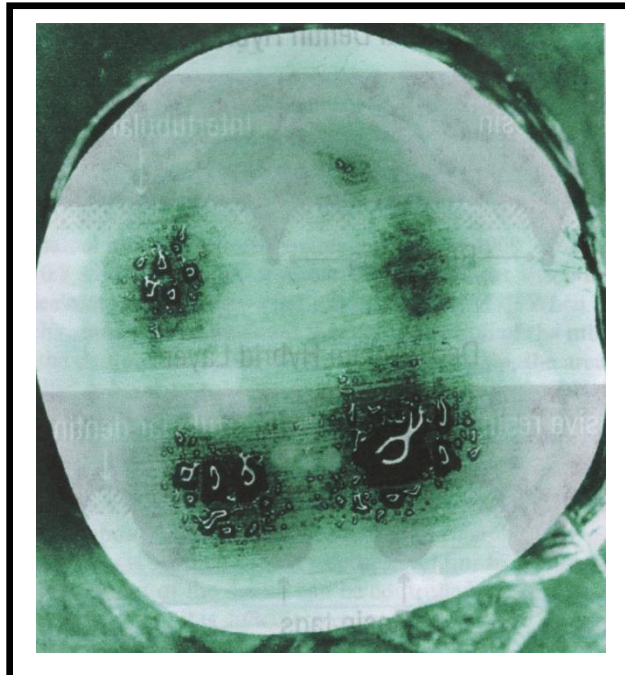


Fig.1. Variabilidad regional de la dentina ⁽²⁴⁾. Disco dentinario posicionado sobre una cámara de filtración con un medio de contraste. Aun cuando el grosor del disco era uniforme, el diámetro y la densidad de los túbulos es mayor sobre los cuernos pulpares, que son la zona más permeable.

Factores que modifican la permeabilidad dentinaria:

Existen múltiples factores que pueden alterar la permeabilidad dentinaria:

- Grosor: La facilidad con que se produce la filtración de fluido a través de la dentina depende de la longitud de los túbulos, siendo directamente

proporcional al grosor de la dentina, ya sea coronal o radicular. Cuando el grosor de la dentina disminuye, la filtración a través de la dentina aumenta exponencialmente ^(3, 24, 25). A medida que la dentina se vuelve más delgada durante la preparación cavitaria, los túbulos se acortan y aumentan su permeabilidad con respecto a una dentina más gruesa. Esto, además, hace a la dentina delgada intrínsecamente más sensible que la dentina de mayor grosor ⁽⁵⁾.

- Proximidad a la cámara pulpar: el número y diámetro de los túbulos dentinarios tienen una influencia crítica en la tasa de flujo a través de ellos. Debido a que los túbulos dentinarios son divergentes, la densidad tubular es menor en la periferia que cerca de la cámara pulpar. Además, son de mayor tamaño cerca de la pulpa y más estrechos a nivel del límite amelodentinario. La proporción del número de túbulos por unidad de área en la pulpa y la superficie más externa es de 4:1 en la dentina coronal, lo que determina que la dentina superficial es menos permeable que la dentina profunda ⁽²⁵⁾.
- Temperatura: Pashley y cols ⁽²⁶⁾ estudiaron la variación de la conductancia hidráulica en dentina grabada y no grabada sometidas a temperaturas entre 10 y 40°C demostrando un aumento de 1,8 a 4 veces en la permeabilidad. Este incremento se explica por una disminución de la viscosidad del agua y un aumento del diámetro de los túbulos dentinarios a medida que aumenta la temperatura.
- Componente pulpar: El contenido pulpar tiene una significativa influencia en la permeabilidad dentinaria. Por un lado, en un diente vital hay mecanismos que protegen a la pulpa ante injurias externas, como la formación de dentina terciaria y, por otro lado, cambios propios de la edad involucran un aumento gradual de la mineralización de la dentina, producto del crecimiento de la dentina peritubular que puede resultar en la oclusión de los túbulos. Ambos mecanismos hacen que la dentina sea menos

permeable pero, además, reducen el potencial de reacción pulpar frente a agentes nocivos ⁽¹⁾.

- Barro dentinario: Corresponde a una película de desechos micro cristalinos dejada sobre el tejido mineralizado después de que este se corta con cualquier instrumento, ya sea rotatorio o manual ⁽²⁷⁾. El barro dentinario, sobre esmalte o dentina, puede ser fácilmente removido por un breve grabado ácido, debido al pequeño tamaño de partículas que lo componen. La presencia de este barro reduce la permeabilidad dentinaria, representando entre un 80-85% de la resistencia total al flujo a través de la dentina ^(10, 11). Esta disminución parece ser causada mas por tapones de barro dentinario que se generan al interior de los túbulos dentinarios durante la preparación cavitaria que por los residuos presentes sobre la superficie de la dentina ⁽²⁸⁾.
- Grabado ácido: Se ha mostrado que el grabado ácido de la superficie dentinaria, con distintos compuestos como el ácido ortofosfórico al 37%, resulta en un incremento en la filtración de fluido a través de la dentina, a una presión constante, y por lo tanto de la conductancia hidráulica. Este aumento se debe a la remoción del barro dentinario sobre la superficie y al interior de los túbulos, pero también a la remoción de la fase mineral de la superficie de la matriz dentinaria ⁽³⁾.

El comportamiento del flujo del fluido dentinario se ajusta a las ecuaciones de dinámica de fluidos, específicamente a la Ley de Poiseuille ^(8, 23). La ecuación de Poiseuille puede ser aplicada a la filtración a través de la dentina (Figura 2), siendo los factores físicos que determinan el movimiento de fluido la presión tisular pulpar, viscosidad del fluido dentinario y la longitud y el radio de los túbulos dentinarios ⁽²³⁾. Hay que resaltar que el factor cuyas variaciones modifican de manera más importante el flujo es el radio tubular ^(8, 23).

$$F_d = \frac{P \cdot r^4}{8 \cdot \eta \cdot l}$$

Fig. 2. Ecuación de Poiseuille aplicada a la filtración a través de la dentina ⁽²³⁾. F es el volumen de flujo que aparece en la superficie dentinaria. P es la presión tisular intrapulpar, r es el radio tubular medio. η es la viscosidad del fluido dentinario y l la longitud media de los túbulos.

Para poder comparar la permeabilidad de distintas piezas que poseen distintas áreas de dentina, necesitamos conocer sus respectivas conductancias hidráulicas. Este parámetro se define como el flujo referido a la unidad de superficie a través de la cual se produce la filtración ⁽²³⁾ o como una medida de la facilidad con que un fluido, bajo presión hidrostática u osmótica, puede moverse a través de una barrera permeable (en este caso la dentina), bajo condiciones definidas ⁽³⁾. La ecuación que la define se muestra en la Figura 3 ⁽²³⁾.

$$Ch = \frac{F}{A \cdot P \cdot t}$$

Fig. 3. Ecuación de la conductancia hidráulica de la dentina ⁽²³⁾. F es el flujo de fluido a través de la dentina. A el área de dentina a través de la cual se produce la filtración. P la presión hidrostática intrapulpar y t el tiempo en minutos.

Numerosos investigadores intentaron cuantificar el movimiento de fluido a través de la dentina ^(29, 30), pero fueron Reeders y cols ⁽³⁾ quienes en 1978 introdujeron un método que permitió obtener la conductancia hidráulica de la

dentina, mediante la utilización de discos dentinarios, lo que les permitió un control y una definición precisa del área de superficie dentinaria y del grosor. Este consistió en una cámara de difusión en la cual el área dentinaria es controlada a través de un par de anillos de goma, que además permiten el sello de la cámara (Figura 4). Presión hidrostática fue aplicada a un lado de la cámara mediante un reservorio de solución buffer, para inducir la filtración a través de la dentina. La variación de la presión se logra regulando la altura del reservorio por sobre el disco dentinario. Así, la filtración se midió como el desplazamiento del fluido en una micropipeta conectada a la cámara ⁽³⁾.

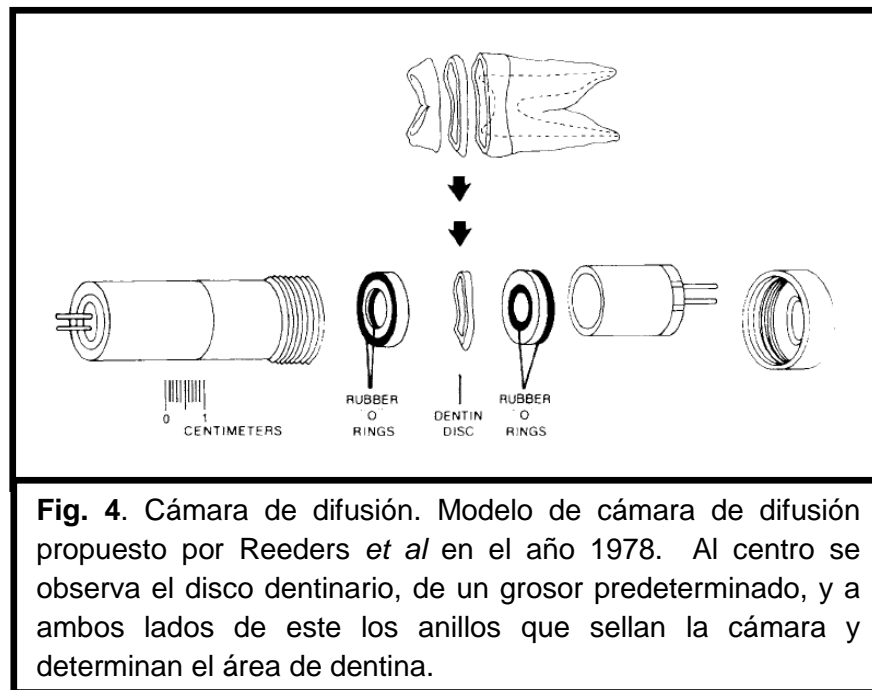


Fig. 4. Cámara de difusión. Modelo de cámara de difusión propuesto por Readers *et al* en el año 1978. Al centro se observa el disco dentinario, de un grosor predeterminado, y a ambos lados de este los anillos que sellan la cámara y determinan el área de dentina.

Sensibilidad dentinaria y permeabilidad

La sensibilidad dentinaria no es un problema nuevo en la práctica dental. Puede ser definida como un dolor agudo e intenso, de corta duración, que se origina en una zona del diente con exposición dentinaria en respuesta a estímulos térmicos, evaporativos, táctiles, osmóticos o químicos que son aplicados en dentina expuesta, y que no puede ser atribuido a ninguna otra forma de defecto o patología dental ⁽³¹⁾.

Estudios de prevalencia de la sensibilidad han mostrado que esta condición es un problema común dentro de la población adulta ^(32, 33). La naturaleza altamente subjetiva de la sensibilidad dentinaria y la gran variabilidad que presenta la respuesta dolorosa de cada individuo hace muy difícil lograr una medición precisa del problema en la población. Los trabajos publicados muestran un amplio rango de variación, con resultados que van desde un 3% a un 57% de prevalencia ⁽³²⁻³⁵⁾. Aproximadamente un 25% de la población general relata sufrir de sensibilidad dentinaria, pero, en las investigaciones clínicas, la prevalencia disminuye a un 17% aproximadamente ^(35, 36). Presenta su peak entre los 25 a 39 años de edad, a menudo es observada en premolares y, proporcionalmente, más piezas son sensibles a estímulos térmicos que táctiles, siendo el estímulo frío el que más comúnmente causa dolor ^(32, 36). Además, existen diferencias regionales en la sensibilidad, siendo encontrada más frecuentemente en el área cervical ⁽³⁷⁾.

Dos procesos deben suceder para que la sensibilidad dentinaria ocurra ⁽³¹⁾:

1. La dentina debe encontrarse expuesta (localización de la lesión):

Esta exposición dentinaria puede ocurrir por una pérdida de esmalte, generalmente considerada bajo el término de desgaste dentario, o producto de una recesión gingival ⁽³¹⁾. La pérdida de esmalte puede deberse a ⁽³¹⁾:

- Atrición: producto de la función oclusal.
- Anfracción: lesión inducida por el estrés que resulta de la aplicación de cargas excéntricas en la superficie oclusal del diente.
- Abrasión: definida como la pérdida de sustancia debido a cargas mecánicas, como el cepillado dental.
- Erosión: resultado de la interacción entre ácidos extrínsecos e intrínsecos con la superficie mineral del diente.

Sin embargo, lo más probable es que la exposición dentinaria a través de la pérdida de esmalte sea el resultado de la erosión producto de ácidos extrínsecos por si solos, o combinado con una abrasión producto del cepillado dental con pastas dentales ⁽³¹⁾.

La recesión gingival, por su parte, se ha descrito como una condición multifactorial, siendo factores causales importantes la enfermedad periodontal, el cepillado, tratamiento periodontales quirúrgicos y no quirúrgico, entre otros ⁽³¹⁾.

2. El sistema de túbulos dentinarios deben estar abiertos hacia la pulpa (iniciación de la lesión):

No toda la dentina expuesta es sensible ya que puede encontrarse cubierta por una capa de barro dentinario o bien los túbulos ocluidos por depósitos de fosfato de calcio provenientes de la saliva ⁽³¹⁾. Los estudios sugieren que la abrasión de algunas pastas dentales y la erosión por ácidos provenientes de la dieta pueden provocar la apertura del sistema de túbulos dentinarios, y por lo tanto generar sensibilidad ^(31, 38). La evidencia ha mostrado que la dentina sensible presenta mayor cantidad de túbulos abiertos, y más amplios, que la dentina no sensible, siendo la cantidad de túbulos expuestos por unidad de área aproximadamente ocho veces mayor en los dientes sensibles ⁽³¹⁾.

Microscópicamente los hechos que determinan los distintos grados de sensibilidad incluyen el número, el patrón y tamaño de los túbulos dentinario abiertos. Además, Absi y cols ⁽³⁹⁾ observaron en base a microscopia electrónica

que los túbulos abiertos se encontrarían restringidos a un área determinada de la lesión sensible, en la cual la profundidad de una tinción aplicada superficialmente ocupó todo el espesor de la dentina demostrando su gran permeabilidad, mientras el resto de esta se encontraría esclerótica

Aún cuando varias hipótesis han sido propuestas para explicar el mecanismo de la sensibilidad dentinaria, todavía no es claro cómo los estímulos aplicados en la superficie externa de la dentina pueden excitar las fibras nerviosas. La teoría hidrodinámica propuesta por Brännström y cols⁽⁴⁰⁾ es la más ampliamente aceptada hoy en día y postula que la mayoría de los estímulos que provocan dolor incrementan el flujo de salida del fluido que se encuentra en los túbulos dentinarios. Este aumento del flujo genera un cambio en la presión intrapulpal, que activa las fibras sensitivas A δ , mielinizadas y de conducción rápida. Estas fibras, que se encuentran en la periferia de la pulpa dental, presentan un umbral de excitación bajo y generan una sensopercepción localizada y de corta duración.⁽³¹⁾ Sin embargo, una revisión reciente establece que los odontoblastos posiblemente juegan un rol fundamental en el dolor dental actuando como sensores de tensión⁽⁴¹⁾. Estos odontoblastos estarían íntimamente relacionados a los terminales nerviosos a través de una serie de moléculas, proceso que aún no es comprendido totalmente⁽⁴¹⁾. El proceso odontoblástico se cree que contribuye a la sensibilidad actuando como un transductor odontoblástico ya que, como sólo penetra una pequeña distancia en el interior de los túbulos dentinarios, no pueden contribuir directamente en la transmisión de estímulos⁽³⁷⁾.

Una serie de estímulos pueden resultar en cambios en la presión a través de la dentina, resultando en la estimulación de las terminales nerviosas intradentales⁽³⁷⁾. La reacción que ocurre es proporcional a la presión y a la tasa de flujo de fluidos. Los estímulos fríos, que causan movimiento de fluidos que se alejan de la pulpa, crean una respuesta más rápida y profunda que los estímulos calientes, que causan un flujo hacia el interior de los túbulos.

Tratamiento de la sensibilidad dentinaria

La meta de todo tratamiento de la sensibilidad dentinaria es el inmediato y permanente cese del dolor. Clínicamente, la sensibilidad ha sido manejada con numerosos agentes utilizados tanto en el hogar por el paciente como aplicados por el profesional en la consulta dental ⁽¹⁷⁾. El uso de pastas dentales desensibilizantes ha sido respaldado en casos en que exista una sensibilidad leve mientras barnices y soluciones pueden ser utilizados en pacientes con sensibilidad moderada. Estos tratamientos descritos pueden ser denominados como “no invasivos”. En casos de sensibilidad severa, cementos de vidrio ionómero o agentes adhesivos pueden ser utilizados como tratamiento semi-invasivos, que producen la oclusión de los túbulos dentinarios ⁽¹⁸⁾.

Cuando existe sensibilidad dentinaria es porque no hay oclusión de los túbulos o esta es parcial, lo que provoca un aumento de la permeabilidad dentinaria. De acuerdo con la teoría hidrodinámica, existen dos enfoques básicos para el tratamiento de la sensibilidad ⁽⁴²⁾:

- A. Reducir la excitabilidad nerviosa intradental, de modo que las fibras nerviosas no respondan a los estímulos.
- B. Ocluir los túbulos dentinarios para reducir cualquier flujo de fluidos producidos por distintos estímulos.

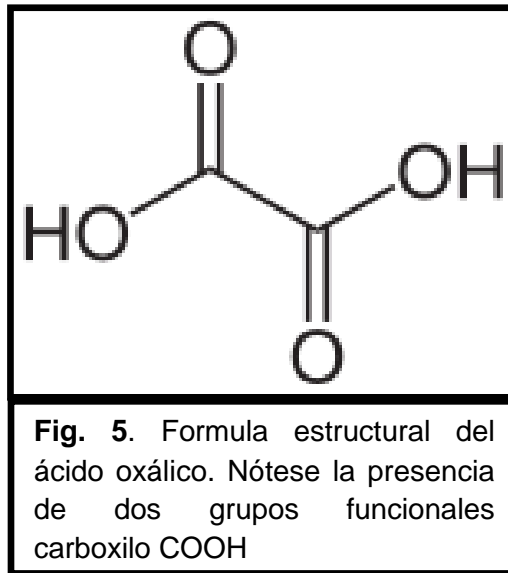
De acuerdo con este último punto, el objetivo de todo tratamiento de la sensibilidad dentinaria debe tender a restaurar la impermeabilidad de los túbulos dentinarios. Esta permeabilidad puede ser reducida fisiológica o patológicamente por la formación de cristales intratubulares desde el fluido dentinario o minerales de la saliva, formación de dentina peritubular, por invasión de los túbulos por bacterias, invasión de proteínas y formación de dentina reparativa ⁽⁷⁾.

El propósito de los diferentes compuestos que promueven la oclusión de los túbulos dentinarios es causar la precipitación de cristales que logren reducir el movimiento del fluido dentinario y que idealmente sean insolubles ante los ácidos que se desarrollan en la cavidad bucal, siendo efectivos en reducir la conductancia hidráulica ⁽¹¹⁾. Es así como la aplicación tópica de fluoruros, oxalatos u otros agentes que ocluyan los túbulos dentinarios pueden tener un efecto terapéutico en el tratamiento de la sensibilidad dentinaria ⁽⁷⁾.

Ácido Oxálico

El ácido oxálico ($H_2C_2O_4$) corresponde a un ácido débil que se encuentra dentro de la familia de los ácido carboxílicos y cuya estructura química se muestra en la Figura 5. Los oxalatos corresponden a las sales del ácido oxálico y en presencia de iones de calcio forman el oxalato de calcio (CaC_2O_4) una sal muy poco soluble ⁽⁴³⁾.

Los desensibilizantes en base a oxalatos se encuentran disponibles como geles y soluciones libres de resinas que consisten básicamente en ácido oxálico en bajas concentraciones ⁽⁴⁴⁾. Dentro de los productos que han sido empleados se pueden mencionar el oxalato de aluminio, oxalato de potasio, oxalato férrico y ácido oxálico, en distintas concentraciones y presentaciones ⁽²⁷⁾. Uno de los más ampliamente utilizado es el oxalato de potasio monohidratado al 3 o al 6%, con un pH que varía entre 2 a 4 ^(10, 11, 13, 19, 21, 22). Otras presentaciones utilizadas corresponden al oxalato férrico al 6% ^(9, 12, 20), oxalato de dipotasio al 30% pH neutro ^(10, 22) y una solución de ácido oxálico que posee una concentración <5% y un pH entre 1,5-1,8 (BisBlock®, Bisco Inc, Schaumburg, IL, Usa) ^(15, 17, 18, 45).



En los informes *in vitro* se ha sugerido que estos productos pueden interactuar con la superficie dentinaria produciendo precipitados de oxalato de calcio, con el potencial para ayudar a la oclusión de los túbulos dentinarios ^(10, 27). El tratamiento del barro dentinario con estos elementos transforman la superficie dentinaria, que es lábil a los ácidos, en una estructura ácido resistente producto del reemplazo del barro dentinario original por una capa de cristales de oxalato de calcio ⁽¹⁰⁾, reduciendo significativamente la conductancia hidráulica ⁽¹⁰⁻¹⁶⁾. Esto sugirió que estos podrían limitar el flujo de fluido dentinario en la dentina expuesta *in vivo*, y por lo tanto, reducir la sensibilidad.

Dragolich y cols ⁽⁹⁾ estudiando la capacidad de oclusión tubular del oxalato férrico propuso un mecanismo de acción para este, que puede ser aplicado a cualquier solución en base a oxalato que presente un pH bajo: la acidez de la solución aplicada tópicamente causa la disolución de la capa de barro dentinario, fenómeno que eleva gradualmente el pH debido a la disolución de la hidroxiapatita y otros compuestos dentinarios, los cuales neutralizan los iones hidrógeno presentes, causando la precipitación de oxalato cálcico y fosfato férrico.

Ya en el año 1985, Pashley y Galloway observaron a través de microscopia electrónica y de la medición de la conductancia hidráulica que el tratamiento de discos de dentina con soluciones en base a oxalato de potasio, en distintas concentraciones y composiciones, producía una reducción estadísticamente significativa en la permeabilidad de la superficie tratada, concluyendo además que los oxalatos remueven el barro dentinario y lo reemplazan con un precipitado de cristales que ocluye los túbulos dentinarios y que es ácido resistente ⁽¹⁰⁾.

Múltiples estudios han reportaron que la aplicación de distintos agentes en base a oxalato produce una reducción de la permeabilidad dentinaria que varía entre 75% a 98,4% ⁽¹⁰⁻¹⁶⁾. Estos valores de permeabilidad son similares a los obtenidos cuando el barro dentinario no es removido de la superficie dentinaria, que es cerca de un 80% de la resistencia total al flujo de fluidos en la dentina ^(10, 11). Pereira y cols ⁽¹¹⁾ utilizando geles en base a oxalato con distinto pH, cuyos valores estaban entre 2,5 y 4,1, demostraron que el producto con menor pH muestra la mayor reducción en la tasa de filtración y es menos susceptible a la condiciones de pre-tratamiento de la dentina. Se concluyó que el gel más ácido fue, probablemente, capaz de liberar más calcio desde la dentina para reaccionar con el oxalato de potasio y formar cristales insolubles de oxalato de calcio.

Los estudios *in vitro*, además de analizar la permeabilidad, han evaluado la superficie dentinaria tratada con agentes en base a oxalatos a través de microscopia electrónica de barrido (MEB). Cuando sobre la superficie dentinaria cubierta de barro dentinario se utilizaron distintas soluciones de oxalato, las muestras presentaron un precipitado cristalino denso cubriendo la superficie y ocluyendo los túbulos dentinarios ⁽⁸⁻¹⁰⁾. Dragolich y cols ⁽⁹⁾ observaron discos tratados con oxalato férrico previamente grabados, determinando que existe una disminución del número de cristales formados en la superficie tratada en aquellos discos donde el barro dentinario había sido removido. Se concluyó que el este provee una gran cantidad de iones calcio para interactuar con la solución y por lo tanto, su remoción disminuye el número de iones disponibles y el número de cristales precipitados. Se ha observado que al aplicar distintos agentes en base a

oxalatos sobre dentina previamente grabada se produce el precipitado de cristales sobre la superficie pero también al interior de los túbulos dentinarios ^(44, 46). Es más, se ha demostrado que en estudios de permeabilidad donde el barro dentinario se mantuvo intacto, el rango de filtración es mayor en comparación a los valores obtenidos cuando el barro dentinario ha sido removido previo al tratamiento de la dentina con oxalatos ⁽³¹⁾. Shono y cols ⁽⁴⁶⁾ evaluaron a través de MEB la superficie dentinaria y el interior de los túbulos dentinarios, reportando que no se encuentran cristales a grandes profundidades al interior de los túbulos después del tratamiento del barro dentinario con una solución de oxalato de potasio, en contraste con las muestras en que el barro fue removido previamente a través de un grabado ácido. Esto concuerda con los resultados de Tay y cols ⁽⁴⁴⁾, quienes establecen que cuando los oxalatos son usados sobre dentina previamente grabada, cristales sub superficiales son observados al interior de los túbulos dentinarios. Estos se localizan de 3 a 7 micrones bajo la superficie oclusal y se encuentran ausentes en la superficie dentinaria o en los orificios tubulares.

Mientras los estudios *in vitro* indican que los compuestos en base a oxalatos tienen el potencial de disminuir la sensibilidad al reducir la permeabilidad dentinaria, los estudios clínicos muestran resultados contradictorios. Trabajos muestran que la aplicación de distintas soluciones de oxalato producen una disminución estadísticamente significativa de la sensibilidad en pacientes que la padecen ⁽¹⁷⁻²²⁾. Camps y cols ⁽¹⁹⁾ mostraron que la aplicación de oxalato de potasio monohidratado al 3% sobre dentina radicular sensible fue más efectiva que la aplicación de una solución placebo y que sólo un 8% de las piezas tratadas no respondieron al tratamiento, indicando que el estado de inflamación pulpar previo juega un rol determinante tanto en el nivel de sensibilidad inicial como en la efectividad del tratamiento y que las piezas que no respondieron a este pudieron haber presentado una inflamación pulpar más severa que aquellas que si lo hicieron. Al evaluar su efectividad inmediata y en un plazo de 4 semanas, se ha encontrado que el desensibilizante utilizado, ácido oxálico, fue efectivo en aliviar la sensibilidad dentinaria tras su aplicación y que la diferencia en los valores iniciales y finales, en una escala visual análoga, siguen siendo estadísticamente

significativas ⁽¹⁸⁾.

Sin embargo, una revisión bibliográfica reciente no respalda el uso de estos para el tratamiento de la hipersensibilidad dentinaria. Aún cuando las conclusiones de dicho estudio establecen que, salvo el oxalato de potasio monohidratado al 3%, las formulaciones en base a oxalatos estudiadas no presentan ningún beneficio en el tratamiento de la hipersensibilidad ⁽⁴⁷⁾, sus resultados deben ser tomados con cautela. Por un lado, el análisis de los datos tomados en conjunto por este trabajo no puede determinar si la falta de efecto fue producto de una verdadera ineficacia del tratamiento o por las limitaciones del diseño de los estudios que fueron incluidos en la revisión ⁽⁴⁷⁾ y, por otro lado, debemos considerar que la sensibilidad dentinaria tiene una naturaleza intermitente así como un efecto placebo importante lo que hace difícil una demostración clínica definitiva de su eficacia en el tratamiento de esta condición ⁽⁴⁸⁾.

Esta falta de eficacia clínica podría explicarse en parte a que la oclusión de los túbulos dentinarios proveería solo una reducción temporal de la permeabilidad y por lo tanto de la sensibilidad ⁽⁸⁾. Santiago y cols ⁽¹³⁾ evaluaron la influencia del tiempo post aplicación de varios geles de oxalato en la reducción de la conductancia hidráulica de la dentina y mostraron que al realizar mediciones a los 5, 15 y 30 minutos tras la aplicación del agente, la permeabilidad dentinaria medida *in vitro* disminuye significativamente con el tiempo, independiente del agente aplicado. Sin embargo, las mediciones al largo plazo muestran el resultado contrario. Un estudio en el cual discos tratados con dos soluciones que contenían oxalatos fueron adheridos a las prótesis removibles del mismo paciente donante de la muestra, indica que tras 7 días de exposición al medio oral los túbulos dentinarios tratados se muestran nuevamente abiertos al analizarlos mediante MEB ⁽⁸⁾. Es decir, la aplicación de oxalatos para generar la oclusión de los túbulos dentinarios tendría un efecto de corta duración. No obstante, esta aplicación puede reducir inicialmente la sensibilidad dentinaria, tiempo suficiente para que tenga lugar la oclusión natural de los túbulos dentinarios, ya que este mismo trabajo estableció que tras cuatro semanas de exposición al medio oral las

muestras control, que sólo fueron grabadas con EDTA, presentaron la misma cantidad de túbulos dentinarios pero estos sufrieron una disminución dramática de su diámetro, probablemente producto del crecimiento de cristales provenientes de los minerales de la saliva ⁽¹²⁾.

Con el fin de prolongar el efecto oclusivo del oxalato de calcio es que se planteó un protocolo que consiste en la aplicación de desensibilizantes en base a oxalatos en dentina grabada y previo a la aplicación del agente adhesivo ⁽⁴⁴⁾.

Un segundo propósito de este método es reducir el transudado de fluido dentinario que se produciría después de la remoción del barro dentinario y antes de que tenga lugar la polimerización de los adhesivos utilizados hoy en día. Los estudios muestran que los adhesivos permanecen altamente permeables después de su polimerización y esto permite el transudado de líquido a través de la dentina con adhesivo polimerizado ⁽⁴⁴⁾. Se ha demostrado que los adhesivos no presentan buena adhesión a una dentina no grabada tratada con oxalatos, ya que la capa de cristales de oxalato de calcio ácido resistentes interfieren con la infiltración de estos a través de la matriz de colágeno desmineralizada, lo que disminuye la fuerza de adhesión ⁽⁴⁴⁾. Sin embargo, cuando los iones calcio son eliminados de la capa de barro dentinario y de la dentina subyacente, los iones de oxalato difunden al interior de los túbulos dentinarios hasta una zona donde el calcio se encuentre disponible para reaccionar. De esta forma, la reducción en la permeabilidad dentinaria se lleva a cabo mediante una oclusión tubular sub-superficial que no interfiere con la posterior infiltración de la resina ^(15, 44).

La evaluación del efecto de los agentes adhesivos sobre la permeabilidad dentinaria muestra que únicamente la restauración con adhesivo mas resina compuesta logra contrarrestar y disminuir la permeabilidad adquirida con el grabado ácido ⁽¹²⁾ y que la aplicación de un gel de oxalato previo al proceso adhesivo es la técnica más efectiva para reducir la permeabilidad dentinaria ⁽⁴⁹⁾.

Es así que, optimizar el funcionamiento de los agentes en base a oxalato y

lograr así la mayor disminución de la permeabilidad es de relevancia clínica, no sólo desde el punto de vista de la sensibilidad dentinaria, sino que también desde el punto de vista de optimizar los procesos adhesivos mediante resinas compuestas.

Basados en la información disponible podemos decir que *in vitro* los oxalatos tienen el potencial de disminuir la permeabilidad, pero sólo por un tiempo limitado. La influencia del tiempo de aplicación del agente es un aspecto de estos compuestos que es poco claro. Shono y cols⁽⁴⁶⁾ utilizando una solución en base a oxalato estableció que la disminución de la conductancia hidráulica sobre dentina no grabada ocurre 10 segundos después de la aplicación de la solución, en cambio en dentina grabada la disminución es significativa tras 60 segundos de aplicación. Para ambos grupos, el tamaño del cristal precipitado y el grosor de la capa de cristales aumentan con el tiempo de aplicación. En los estudios que evalúan, *in vitro* o clínicamente, los agentes en base a oxalatos existen amplias variaciones en los tiempos de aplicación, los que van desde los 15 segundos⁽¹⁹⁾ hasta los 5 minutos⁽¹⁴⁾, dependiendo de la presentación del ácido oxálico. Un claro ejemplo de esto es lo que sucede con el oxalato de potasio monohidratado al 3%, que ha sido utilizado por distintos estudios *in vitro* de evaluación de la conductancia hidráulica, los cuales lo han aplicado por 2⁽¹⁰⁾, 3⁽¹³⁾ o 4⁽¹¹⁾ minutos. En los tres estudios se determinó que la utilización de esta formulación generaba una disminución de la conductancia hidráulica que es estadísticamente significativa. Es decir, si bien los tiempos de aplicación son variables, los resultados de los estudios *in vitro* son similares, existiendo una diferencia estadísticamente significativa en la disminución de la conductancia hidráulica tras la aplicación de oxalatos⁽¹⁰⁻¹⁶⁾.

HIPOTESIS.

H_0 : No existe diferencia significativa en la disminución de la conductancia hidráulica en discos de dentina humana tratados con ácido oxálico por 15, 30 o 60 segundos ni en la mantención del efecto oclusivo del oxalato a los 7 y 14 días post aplicación.

H_1 : Existe diferencia significativa en la disminución de la conductancia hidráulica en discos de dentina humana tratados con ácido oxálico por 15, 30 o 60 segundos y en la mantención del efecto oclusivo del oxalato a los 7 y 14 días post aplicación.

OBJETIVO GENERAL.

- El objetivo del estudio fue determinar mediante la utilización de un modelo *in vitro* la conductancia hidráulica en discos de dentina humana tratados con ácido oxálico por 15, 30 o 60 segundos y la mantención del efecto oclusivo medido a los 7 y 14 días post aplicación.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Determinar *in vitro* la conductancia hidráulica de discos de dentina humana grabados con ácido ortofosfórico al 35%
- Determinar *in vitro* la conductancia hidráulica de discos de dentina humana grabados con ácido ortofosfórico al 35% y tratados con ácido oxálico por 15 segundos, inmediatamente después de su aplicación.
- Determinar *in vitro* la conductancia hidráulica de discos de dentina humana grabados con ácido ortofosfórico al 35% y tratados con ácido oxálico por 15 segundos, 7 días después de su aplicación.
- Determinar *in vitro* la conductancia hidráulica de discos de dentina humana grabados con ácido ortofosfórico al 35% y tratados con ácido oxálico por 15 segundos, 14 días después de su aplicación.
- Determinar *in vitro* la conductancia hidráulica de discos de dentina humana grabados con ácido ortofosfórico al 35% y tratados con ácido oxálico por 30 segundos, inmediatamente después de su aplicación.
- Determinar *in vitro* la conductancia hidráulica de discos de dentina humana

grabados con ácido ortofosfórico al 35% y tratados con ácido oxálico por 30 segundos, 7 días después de su aplicación.

- Determinar *in vitro* la conductancia hidráulica de discos de dentina humana grabados con ácido ortofosfórico al 35% y tratados con ácido oxálico por 30 segundos, 14 días después de su aplicación.

- Determinar *in vitro* la conductancia hidráulica de discos de dentina humana grabados con ácido ortofosfórico al 35% y tratados con ácido oxálico por 60 segundos, inmediatamente después de su aplicación.

- Determinar *in vitro* la conductancia hidráulica de discos de dentina humana grabados con ácido ortofosfórico al 35% y tratados con ácido oxálico por 60 segundos, 7 días después de su aplicación.

- Determinar *in vitro* la conductancia hidráulica de discos de dentina humana grabados con ácido ortofosfórico al 35% y tratados con ácido oxálico por 60 segundos, 14 días después de su aplicación.

- Comparar los resultados obtenidos.

MATERIALES Y MÉTODOS

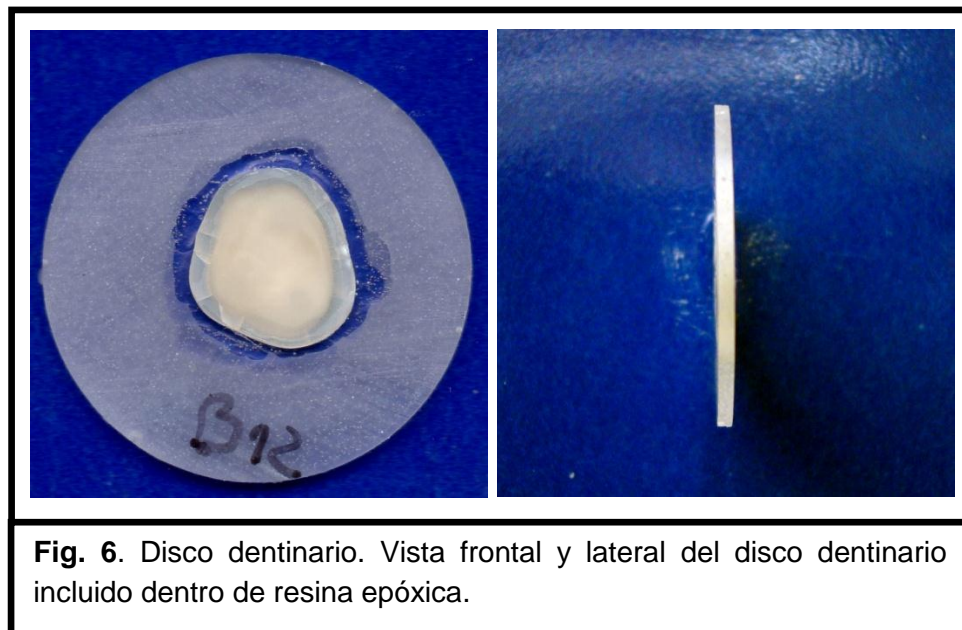
En este estudio de tipo experimental prospectivo se utilizaron 45 terceros molares humanos libres de caries, en inclusión, extraídos de personas entre 16 y 30 años, cuyo diámetro coronal no fuese mayor de 12mm, obtenidos después de la firma del paciente de un consentimiento informado aprobado por el comité de ética de la Facultad de Odontología de la Universidad de Chile (Anexo 1). Estos fueron desinfectados durante 24 horas en una solución de Timol al 0,1% (SIGMA, England) y luego se conservaron en suero fisiológico 0,9% hasta el momento de su utilización.

Los dientes fueron grabados con ácido ortofosfórico al 35% (Coltene-Whaledent) por todo el esmalte durante 30 segundos, se lavaron, secaron y se procedió a aplicar una capa de cianoacrilato. Una vez seco este, las piezas fueron incluidas en bloques de resina epóxica, de forma cilíndrica de 13 mm de diámetro y 20 mm de altura, confeccionados en un molde de silicona, esperando dos días hasta que se completará la polimerización de esta.

Las muestras fueron cortadas utilizando una sierra de baja velocidad Isomet® 1000 (ISOMET BUEHLER LAKEBUFF IL, USA 1000, 750r/min, 250g) bajo abundante refrigeración, en forma paralela a la cara oclusal de los dientes de forma de obtener discos de dentina de 1 mm de grosor (Figura 6). Obtenidos los discos, las caras oclusales se regularizaron con papel abrasivo (n. 600 Silicon carbide) bajo agua circulando para estandarizar los espesores y alisamiento superficial. Cada disco fue rotulado, señalando la cara oclusal de este e indicando al grupo de trabajo al cual pertenecía.

Sobre la dentina oclusal y pulpar de cada disco se realizó un grabado con ácido ortofosfórico al 35% (Coltene-Whaledent) por 15 segundo para eliminar el barro dentinario y luego se lavó bajo abundante agua por 30 segundos. Para lograr un modelo experimental consistente con la condición clínica de la sensibilidad dentinaria, en la que la dentina presenta túbulos dentinarios abiertos, se realizó la

medición de la permeabilidad posterior a la remoción del barro dentinario. La conductancia hidráulica obtenida bajo estas condiciones puede ser considerada como la máxima permeabilidad de ese disco, es decir el 100% y, por lo tanto, todas las mediciones de conductancia hidráulica realizadas posteriormente en dicho disco (tras la aplicación del ácido oxálico y a los 7 y 14 días de su aplicación) fueron consideradas como un porcentaje de este 100%. De este modo, y tomando en cuenta que cada disco es único en cuanto a la densidad de túbulos que presenta, cada disco actuó como su propio control.



El agente desensibilizante utilizado fue la marca comercial BisBlock® (Bisco Inc, Schaumburg, IL, Usa).

Grupos de estudio

Se conformaron 3 grupos de 15 discos de dentina cada uno:

- Grupo 1: 15 discos de dentina previamente grabados con ácido ortofosfórico al 35% a los que se les aplicó ácido oxálico con un microbrush

(BisBlock®, Bisco), se dejó actuar por un tiempo de 15 segundos y se lavó con abundante agua.

- Grupo 2: 15 discos de dentina previamente grabados con ácido ortofosfórico al 35% a los que se les aplicó ácido oxálico con un microbrush (BisBlock®, Bisco), se dejó actuar por un tiempo de 30 segundos y se lavó con abundante agua.
- Grupo 3: 15 discos de dentina previamente grabados con ácido ortofosfórico al 35% a los que se les aplicó ácido oxálico con un microbrush (BisBlock®, Bisco), se dejó actuar por un tiempo de 60 segundos y se lavó con abundante agua.
- Control negativo: disco de resina epóxica

Una vez tratados con ácido oxálico se procedió a medir su filtración en los siguientes intervalos de tiempo:

- Inmediatamente posterior a su aplicación.
- A los 7 días.
- A los 14 días.

Cada medición se realizó por un periodo de 20 minutos y se repitió 3 veces para y así obtener un promedio de los datos.

Al final de las mediciones se obtuvo, por cada disco de dentina, cuatro valores de conductancia hidráulica:

- Inicial: Análisis del disco de dentina sólo con grabado ácido.
- Finales: Análisis del disco de dentina grabado y tratado con un agente en base a oxalato por un determinado tiempo de aplicación, el cual fue medido en tres distintos intervalos de tiempo.

El modelo experimental que se utilizó está basado en el introducido por Reeders y cols⁽³⁾. Este se modificó eliminando el termostato que posee, ya que la temperatura no es una variable a estudiar en nuestro trabajo. Este equipo permitió determinar la tasa de filtración a través de la dentina, es decir, el volumen de fluido filtrado por unidad de tiempo. Consistió en un reservorio con una columna vertical de agua de 20cm, conectada a una llave de paso que por medio de un tubo de silicona se conectó a un tubo capilar milimetrado en posición horizontal (Figura 7) que presenta una capacidad de 0,1 ml. A esta pipeta se le introdujo por uno de sus extremos una burbuja de aire, que funcionó como guía de visualización y posterior medición de la filtración a través de la dentina (Figura 8). El capilar se conectó distalmente a una cámara en donde se fijaron los discos dentinarios en estudio por medio de tubo de silicona (Figura 9).

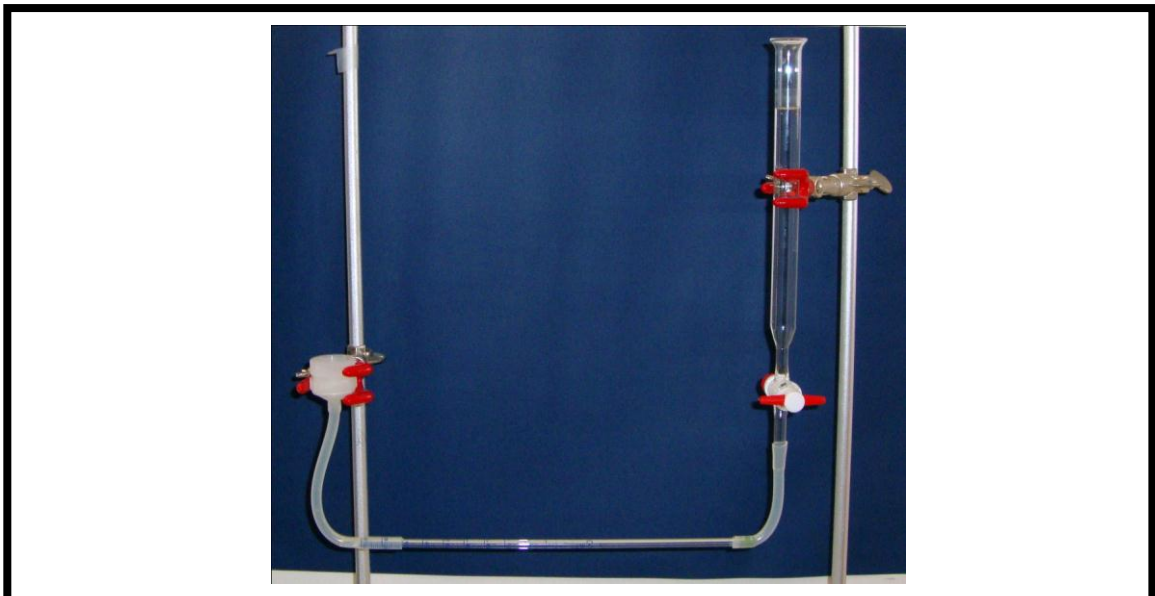
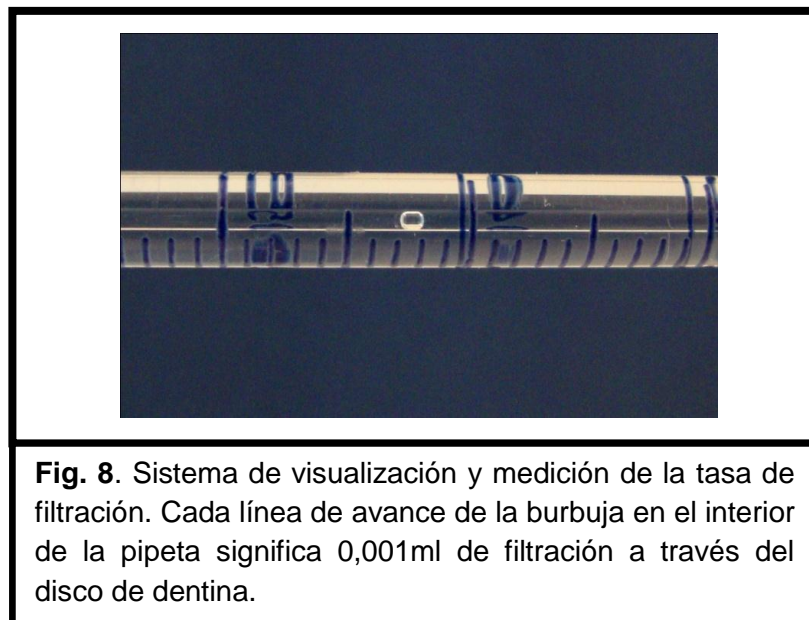
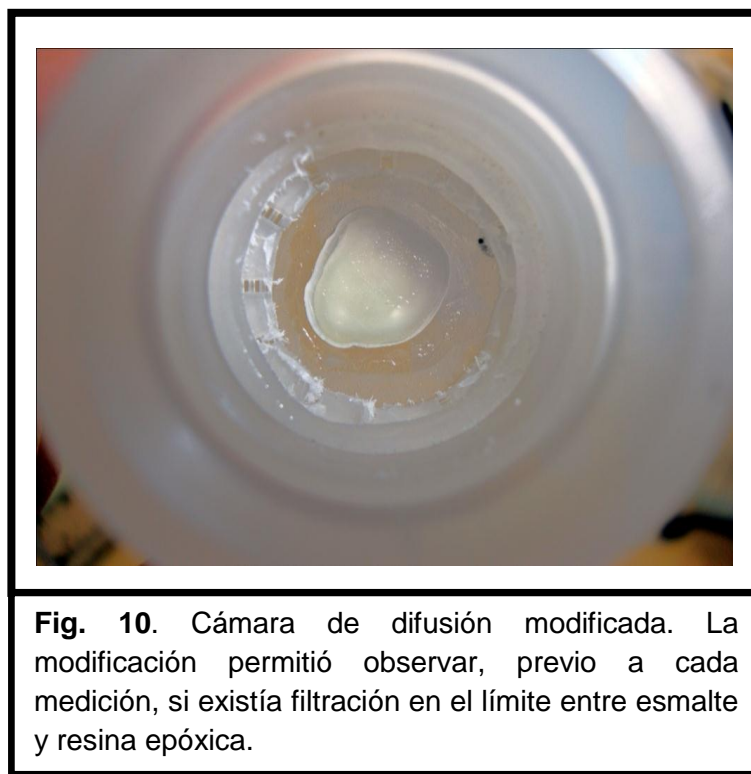


Fig. 7. Equipo de medición de la tasa de filtración a través de la dentina. En la parte derecha se observa la columna de agua 20cm por sobre el nivel de la muestra que se encuentra en la cámara de difusión ubicada en la zona izquierda. Entre ambas esta la pipeta milimetrada que contiene la burbuja de aire.

La cámara donde se ubicaron los discos fue modificada con el fin de visualizar cualquier filtración que se pudiese producir entre la pieza dentaria y la resina (Figura 10). Para esto se removi6, utilizando una fresa de carbide, la parte superior de la c6mara. De esta forma, previo a comenzar cada medici6n, se aseguro que la filtraci6n de agua fuera s6lo a trav6s de la dentina. Cuando los discos presentaron alguna filtraci6n se procedi6 a marcar dicha zona y posteriormente estas se resellaron con cianocrilato.





Una vez obtenidos los valores de velocidad de filtración se procedió a calcular la conductancia hidráulica mediante la siguiente fórmula ⁽²³⁾:

$$CH = \frac{F}{A * P * T}$$

Donde,

CH: Conductancia hidráulica de la dentina en $\mu\text{l}/\text{cm}^2/\text{min}$.

F: Tasa de filtración en $\mu\text{l}/\text{min}$

A: Área superficial de dentina en cm^2

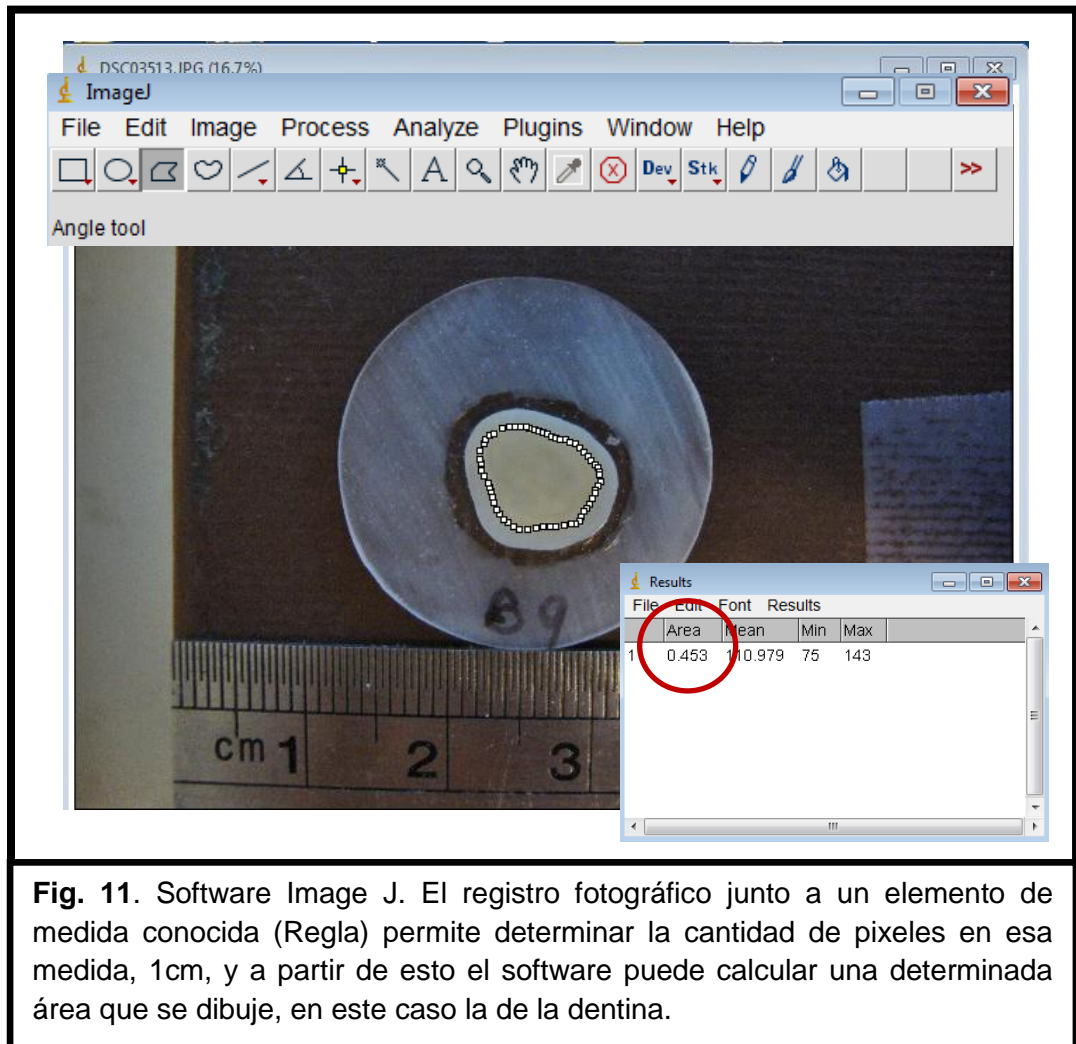
P: Diferencia de presión hidrostática a través de la dentina en cmH_2O

T: Tiempo de medición en min.

La conductancia hidráulica corresponde a una fórmula que determina la permeabilidad, en este caso, de los discos de dentina. El objetivo fue obtener esta ecuación para cada uno de los grupos. La variable F corresponde a la tasa de flujo de cada disco. La variable A corresponde al área de dentina expuesta al fluido. La variable P corresponde a la presión intrapulpar cuyo valor corresponde a la altura de la columna de agua destilada (20cm) y la variable T es el tiempo de medición, en este caso 20 minutos. El área de dentina expuesta por disco fue calculada por el software computacional ImageJ mediante un registro fotográfico previo (Figura 11). Este corresponde a un programa de procesamiento de imagen digital que permite calcular una determinada área contando el número de píxeles que hay en esta.

Análisis estadístico: Se comprobó la distribución y homogeneidad de los datos (Test de Shapiro Wilk y Test de Levene) los que fueron comparados mediante test de ANOVA y test post-hoc de Games-Howell. Esto fue igual para todas las comparaciones. Además mediante el software G*Power 3.1, se

determinó para la muestra un valor $p=0,05$, un poder estadístico de 0,83 y un tamaño de efecto de 0,5.



RESULTADOS

Las tablas 1, 2 y 3 muestran los valores de conductancia hidráulica de cada disco dentinario, en cada uno de los tiempo de evaluación, para los grupos A, B y C respectivamente. Además, entre paréntesis se muestra la conductancia expresada como porcentaje respecto de la conductancia máxima (100%) de cada disco (posterior al grabado ácido).

Tabla 1: Conductancia hidráulica y porcentaje de la conductancia máxima para cada disco del Grupo A.

Disco	G. Ácido	Día 1	Día 7	Día 14
A1	0,0222 (100%)	0,0041 (18,75%)	0,0236 (106,25%)	0,0209 (93,75%)
A2	0,0274 (100%)	0,0073 (26,67%)	0,0109 (40,00%)	0,0201 (73,33%)
A3	0,0116 (100%)	0,0038 (33,33%)	0,0077 (66,67%)	0,0116 (100,00%)
A4	0,0152 (100%)	0,0063 (41,67%)	0,0140 (91,67%)	0,0127 (83,33%)
A5	0,0222 (100%)	0,0148 (66,67%)	0,0252 (113,33%)	0,0207 (93,33%)
A6	0,0238 (100%)	0,0051 (21,43%)	0,0119 (50,00%)	0,0119 (50,00%)
A7	0,0101 (100%)	0,0067 (66,67%)	0,0101 (100,00%)	0,0134 (133,33%)
A8	0,0112 (100%)	0,0032 (28,57%)	0,0064 (57,14%)	0,0096 (85,71%)
A9	0,0431 (100%)	0,0031 (7,41%)	0,0159 (37,04%)	0,0159 (37,04%)
A10	0,0090 (100%)	0,0015 (16,67%)	0,0045 (50,00%)	0,0105 (116,67%)
A11	0,0091 (100%)	0,0078 (85,71%)	0,0078 (85,71%)	0,0104 (114,29%)
A12	0,0331 (100%)	0,0051 (15,38%)	0,0102 (30,77%)	0,0127 (38,46%)
A13	0,0098 (100%)	0,0058 (60,00%)	0,0137 (140,00%)	0,0176 (180,00%)
A14	0,0131 (100%)	0,0026 (20,00%)	0,0157 (120,00%)	0,0118 (90,00%)
A15	0,0386 (100%)	0,0089 (23,08%)	0,0089 (23,08%)	0,0118 (30,77%)

Tabla 2: Conductancia hidráulica y porcentaje de la conductancia máxima para cada disco del Grupo B.

Disco	G. Ácido	Día 1	Día 7	Día 14
B1	0,0218 (100%)	0,0102 (47,06%)	0,0128 (58,82%)	0,0141 (64,71%)
B2	0,0240 (100%)	0,0028 (11,76%)	0,0269 (111,76%)	0,0283 (117,65%)
B3	0,0181 (100%)	0,0069 (38,46%)	0,0125 (69,23%)	0,0139 (76,92%)
B4	0,0104 (100%)	0,0044 (42,86%)	0,0104 (100,00%)	0,0104 (100,00%)
B5	0,0115 (100%)	0,0057 (50,00%)	0,0057 (50,00%)	0,0159 (137,50%)
B6	0,0083 (100%)	0,0041 (50,00%)	0,0083 (100,00%)	0,0069 (83,33%)
B7	0,0163 (100%)	0,0081 (50,00%)	0,0049 (30,00%)	0,0049 (30,00%)
B8	0,0159 (100%)	0,0031 (20,00%)	0,0270 (170,00%)	0,0174 (110,00%)
B9	0,0295 (100%)	0,0084 (28,57%)	0,0105 (35,71%)	0,0147 (50,00%)
B10	0,0167 (100%)	0,0033 (20,00%)	0,0050 (30,00%)	0,0133 (80,00%)
B11	0,0126 (100%)	0,0084 (66,67%)	0,0042 (33,33%)	0,0084 (66,67%)
B12	0,0159 (100%)	0,0017 (11,11%)	0,0141 (88,89%)	0,0124 (77,78%)
B13	0,0227 (100%)	0,0094 (41,67%)	0,0094 (41,67%)	0,0113 (50,00%)
B14	0,0085 (100%)	0,0032 (37,50%)	0,0096 (112,50%)	0,0074 (87,50%)
B15	0,0164 (100%)	0,0049 (30,00%)	0,0148 (90,00%)	0,0148 (90,00%)

Tabla 3: Conductancia hidráulica y porcentaje de la conductancia máxima para cada disco del Grupo C.

Disco	G. Ácido	Día 1	Día 7	Día 14
C1	0,0607 (100%)	0,0110 (18,18%)	0,0096 (15,91%)	0,0110 (18,18%)
C2	0,0165 (100%)	0,0041 (25,00%)	0,0082 (50,00%)	0,0082 (50,00%)
C3	0,0210 (100%)	0,0039 (18,75%)	0,0184 (87,50%)	0,0171 (81,25%)
C4	0,0212 (100%)	0,0123 (58,33%)	0,0389 (183,33%)	0,0283 (133,33%)
C5	0,0103 (100%)	0,0051 (50,00%)	0,0121 (116,67%)	0,0138 (133,33%)
C6	0,0120 (100%)	0,0030 (25,00%)	0,0090 (75,00%)	0,0136 (112,50%)
C7	0,0167 (100%)	0,0027 (16,67%)	0,0083 (50,00%)	0,0111 (66,67%)
C8	0,0166 (100%)	0,0045 (27,27%)	0,0136 (81,82%)	0,0136 (81,82%)
C9	0,0194 (100%)	0,0014 (7,69%)	0,0059 (30,77%)	0,0149 (76,92%)
C10	0,0520 (100%)	0,0029 (5,71%)	0,0074 (14,29%)	0,0119 (22,86%)
C11	0,0147 (100%)	0,0029 (20,00%)	0,0118 (80,00%)	0,0118 (80,00%)
C12	0,0540 (100%)	0,0062 (11,54%)	0,0104 (19,23%)	0,0166 (30,77%)
C13	0,0200 (100%)	0,0071 (35,71%)	0,0057 (28,57%)	0,0100 (50,00%)
C14	0,0228 (100%)	0,0087 (38,46%)	0,0298 (130,77%)	0,0281 (123,08%)
C15	0,0254 (100%)	0,0042 (16,67%)	0,0063 (25,00%)	0,0127 (50,00%)

El promedio de los porcentajes de conductancia hidráulica, respecto de la conductancia máxima, para cada tiempo de aplicación de ácido oxálico y para cada tiempo de evaluación se muestran en la Tabla 4 y en el Gráfico 1. La conductancia inmediatamente posterior a la aplicación del ácido oxálico fue en promedio $35,45 \pm 23,41\%$ de la conductancia máxima para el grupo A, $36,34 \pm 15,88\%$ para el grupo B y $24,99 \pm 14,99\%$ para el grupo C. Esto quiere decir que la utilización de BisBlock® por 15, 30 ó 60 segundos genera una disminución en la permeabilidad de un 64,54%, 63,66% y de 75,01% respectivamente.

Tabla 4: Comparación inter grupos de la conductancia hidráulica (% en relación al máximo), en los distintos tiempos de medición.

	Día 1	Día 7	Día 14
Grupo A	$35,45 \pm 23,41$	$74,20 \pm 36,70$	$88,04 \pm 40,00$
Grupo B	$36,34 \pm 15,88$	$74,74 \pm 40,38$	$81,44 \pm 27,82$
Grupo C	$24,99 \pm 14,99$	$65,94 \pm 49,06$	$73,98 \pm 38,16$

Los valores son el promedio de los porcentajes de la máxima permeabilidad \pm desviación estándar.

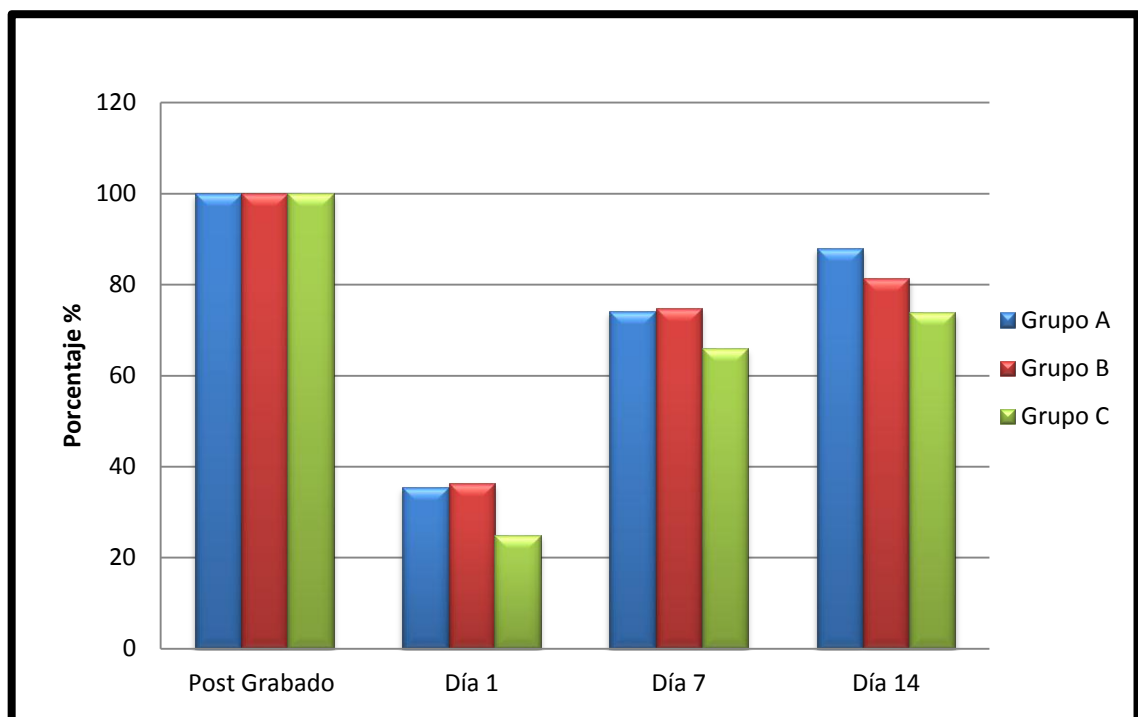
No existió diferencia estadísticamente significativa en los porcentajes de conductancia con respecto a la máxima filtración entre los grupos de estudio. Si bien en los tres tiempos de evaluación (inmediato, 7 días y 14 días), el grupo C fue el que presentó los valores de conductancia más bajos, no hubo diferencia significativa entre los tres grupos inmediatamente posterior a la aplicación de ácido oxálico ($p=0,187$), a los 7 días ($p=0,817$) ni a los 14 días ($p=0,564$), tal y como se observa en la Tabla 5

Tabla 5: Test de Anova para determinar diferencias significativas entre los grupos de estudio.

		Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Día 1	Inter-grupos	1194,094	2	597,047	1,748	0,187
	Intra-grupos	14348,120	42	341,622		
	Total	15542,214	44			
Día 7	Inter-grupos	729,370	2	364,685	0,203	0,817
	Intra-grupos	75368,293	42	1794,483		
	Total	76097,663	44			
Día 14	Inter-grupos	1484,661	2	742,331	0,581	0,564
	Intra-grupos	53620,224	42	1276,672		
	Total	55104,885	44			

Gl= grados de libertad; F= Valor del estadístico; Sig= Significancia

Gráfico 1 Variación en el tiempo de la conductancia hidráulica (%) para los grupos A, B y C.



Grupo A: Tratamiento con ácido oxálico BisBlock® por 15 segundos

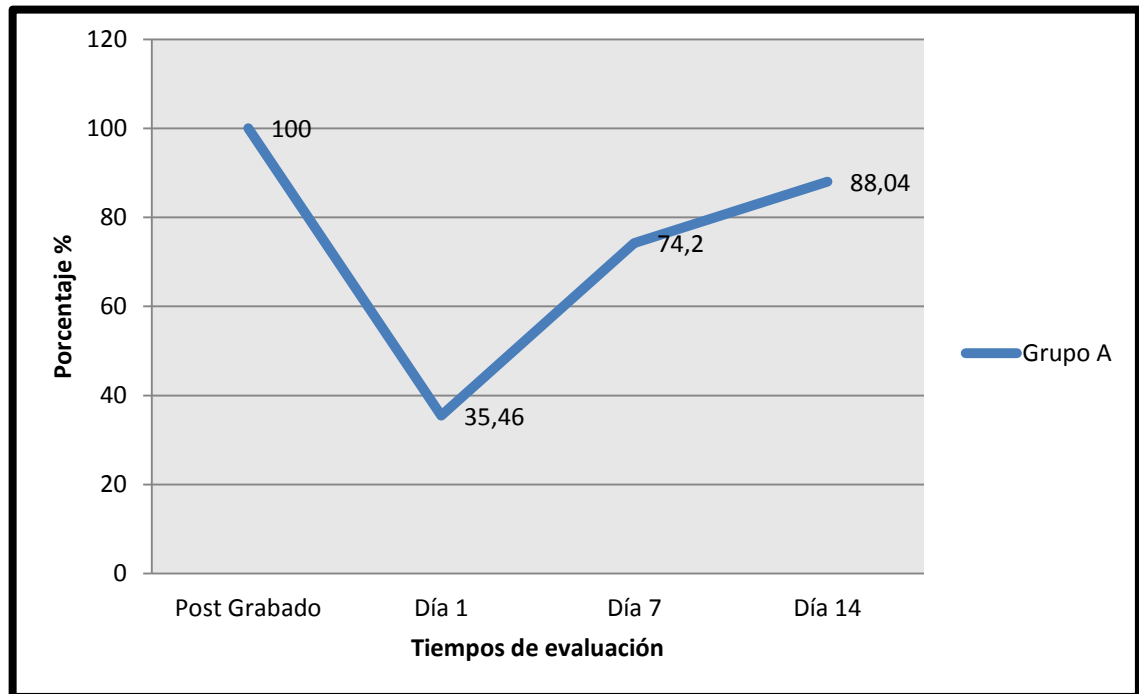
Los porcentajes promedio de la conductancia hidráulica para cada uno de los tiempos de medición se muestran en el Gráfico 2.

En el grupo A se observa que inmediatamente posterior al tratamiento con ácido oxálico se genera la mayor disminución en la conductancia hidráulica (64,54%), siendo esta baja estadísticamente significativa ($p=0,000$). Tras una semana de tratamiento, la conductancia comienza a aumentar, siendo este aumento estadísticamente significativo ($p=0,011$). Entre el día 7 y 14, si bien se produce un nuevo aumento de la conductancia, no se observa una diferencia estadísticamente significativa entre ellos ($p=0,758$). No existe diferencia entre el valor post grabado y el valor a los 7 y 14 días ($p=0,07$, $p=0,661$) respectivamente (Tabla 6)

Tabla 6: Comparaciones múltiples: estadístico post hoc de Games-Howell para Grupo A. Variable dependiente: conductancia

	Grabado	Día 1	Día 7	Día 14
Grabado	1,000	0,000	0,070	0,661
Día 1		1,000	0,011	0,001
Día 7			1,000	0,758
Día 14				1,000

Gráfico 2 Variación en el tiempo de la Conductancia Hidráulica (%) tras la aplicación de Ácido Oxálico por 15 segundos.



Grupo B: Tratamiento con ácido oxálico BisBlock® por 30 segundos.

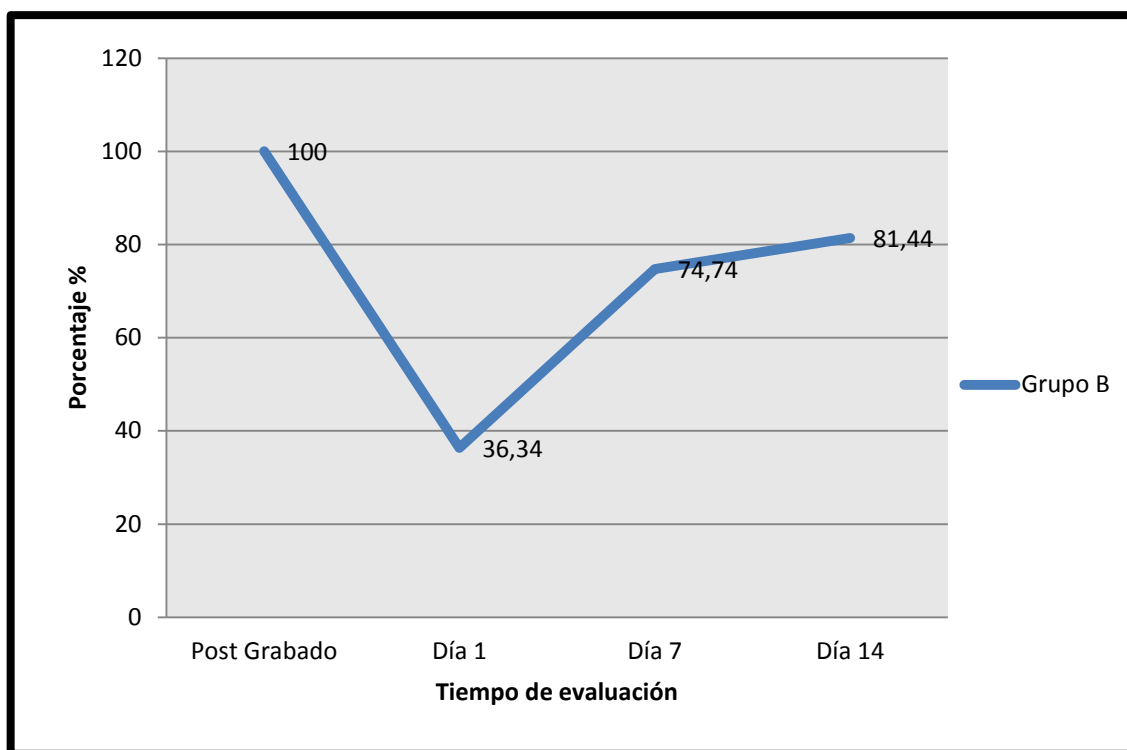
Los porcentajes promedio de la conductancia hidráulica para cada uno de los tiempos de evaluación están expuestos en el Gráfico 3.

En el grupo B se observa que inmediatamente posterior al tratamiento con ácido oxálico se genera la mayor disminución en la conductancia hidráulica (63,66%), siendo esta baja estadísticamente significativa ($p=0,000$). Tras una semana de tratamiento, la conductancia comienza a aumentar, siendo este aumento estadísticamente significativo ($p=0,014$). Entre el día 7 y 14, si bien se produce un nuevo aumento de la conductancia, no se observa una diferencia estadísticamente significativa entre ellos ($p=0,951$). No existe diferencia entre el valor post grabado y el valor a los 7 y 14 días ($p=0,118$, $p=0,089$) respectivamente (Tabla 7)

Tabla 7: Comparaciones múltiples: estadístico post hoc Games-Howell para el Grupo B. Variable dependiente: conductancia

	Grabado	Día 1	Día 7	Día 14
Grabado	1,000	0,000	0,118	0,089
Día 1		1,000	0,014	0,000
Día 7			1,000	0,951
Día 14				1,000

Gráfico 3 Variación en el tiempo de la Conductancia Hidráulica (%) tras la aplicación de Ácido Oxálico por 30 segundos



Grupo C: Aplicación de ácido oxálico BisBlock® por 60 segundos.

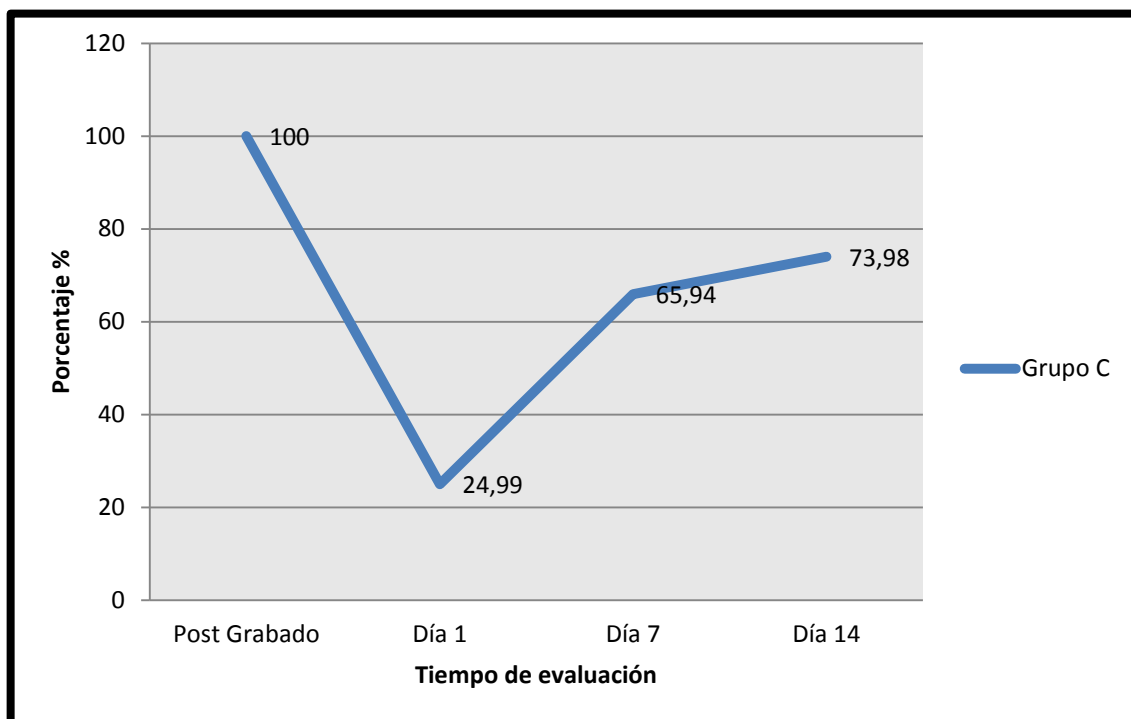
Los porcentajes promedio de la conductancia hidráulica para cada uno de los tiempos de evaluación están expuestos en el Gráfico 4.

En el grupo C se observa que inmediatamente posterior al tratamiento con ácido oxálico se genera la mayor disminución en la conductancia hidráulica (75,01%), siendo esta baja estadísticamente significativa ($p=0,000$). Tras una semana de tratamiento, la conductancia comienza a aumentar, siendo este aumento estadísticamente significativo ($p=0,031$). Entre el día 7 y 14, si bien se produce un nuevo aumento de la conductancia, no se observa una diferencia estadísticamente significativa entre ellos ($p=0,958$). No existe diferencia entre el valor post grabado y el valor a los 7 y 14 días ($p=0,074$, $p=0,081$) respectivamente (Tabla 8)

Tabla 8: Comparaciones múltiples: estadístico post hoc de Games-Howell para Grupo C. Variable dependiente: conductancia

	Grabado	Día 1	Día 7	Día 14
Grabado	1,000	0,000	0,074	0,081
Día 1		1,000	0,031	0,001
Día 7			1,000	0,958
Día 14				1,000

Gráfico 4 Variación en el tiempo de la Conductancia Hidráulica (%) tras la aplicación de Ácido Oxálico por 60 segundos



DISCUSIÓN

La medición de los cambios en la permeabilidad o en el flujo de fluidos a través de la dentina ha sido frecuentemente utilizada para evaluar: la capacidad de sellado de los materiales restauradores adhesivos y no adhesivos; el potencial tóxico de los materiales dentales; la efectividad de pastas dentales y materiales desensibilizantes; la absorción de sustancias o el efecto de diversos procedimientos clínicos ⁽⁵⁰⁾.

Este estudio estuvo basado en el método usado por Reeders y cols ⁽³⁾ en estudios de permeabilidad, el cual se caracteriza por ser un sistema simple, efectivo y económico ⁽⁵⁰⁾. Este clásico modelo de cámara de difusión y micro pipeta presenta, sin embargo, algunas desventajas. La medición es básicamente visual lo que hace que sea más susceptible a errores del observador, quien inconscientemente puede sesgar las lecturas ⁽⁵⁰⁾. Por ejemplo, la lectura de la posición de la burbuja de aire ubicada entre dos marcas de calibración continuas puede ser asignada ya sea a la marca más alta o a la más baja, dependiendo del investigador y su criterio.

El objetivo del tratamiento con agentes desensibilizantes es reducir la conductancia hidráulica a valores cercanos a un 10-20% (de la permeabilidad total) ⁽¹¹⁾, como los obtenidos con el barro dentinario, ya que múltiples estudios reportan que la presencia de este es responsable del 80-85% de la resistencia al flujo de fluido a través de la dentina ^(10, 11). Las conductancias obtenidas después de la aplicación del ácido oxálico fueron entre un 24 y un 36% de la máxima permeabilidad, que si bien son mayores al rango esperado, son estadísticamente significativas por lo que podrían ser consideradas como un buen predictor del poder oclusivo del material estudiado.

La aplicación de BisBlock® demostró ser efectiva en reducir la permeabilidad dentinaria al ser aplicado sobre dentina previamente grabada, siendo esta disminución estadísticamente significativa ($p < 0,05$), lo que es coherente con los estudios de conductancia que evalúan agentes en base a oxalatos ⁽⁹⁻¹⁶⁾. Esta eficacia ha sido probada tanto en dentina con barro dentinario intacto ^(9, 10) donde ha demostrado reemplazarlo por una capa de cristales, así como en dentina previamente grabada mediante la formación sub superficial de cristales ⁽¹¹⁻¹⁶⁾. Yiu y cols ⁽¹⁵⁾, en un estudio de permeabilidad que utilizó BisBlock® como solución desensibilizante reportó además que el porcentaje de reducción de la conductancia es incluso mayor que el obtenido con una serie de agentes adhesivos.

El porcentaje de reducción de la conductancia hidráulica tras la aplicación de ácido oxálico, BisBlock®, en este trabajo fue de entre 63 y 75%, valores que son levemente menores que los porcentajes descritos en la literatura, los cuales varían entre 75 a 98,4% ^(10-13, 15, 16). Yiu y cols ⁽¹⁵⁾ reportaron que la disminución de la conductancia hidráulica tras la aplicación del agente por 30 segundos sobre dentina grabada fue de entre 88 a 91%. No obstante, aún cuando el porcentaje obtenido en el presente estudio es menor, se estableció que la reducción de la permeabilidad en los tres grupos de estudio, inmediatamente tras la aplicación de ácido oxálico es estadísticamente significativa respecto a la permeabilidad máxima de los discos.

Estas diferencias en los porcentajes de reducción entre lo descrito en la literatura y el presente trabajo podrían deberse a diferencias en las metodologías de los estudios o bien a una deficiencia propia del agente utilizado.

Desde el punto de vista de la metodología, el presente trabajo presenta ciertas diferencias con los estudios ya publicados. El sistema necesita de cierta presión para que la burbuja se ponga en movimiento. Este estudio utilizó una presión de 20cmH₂O, el cual es un valor cercano a la presión fisiológica de la pulpa dental (± 14 cmH₂O), pero que es muy inferior a la presión que es ocupada

por muchos de los estudios, que van entre los 700 y los 1050cmH₂O⁽¹⁰⁻¹³⁾. Estos valores son utilizados para así tener una mayor velocidad de lectura ya que los experimentos que son llevados a cabo con presión reducida presentan demora en la lectura y fatiga del operador, debido a que la burbuja se mueve muy lento⁽¹³⁾. En el modelo experimental utilizado, la presión está determinada por la altura de la columna de agua, a diferencia de otros estudios que utilizan nitrógeno, lo que les permite obtener niveles de presión mayores. Sin embargo, la presión utilizada pierde relevancia, ya que la fórmula matemática de la conductancia hidráulica, estandariza los resultados. No obstante, se ha descrito que la cantidad de presión aplicada y el tiempo de aplicación de ésta pueden interferir de alguna forma con la medición de la conductancia hidráulica⁽⁵¹⁾. Un incremento de la resistencia al flujo puede ocurrir bajo grandes presiones, sobre 53,3 KPa (551,3 mmH₂O), debido a la compresión del contenido intratubular contra las paredes de los túbulos, reduciendo los valores de conductancia hidráulica, mientras que la presión fisiológica no afecta el contenido tubular llevando a resultados más cercanos a aquellos que se dan *in vivo*⁽⁵¹⁾.

Por otra parte, los estudios publicados utilizan un área estándar de filtración, que es igual para todos los discos, y que se obtiene mediante la utilización de un par de anillos de goma de igual medida que se colocan tanto por el lado pulpar y oclusal de los discos^(10, 11, 13, 15, 16). Este sistema de medición del área no fue utilizado, ya que no considera la variabilidad regional de la permeabilidad en la dentina. La medición en el centro del disco (que es una zona de baja permeabilidad) habitualmente genera una sobre estimación de la conductancia hidráulica ya que los anillos de goma se superponen a las áreas más permeables, que es la de los cuernos pulpares⁽²⁴⁾. En este trabajo, el cálculo del área se realizó mediante un software computacional ImageJ, en el cual se debe hacer una delimitación manual del límite amelodentinario. Este sistema, si bien permitió obtener el área de toda la dentina, presenta la desventaja de que se pueden presentar discrepancias entre lo que se consideraba superficie de dentina y de esmalte a simple vista y las imágenes observadas con aumento en la pantalla, lo que dificultó la delimitación de esta.

Con el sistema utilizado no es posible determinar variaciones muy pequeñas en el flujo de fluido, lo que está determinado por el volumen del capilar⁽⁵⁰⁾. El volumen de la micro pipeta empleada determinó que la mínima variación en la permeabilidad que pudo ser detectada es de 0,001ml, que corresponde a la diferencia entre una marca de calibración y otra, lo que origina que cualquier cambio en la permeabilidad menor a dicho valor no pudo ser detectado con precisión. A diferencia de este estudio, Yiu y cols⁽¹⁵⁾ utilizó el sistema FLODEC para la medición de la conductancia en el cual la evaluación del movimiento de la burbuja es automática y en el que, por el diseño del capilar milimetrado, se pueden detectar pequeños cambios en el flujo de fluido⁽⁵⁰⁾. Se ha determinado que los resultados obtenidos mediante estos dos métodos son intercambiables, aunque no son idénticos⁽⁵⁰⁾.

Con respecto al agente utilizado, la efectividad de este se relaciona principalmente con el pH y la concentración de la solución, siendo importantes en la cantidad de cristales que precipitan. BisBlock®, de acuerdo a su fabricante, presenta un pH de entre 1,5 a 1,8, levemente más bajo que el de los agentes utilizados en otros estudios, que en general presentan pH de entre 2 a 4^(10, 11, 13). Dado que en la literatura se describe que mientras más ácido es un gel, mayor capacidad tendrá de liberar calcio desde la dentina para reaccionar con los iones oxalato, se esperó que BisBlock® fuese capaz de liberar una cantidad suficiente de calcio para reaccionar con el ácido oxálico. El tamaño del cristal precipitado, por otra parte, se piensa que tendría relación con la concentración del agente, una condición que podría afectar el poder oclusivo de la formulación, demostrándose que una solución en base a oxalato de potasio al 30% origina cristales de mucho mayor tamaño que aquellos producidos por una solución al 3%^(10, 22). La MEB ha mostrado que BisBlock® genera cristales de apariencia angular que, sobre dentina grabada, se localizan en el interior de los túbulos a una distancia de 10-15 μm desde la superficie dentinaria, bloqueando los túbulos y sus ramas laterales⁽¹⁵⁾. Sin embargo, el fabricante no proporciona una concentración específica de ácido oxálico, sino más bien un rango de esta, <5%, lo que podría explicar la diferencia en los porcentajes de disminución de la permeabilidad, ya que la concentración

pudo haber sido muy baja.

Debido a este último punto, y con el fin de conocer una concentración más exacta para el ácido oxálico, se procedió a su cálculo a partir de la ecuación que se muestra en la Figura 12 ⁽⁵²⁾. La concentración molar del ácido oxálico fue de $3,17 \times 10^{-2}$ lo que equivale a una %p/v= 0,285, la cual es mucho más baja que la utilizada en otros estudios, la que varía entre 3 a 6% ^(10, 11,12, 13). Sin embargo, se debe tener en cuenta que este es sólo un cálculo referencial realizado en este estudio.

$$[H^+] = \frac{-Ka1 + (Ka1^2 + 4Ka1 \times Ca)^{1/2}}{2}$$

Fig. 12. Ecuación para el cálculo de $[H^+]$ en ácidos débiles. Donde $[H^+]$ corresponde a la concentración de protones, $Ka1$ la primera constante de disociación del ácido oxálico y Ca la concentración de ácido.

El test de ANOVA permitió determinar que no existe diferencia estadísticamente significativa ($p > 0,05$) en la reducción de la conductancia hidráulica tras la aplicación de ácido oxálico por 15, 30 ó 60 segundos, en ninguno de los tres tiempos de medición. Esto es consistente con la información disponible, en que si bien se ocupan las mismas formulaciones de ácido oxálico, lo hacen por distintos tiempos de aplicación y con resultados similares, como lo que sucede con el oxalato de potasio monohidratado al 3%, pH 2,5 ó 4, que es uno de los agentes más utilizado en los estudios. Pereira y cols ⁽¹¹⁾ midieron la conductancia hidráulica tras la aplicación de este por 4 minutos; Santiago y cols ⁽¹³⁾ lo utilizó sobre superficies dentinaria por 3 minutos, mientras Pashley y cols ⁽¹⁰⁾ lo hizo por solo 2 minutos. En los tres estudios se determinó que la utilización de esta formulación genera una disminución de la conductancia hidráulica que es estadísticamente

significativa con respecto a la máxima permeabilidad de dichos discos, independiente del tiempo de aplicación. Una revisión bibliográfica reciente concluye que este es eficaz en el tratamiento de la sensibilidad dentinaria, aun cuando los estudios que son incluidos en esta presentan tiempos de aplicación que varían entre 15 segundos a 3 minutos ⁽⁴⁷⁾.

Por otro lado, Shono y cols ⁽⁴⁶⁾, en un estudio donde midió la conductancia hidráulica de discos tratados con una solución experimental (5% oxalato de dipotasio mas 5% oxalato de aluminio en 2% ácido cítrico, pH 2), estableció que la reducción de la permeabilidad fue estadísticamente significativa solo después de 60 segundos de aplicación del agente sobre dentina grabada, lo cual se contrapone con los resultados obtenidos en este trabajo en donde tras 15 segundos de aplicación ya se observó una diferencia estadísticamente significativa en la reducción de la permeabilidad. Este trabajo también presenta resultados contrarios a lo informado por el fabricante de BisBlock®, quien establece que 30 segundos de aplicación es un tiempo suficiente para que el agente sea efectivo ⁽⁴⁵⁾.

El análisis estadístico de los resultados también determinó que tras 7 días de almacenamiento en suero fisiológico, los discos de dentina tratados con ácido oxálico tienden a recuperar los niveles de permeabilidad iniciales, existiendo diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre el día 1 y los días 7 y 14. Tanto para el grupo A, B y C el aumento al séptimo día alcanzó niveles similares a los iniciales ($p > 0,05$), medidos tras el grabado ácido. Al día 14, los tres grupos no presentaron diferencias estadísticamente significativas con los valores iniciales ($p > 0,05$). Jain y cols ⁽¹²⁾ utilizaron oxalato férrico sobre discos de dentina demostrando que tras un día de inmersión en saliva artificial se comienza a producir un aumento de la permeabilidad pero este no fue estadísticamente significativo. Más tarde Suge y cols ⁽⁵³⁾ midieron la duración de la oclusión de los túbulos dentinarios utilizando una solución en base a oxalato de potasio, concluyendo que tras 7 días de almacenamiento en saliva artificial se produce un aumento gradual y constante de la permeabilidad y que esta inmersión genera una

alta concentración de iones oxalatos en el medio, indicando la disolución del oxalato de calcio. El análisis de MEB confirma que luego de siete días de exposición al medio oral la superficie muestra pocos cristales sobre la superficie dentinaria y los túbulos se muestran nuevamente abiertos ⁽⁸⁾

La solubilidad del oxalato de calcio es de importancia para determinar la duración en el tiempo de la oclusión de los túbulos dentinarios. Si bien se ha postulado que estos forman capas de cristales ácidos resistentes al reaccionar con el calcio de la dentina ^(10, 11, 13), otros estudios sostienen que los cristales de oxalato de calcio son ácido lábiles y que pueden ser fácilmente removidos de la superficie dentinaria estableciéndose que la solubilidad del oxalato de calcio es sensible a cambios de pH, ya que su anión es la base conjugada de un ácido débil ⁽¹⁵⁾. De acuerdo al principio de Le Chatelier's, cuando los cristales de oxalato de calcio se encuentran expuestos a H_3O^+ , este se disocia en iones de calcio y de oxalato para compensar el agotamiento de iones oxalatos producto de la formación de ácido oxálico, y así mantener un equilibrio constante ⁽¹⁵⁾. Es probable que debido a esto, la duración de la oclusión en el presente estudio fue de corta duración, ya que el suero fisiológico utilizado como medio de almacenamiento presenta un pH de entre 5,5 a 7, levemente ácido, lo que pudo generar la disolución de los cristales de oxalato de calcio.

Cuando se tiene un cristal, como el oxalato de calcio, en una solución, se produce un equilibrio entre ambos medios, la fase sólida (cristal) y líquida ⁽⁵⁴⁾ (Figura 13)

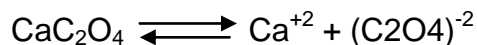
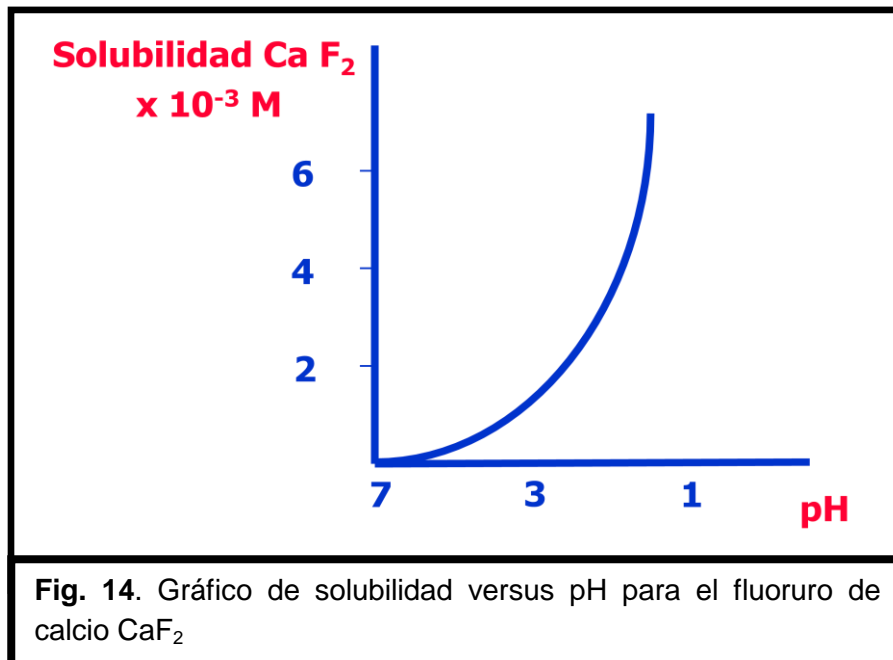


Fig. 13. Disociación iónica del oxalato de calcio. A la izquierda de la ecuación se observa la fórmula química del oxalato de calcio, el cual en solución se disocia en ion calcio e ion oxalato, ambos en la derecha de la ecuación.

Si el oxalato de calcio es sumergido en saliva artificial, la disolución parcial del oxalato de calcio lleva a la solución a un equilibrio con respecto a este. En el medio oral, el oxalato de calcio enfrentaría continuamente saliva fresca, que no contienen iones de oxalato, por lo que su disolución continuaría lenta pero sostenidamente, hasta alcanzar un nuevo estado de equilibrio ⁽⁵³⁾.

Además, la solubilidad de este compuesto iónico cambia si la solución se hace suficientemente ácida o básica. El oxalato, $(C_2O_4)^{-2}$, es la base conjugada del ácido oxálico ($H_2C_2O_4$), por lo tanto, cuando el medio se acidifica, se produce la protonación del anión para formar el ácido. Al disminuir el oxalato el sistema tiende a reponerlo disolviendo más oxalato de calcio.

La Figura 14 muestra cómo cambia la solubilidad de un fluoruro de calcio a medida que disminuye el pH. Tomaremos como base este ejemplo ya que otras sales con aniones básicos como el oxalato, $(C_2O_4)^{-2}$, se comportarían en forma análoga. Se establece que la solubilidad de las sales poco solubles que contienen aniones básicos aumenta a medida que el pH baja ⁽⁵⁴⁾.



Esto podría explicar porque los oxalatos presentan una reducción de la sensibilidad que es solo temporal, ya que el pH normal de la saliva es de 6-7, levemente ácida y con fluctuaciones entre 5,3 a 7,8 ⁽⁵⁵⁾, lo que contribuiría a acelerar la disolución de estos cristales en boca.

La disminución de la permeabilidad dentinaria es de importancia para el tratamiento de la sensibilidad, ya que de acuerdo a la teoría hidrodinámica la oclusión de los túbulos dentinarios disminuye el flujo de fluidos al interior de ellos frente a los estímulos que evocan el dolor. Los oxalatos poseen esta capacidad de oclusión, como se ha mostrado en este trabajo mediante la disminución de la conductancia hidráulica, sin embargo, el aumento de esta a los siete días sugiere una pérdida de dicha oclusión tubular, lo que generaría un retorno de la sensibilidad en este periodo, lo que se contrapone a los resultados clínicos que muestran que BisBlock® fue eficaz en reducir la sensibilidad por un periodo de hasta 4 semanas ^(17, 18). Sin embargo se debe tener en cuenta que en estos trabajos se ha utilizado una capa de adhesivo tras la aplicación del agente, lo que ayudaría retrasar la pérdida de los cristales. Aún cuando la oclusión dada por los cristales de oxalato de calcio parece ser de corta duración se ha sugerido que la aplicación de estos agentes puede reducir la sensibilidad dentinaria antes de que tenga lugar la oclusión natural de los túbulos a partir de minerales de la saliva, la cual parece tener lugar dentro de 28 días tras la exposición de los túbulos ⁽⁸⁾.

CONCLUSIONES

- La aplicación de ácido oxálico, BisBlock®, por 15, 30 ó 60 segundos disminuye significativamente la conductancia hidráulica a valores cercanos a los del barro dentinario.
- El tiempo de aplicación del ácido oxálico no influye en los valores de conductancia hidráulica inmediatamente después de su aplicación ni a los 7 ó 14 días posteriores.
- Tras siete días de almacenamiento, se produce un aumento estadísticamente significativo de la conductancia hidráulica, el que alcanza niveles similares a los de máxima permeabilidad tras el grabado ácido.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Mjör I (2009). Dentin Permeability: The basis for understanding pulp reactions and adhesive technology. *Braz Dent J* 20:3-16.
- (2) Bodecker CF, Lefkowitz W (1946). Vital staining of dentin and enamel. *J Dent Res* 25:387-389.
- (3) Reeders OW, Walton RE, Livingston MJ, Pashley DH (1978). Dentin Permeability: Determinants of Hydraulic Conductance. *J Dent Res* 57:187-193
- (4) Prati C (1994). What is the clinical relevance of in vitro dentine permeability test? *J Dent* 22:84-88
- (5) Pashley DH, Pashley EL, Carvalho RM, Tay FR (2002). The effects of dentin permeability on restorative dentistry. *Dent Clin N Am* 46:211-245.
- (6) Pashley DH (1996). Dynamics of the pulpo-dentin complex. *Crit Rev Oral Med* 7:104-133
- (7) Pashley DH (1986). Dentin permeability, dentin sensitivity, and treatment through tubule occlusion. *J Endodont* 12:465-474
- (8) Kerns DG, Scheidt MJ, Pashley DH, Horner JA, Strong SL, Van Dyke TE (1991). Dentinal tubule occlusion and root hypersensitivity. *J Periodontol* 62:421-428.
- (9) Dragolich WE, Pashley DH, Brennan WA, O'Neal RB, Horner JA, Van Dyke TE (1993). An in vitro study of dentinal tubule occlusion by ferric oxalate. *J Periodontol* 64:1045-1051.
- (10) Pashley D, Galloway SE (1985). The effects of oxalate treatment on the smear layer of ground surfaces of human dentine. *Arch Oral Biol* 30:731-737.
- (11) Pereira JC, Segala AD, Gillam DG (2005). Effect of desensitizing agents on the hydraulic conductance of human dentin subjected to different surface pre-treatments-an in vitro study. *Dent Mater* 21:129-138.
- (12) Jain P, Reinhardt J, Krell K (2000). Effect of dentin desensitizers and dentin bonding agents on dentin permeability. *Am J Dent* 13:21-27

- (13) Santiago SL, Pereira JC, Martineli AC (2006). Effect of commercially available and experimental potassium oxalate-based dentin desensitizing agents in dentin permeability: Influence of time and filtration system. *Braz Dent J* 17:300-305.
- (14) Oberg C, Pochapski MT, Farago PV, Fernandes CJ, Pilatti GL, Santos FA (2009). Evaluation of desensitizing agents on dentin permeability and dentinal tubule occlusion: An in vitro study. *Gen Dent* 57:497-501
- (15) Yiu C, Hiraishi N, Chersoni S, Breschi L, Ferrari M, Prati C, King N, Pashley D, Tay F (2006). Single-bottle adhesives behave as permeable membranes after polymerization. II. Differential permeability reduction with an oxalate desensitizer. *J Dent* 34:106-116
- (16) Greenhill JD, Pashley DH (1981). The effects of desensitizing agents on the hydraulic conductance of human dentin *in vivo*. *J Dent Res* 60:686-698
- (17) Erdemir U, Yildiz E, Kilic I, Yuzel T, Ozel S (2010). The efficacy of three desensitizing agents used to treat dentin hypersensitivity. *J Am Dent Assoc* 141:285-296.
- (18) Pamir T, Dalgac H, Onal B (2007). Clinical evaluation of three desensitizing agents in relieving dentin hypersensitivity. *Oper Dent* 32:544-548.
- (19) Camps J, Pashley D (2003). *In vivo* sensitivity of human root dentin to air blast and scratching. *J Periodontol* 74:1589-1594.
- (20) Gillam DG, Newman HN, Davies EH, Bulman JS, Troullos ES, Curro FA (2004). Clinical evaluation of ferric oxalate in relieving dentine hypersensitivity. *J Oral Rehab* 31:245-250.
- (21) Pillon FL, Romani IG, Schmidt ER (2004). Effect of 3% Potassium Oxalate Topical Application on dentinal hypersensitivity after subgingival scaling and root planning. *J Periodontol* 75:1461-1464.
- (22) Muzzin K, Johnson R (1989). Effects of potassium oxalate on dentin hypersensitivity *in vivo*. *J Periodontol* 60:151-158.
- (23) Conejo B, Del Nero M, de la Macorra JC (1995). Medida de la Conductancia Hidráulica en terceros molares humanos. Un estudio *in vitro*. *Arch. Odontostomatol* 11:76-81.

- (24) Pashley DH, Andringa HJ, Derkson GD, Derkson ME, Kalathoor SR (1987). Regional Variability in the permeability of human dentine. *Archs Oral Biol* 32:519-523.
- (25) Fogel HM, Marshall FJ, Pashley DH (1988). Effects of distance from the pulp and thickness on the hydraulic conductance of human radicular dentin. *J Dent Res* 67:1381-1385.
- (26) Pashley DH, Thompson SM, Stewart FP (1983). Dentin permeability: Effects of temperature on hydraulic conductance. *J Dent Res* 62:956-959.
- (27) Gillam DG, Mordan NJ, Sinodinou AD, Tang JY, Knowles JC, Gibson IR (2001). The effects of oxalate-containing products on the exposed dentin surface: an SEM investigation. *J Oral Rehab* 28:1037-1044.
- (28) Dippel HW, Borggreven PM, Hoppenbrouwers MM (1984). Morphology and permeability of the dentinal smear layer. *J Prost Dent* 52:657-662.
- (29) Brännström M, Linden L, Johnson G (1968). Movement of dentinal and pulpal fluid caused by clinical procedures. *J Dent Res* 47: 679-682
- (30) Johnson G, Olgart L, Brännström M (1973). Outward fluid flow in dentin under a physiologic pressure gradient: experiments *in vitro*. *Oral Surg* 35:238-248.
- (31) Addy M (2002). Dentine hypersensitivity: new perspectives on an old problem. *Int Dent J* 52:367-375.
- (32) Gillam DG, Aris A, Bulman JS, Newman HN, Iley F (2002). Dentine hypersensitivity in subjects recruited for clinical trials: clinical evaluation, prevalence and intra-oral distribution. *J Oral Rehab* 29:226-231.
- (33) Rees JS (2000). The prevalence of dental hypersensitivity in general practice in the UK. *J Clin Periodontol* 27:860-865
- (34) Iwrin CR, McCusker P (1997). Prevalence of dentine hypersensitivity in general population. *J Ir Dent Assoc* 43:7-9
- (35) Murray LE, Roberts AJ (1994). The prevalence of reported hypersensitive teeth. *Arch Oral Biol* 39(Suppl):129S
- (36) Fischer C, Fisher RG, Wennberg A (1992). Prevalence and distribution of cervical dentine hypersensitivity in a population in Rio de Janeiro. *Brazil J Dent* 20:272-276.

- (37) Trushkowsky R, Oquendo A (2011). Treatment of dentin hypersensitivity. *Dent Clin N Am* 55:599-608.
- (38) Addy M (2005). Tooth brushing, tooth wear and dentine hypersensitivity—are they associated? *Int Dent J* 55(Suppl 1): 261-267.
- (39) Absi EG, Addy M, Adams D (1987). A study of the patency of dentinal tubules in sensitive and non-sensitive cervical dentine. *J Clin Periodontol* 14:280-284.
- (40) Brännström M, Lindén LA, Astrom A (1967). The hydrodynamics of the dental tubule and of pulp fluid. A discussion of its significance in relation to dentinal sensitivity. *Caries Res* 1:310-317.
- (41) Magloire H, Maurin J, Couble M, Shibukawa Y, Tsumura M, Trivichon-Prince B, Bleicher F (2010). Topical review. Dental pain and odontoblasts: facts and hypotheses. *J Orofac Pain* 24:335-349.
- (42) Orchardson R, Gillam DG (2000). The efficacy of potassium salts as agents for treating dentin hypersensitivity. *J Orofac Pain* 14:9-19.
- (43) Brown, LeMay y Bursten (2008). Química de la vida: química orgánica y biológica. In: Química, la ciencia central. 9na edición. pp 1005-1006.
- (44) Tay FR, Pashley DH, Mak YF, Carvalho RM, Lai SCN, Suh BI (2003). Integrating oxalate desensitizers with total-etch two-step adhesive. *J Dent Res* 82:703-707.
- (45) Bisco Inc. (2008) Bisblock material safety data sheet. Retrieved online November 2011 from: <http://www.bisco.com/instructions/BisBlock.asp>
- (46) Shono Y, Hsiao YH, Ogawa T, Terashita M, Pashley DH (1994). A new oxalate treatment for dentine tubule occlusion. *Arch Oral Biol* 39(Suppl):135S.
- (47) Cunha-Cruz J, Stout JR, Heaton LJ, Wataha JC (2011). Dentin Hypersensitivity and Oxalates: a Systematic Review. *J Dent Res* 90:304-310.
- (48) Pashley DH, Tay FR, Haywood VB, Collins MA, Drisko CL (2008). Consensus-based recommendations for the diagnosis and management of dentin hypersensitivity. *Comp Cont Educ Dent* 29(8 Suppl):1S-35S.

- (49) Marques de Andrade e Silva S, Marquezini L, Pigozzo A, Pimentel F, Rocha de Oliveira M, Pashley DH, Tay FR, Carvalho RM (2007). Effects of a combined application of potassium oxalate gel/adhesive agent on dentin permeability *in vitro*. *J Adhes Dent* 9: 505-512.
- (50) De la Macorra JC, Escribano NI (2002). Comparision of two methods to measure permeability of dentin. *J Biomed Mater Res* 63:531-534.
- (51) Camps J, Giustiniani S, Dejou J, Franquin JC (1997). Low versus high pressure for in vitro determination of hydraulic conductance of human dentine. *Arch Oral Biol* 42:293-298.
- (52) Brown, LeMay y Bursten (2008). Equilibrios ácido-base. In: Química, la ciencia central. 9na edición. pp 628.
- (53) Suge T, Ishikawa A, yoshiyama M, Asaoka K, Ebisu S (1995). Duration of dentinal tubule occlusion formed by calcium phosphate precipitation method: in vitro evaluation using synthetic saliva. *J Dent Res* 74:1709-1714.
- (54) Brown, LeMay y Bursten (2008). Aspectos adicionales de los equilibrios acuosos. In: Química, la ciencia central. 9na edición. pp 678-685.
- (55) Humphrey SP, Williamson RT (2002). A review of saliva: normal composition, flow, and function. *J Prost Dent* 85:162-169.

ANEXO 1**Consentimiento Informado para Participar en el Estudio de Evaluación de Permeabilidad Dentinaria en Terceros Molares Extraídos**

Titulo del Protocolo : Donación de dientes para el estudio de Materiales Odontológicos y Técnicas Restauradoras.

Investigador Principal : Prof. Dr. Eduardo Fernandez Godoy

Sede de Estudio : Facultad de Odontología, Universidad de Chile – Olivos 943 – Santiago.

Nombre del Paciente :

A Usted se le está invitando a participar en un estudio de investigación odontológica. Antes de decidir si participa o no, debe conocer y comprender los aspectos siguientes. Este proceso se conoce como consentimiento informado y siéntase con absoluta libertad para preguntar sobre cualquier aspecto que le ayude a aclarar sus dudas al respecto.

Una vez que haya comprendido el estudio y si usted desea participar, entonces se le pedirá que firme este formulario.

Los aspectos de este formulario tratan los siguientes temas: Justificación del estudio, Objetivos del estudio, Beneficios del estudio, Riesgos asociados al Estudio y Aclaraciones.

Justificación del Estudio.

Algunos pacientes sufren molestias en sus dientes con posterioridad a los tratamientos de obturaciones odontológicas, se ha observado que este efecto puede relacionarse con algunos materiales dentales utilizados frecuentemente en dichos tratamientos y que puedan perturbar los tejidos al interior de los dientes.

Objetivo del Estudio

El objetivo del presente estudio es evaluar las posibles variaciones que presente la permeabilidad dentinaria de dientes tratados in vitro (en un laboratorio), luego de ser sometidos a diferentes procesos.

Beneficios del Estudio

La permeabilidad dentinaria, se basa en la perfusión de diferentes materiales a través de la dentina, generando por tanto un canal de comunicación entre la pulpa dental y el medio externo. Es así, como dicha perfusión de materiales, generará diferentes tipos de reacciones en la pulpa, pudiendo tener desde una insignificancia en la generación de síntomas y signos, hasta incluso llegar a sensibilidad y compromiso del estado pulpar.

De esta manera, resulta importante conocer los diferentes factores implicados en la permeabilidad dentinaria, para lo cual es necesario su estudio tanto en modelos in vivo, como in vitro(que es el caso de este estudio)

Procedimientos del Estudio

En el caso que usted acepte participar en el estudio se le efectuarán preguntas sobre sus antecedentes sobre salud médica y dental y que los dientes que le serán extraídos por indicación ortodoncica u otra, serán utilizados en el presente estudio.

Riesgos Asociados con el Estudio

Los posibles efectos adversos del procedimiento de extracción y los medicamentos indicados son los mismos que ocurrirían si sus dientes extraídos no fueran entregados para el estudio.

Como no se efectuará ninguna maniobra adicional destinada solo al estudio, los efectos adversos predecibles o impredecibles son los mismos que si usted no donara sus dientes para el estudio.

En caso que presente algún efecto adverso secundario o requiera de otro tipo de atención por dicho motivo, esta se le entregará en los términos que siempre se le han brindado.

Aclaraciones

La participación en el estudio es completamente voluntaria.

No habrá ninguna consecuencia desfavorable para usted, en caso de no aceptar la invitación.

Si usted decide participar puede retirarse cuando lo desee.

No tendrá que efectuar gasto alguno como consecuencia del estudio.

No recibirá pago por su participación.

Usted podrá solicitar información actualizada sobre el estudio, al investigador responsable.

La información obtenida del estudio respecto de la identificación de los pacientes, será mantenida con estricta confidencialidad por los investigadores.

Si considera que no existen dudas ni preguntas acerca de su participación, puede si lo desea, firmar la Carta de Consentimiento Informado anexa al documento.

Solo se utilizaran en el presente estudio dientes extraídos por indicación ortodóntica o de otra especialidad.

Carta de Consentimiento Informado

Yo.....
 he leído y comprendido la información anterior y mis preguntas han sido respondidas de manera satisfactoria. He sido informado que los datos obtenidos en el estudio pueden ser publicados o difundidos con fines científicos. Estoy de acuerdo en participar en este estudio de investigación. Recibiré una copia firmada y fechada de este formulario de consentimiento.

Firma del participante – Padre o Tutor	CI	Fecha
--	----	-------

Testigo	CI	Fecha
---------	----	-------

Testigo	CI	Fecha
---------	----	-------

Sección a llenar por el Investigador o su representante:

He explicado al Sr(a)..... la naturaleza de la investigación, le he explicado acerca de los riesgos y beneficios que implica su participación. He contestado a las preguntas en la medida de lo posible y he preguntado si tiene alguna duda. Acepto que conozco la normativa vigente para realizar investigación con seres humanos y declaro mi apego a ella.
 Una vez concluida la sesión de preguntas y respuestas, se procedió a firmar el presente documento

Firma del Investigador	CI	Fecha
------------------------	----	-------