



**Universidad
Europea** VALENCIA

Grado en ODONTOLOGÍA

Trabajo Fin de Grado

Curso 2024-25

**Análisis de la Estabilidad de Color en
Composites Nanorrellenos y Nanohíbridos:
*estudio in vitro***

Presentado por: Sarah-Sofia Scharifi

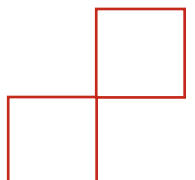
Tutora: Laura Gina Nieto

Campus de Valencia

Paseo de la Alameda, 7

46010 Valencia

universidadeuropea.com



AGRADECIMIENTOS · ACKNOWLEDGEMENTS · DANKSAGUNG

Quiero comenzar expresando mi sincero agradecimiento a mi tutora Laura, por acompañarme con cercanía y confianza en este camino. También quiero dar las gracias de corazón a Amparo, por su infinita paciencia y la calidez con la que siempre respondió a todas nuestras dudas.

Mi gratitud se extiende a los técnicos de laboratorio, cuya ayuda y disposición fueron esenciales para que pudiera llevar a cabo mi experimento.

Aprovecho también para agradecer a todos los profesores que, a lo largo de estos años, creyeron en mí. Gracias por ver en mí un potencial incluso en los momentos en los que yo misma dudaba de poder lograrlo.

I would like to thank my friends and colleagues who accompanied me throughout this journey in Valencia. Your support, shared struggles, and small everyday moments made this experience truly special.

A heartfelt thank you goes to my dear friends Massi and Desireé – thank you for always being there for me, through the highs and lows. Your presence gave me strength and reminded me that I was never alone. It wouldn't have been the same without you.

Ich möchte auch meinen Freund:innen aus Deutschland danken, die mich selbst aus der Ferne unterstützt haben. Ein großes Danke geht an Tom, den ich noch aus den Zeiten an der Uni Bremen kenne – und an Natalie, die mich seit der 5. Klasse begleitet hat.

Und da das Beste bekanntlich zum Schluss kommt: meine Familie. Danke, dass ihr mich unterstützt habt – aber vor allem danke, dass ihr mich ausgehalten habt. Als Erste in unserer Familie, die diesen Weg in die Zahnmedizin geht, war das nicht immer einfach – für mich, und auch für euch. Ich weiß, dass die Distanz eine große Herausforderung war, und bin euch von Herzen dankbar, dass ihr diesen Weg mit mir gegangen seid.

Ein besonderer Dank gilt meinem Vater. Er hat mir nicht nur dieses Studium ermöglicht – sondern ein neues, und vor allem schönes Leben. Meine Dankbarkeit für ihn lässt sich kaum in Worte fassen.

1. RESUMEN	1
2. ABSTRACT.....	3
3. PALABRAS CLAVES.....	5
4. INTRODUCCIÓN	7
4.1 Restauraciones estéticas directas con composite	7
4.1.1 Expectativas de los pacientes	7
4.1.2 Utilización de composites en el entorno clínico	8
4.1.3 Estabilidad de color	8
4.2 Composites dentales: tipos y su influencia en la estabilidad de color	9
4.2.1 Diferentes tipos de composites dentales.....	9
4.2.2 Razones detrás las tinciones en los composites dentales.....	13
5. JUSTIFICACIÓN E HIPÓTESIS	17
5.1 Justificación.....	17
5.2 Justificación ODS	17
5.3 Hipótesis	18
6. OBJETIVOS.....	20
6.1 General.....	20
6.2 Específicos.....	20
7. MATERIAL Y MÉTODOS	22
7.1 Material	22
7.1.1 Diseño del estudio	22
7.1.2 Selección de la muestra	22
7.1.3 Tamaño muestral	23
7.1.4 Material empleado	23
7.2 Método	25
7.2.1 Preparación de las muestras.....	25
7.2.2 Protocolo de inmersión	25
7.2.3 Medición del color.....	26
7.2.4 Recogida de datos.....	27
7.2.5 Análisis estadístico.....	27

8. RESULTADOS	30
8.1 Análisis descriptivo	30
8.2 Análisis interferencial	31
9. DISCUSIÓN.....	36
9.1 Resultados claves	39
9.2 Limitaciones del estudio	39
10. CONCLUSIÓN.....	42
10.1 Conclusión general	42
10.2 Conclusiones específicas	42
11. BIBLIOGRAFÍA	44
12. ANEXOS	49

1. RESUMEN

Introducción: La demanda de restauraciones estéticas directas ha aumentado considerablemente en los últimos años, impulsada por factores sociales, culturales y avances tecnológicos. En este contexto, los composites dentales, especialmente los nanorrellenos y nanohíbridos, han transformado la odontología restauradora por su capacidad de mimetizar la estructura dental, su estabilidad cromática y su facilidad de manipulación clínica. No obstante, la estabilidad del color de estos materiales continúa representando un desafío, influida tanto por factores intrínsecos del propio material como por elementos extrínsecos, como la exposición a agentes cromógenos. El presente estudio analiza la influencia del tipo de composite en la estabilidad cromática, con el objetivo de aportar evidencia que contribuya a optimizar los resultados clínicos a largo plazo

Materiales y Métodos: Se realizó un estudio in vitro utilizando muestras de composites dentales nanorrellenos y nanohíbridos. Estas fueron posteriormente expuestas a una solución de té negro para simular la acción de agentes cromógenos, mientras que los grupos control se conservaron en agua destilada. La variación del color (ΔE) se midió antes y después de la exposición mediante un espectrofotómetro Vita EasyShade. Los datos obtenidos fueron analizados mediante la prueba t de Student para muestras independientes, con un nivel de significancia establecido en $p < 0,05$.

Resultados: Tras la exposición a una solución de té negro, no se observaron diferencias estadísticamente significativas en el cambio total de color (ΔE) entre el composite nanorrelleno Filtek™ Supreme XTE ($\Delta E = 12,6 \pm 3,4$) y el nanohíbrido Filtek™ Z500. De igual forma, no se encontraron diferencias significativas en los parámetros individuales ΔL^* , Δa^* y Δb^* . En contraste, ambos materiales en el grupo control (agua destilada) mostraron una excelente estabilidad cromática ($\Delta E < 1,5$), por debajo del umbral de percepción clínica.

Conclusión: Ambos materiales demostraron un comportamiento comparable en términos de estabilidad cromática, tanto en presencia como en ausencia de agentes colorantes.

2. ABSTRACT

Introduction: The demand for direct aesthetic restorations has increased significantly in recent years, driven by social, cultural, and technological factors. In this context, dental composites—particularly nanofilled and nanohybrid materials—have transformed restorative dentistry due to their ability to mimic natural tooth structure, their color stability, and ease of clinical handling. However, the long-term color stability of these materials remains a challenge, influenced by both intrinsic factors and extrinsic agents such as exposure to chromogenic substances. This study examines the influence of composite type on color stability, aiming to provide evidence that may help optimize long-term clinical outcomes.

Materials and Methods: An in vitro study was conducted using samples of nanofilled and nanohybrid dental composites. The specimens were exposed to a black tea solution to simulate the effect of chromogenic agents, while control groups were stored in distilled water. Color variation (ΔE) was measured before and after exposure using a Vita EasyShade spectrophotometer. The data were analyzed using the independent samples Student's t-test, with a significance level set at $p < 0.05$.

Results: Following exposure to a black tea solution, no statistically significant differences were observed in the total color change (ΔE) between the nanofilled composite Filtek™ Supreme XTE ($\Delta E = 12.6 \pm 3.4$) and the nanohybrid composite Filtek™ Z500. Similarly, no significant differences were found in the individual color parameters ΔL^* , Δa^* , and Δb^* . In contrast, both materials in the control group (distilled water) exhibited excellent color stability ($\Delta E < 1.5$), remaining below the clinically perceptible threshold.

Conclusion: Both materials demonstrated comparable behavior in terms of color stability, both in the presence and absence of chromogenic agents.

3. PALABRAS CLAVES

- Composite Nanorrelleno
- Composite Microrrelleno
- Estabilidad de Color
- Agentes Cromógenos
- Restauraciones Estéticas Directas
- Medición Espectrofotométrica
- Odontología Restauradora

4. INTRODUCCIÓN

4.1 Restauraciones estéticas directas con composite

4.1.1 Expectativas de los pacientes

En las últimas décadas, la demanda de restauraciones estéticas ha crecido exponencialmente en el ámbito odontológico, impulsada por factores sociales, culturales y tecnológicos. Los pacientes ya no solo buscan tratamientos funcionales, sino también soluciones que cumplan con altos estándares estéticos, capaces de integrarse armónicamente con sus dientes naturales (1). Este fenómeno ha sido intensificado por estrategias de marketing que resaltan la capacidad de los tratamientos estéticos para transformar la apariencia dental. Este aumento en las expectativas estéticas refleja una tendencia global hacia la valorización de una sonrisa como un indicador de salud, juventud y confianza (2).

Los composites dentales han desempeñado un papel crucial en esta revolución estética debido a su versatilidad, capacidad de mimetismo y resultados predecibles. Estos materiales permiten realizar restauraciones directas en una sola sesión clínica, ofreciendo soluciones estéticas inmediatas que cumplen con las expectativas de los pacientes (3). Además, los avances en tecnología de materiales han mejorado las propiedades ópticas y mecánicas de los composites, permitiendo una mayor estabilidad de color, translucidez y resistencia al desgaste (4).

Uno de los principales motores de esta demanda es la influencia de los medios de comunicación y las redes sociales, que han popularizado ideales de belleza donde una sonrisa perfecta ocupa un lugar central. La facilidad para compartir imágenes y videos en plataformas digitales ha llevado a los pacientes a buscar resultados dentales que sean altamente estéticos y que se perciban naturales tanto en fotografías como en persona (5). Además, esta tendencia está respaldada por el marketing de clínicas dentales que promueven tratamientos "minimamente invasivos" con énfasis en resultados naturales y conservación de los tejidos dentales (6).

4.1.2 Utilización de composites en el entorno clínico

En el contexto clínico, los composites estéticos se utilizan ampliamente en restauraciones de dientes anteriores y posteriores. Su capacidad para reproducir las propiedades ópticas del esmalte y la dentina ha transformado la manera en que los odontólogos abordan las restauraciones directas. Además, la posibilidad de estratificar diferentes tonos y opacidades permite lograr restauraciones que imitan fielmente las características naturales de los dientes, como las zonas de translucidez incisal o las mamelones (4).

Un aspecto fundamental en la selección de materiales estéticos es también su impacto en la conservación dental. Los composites modernos permiten realizar tratamientos menos invasivos en comparación con otros materiales restauradores, ya que requieren una preparación mínima de los tejidos dentales. Esto no solo preserva la estructura dental sana, sino que también se alinea con las tendencias actuales de odontología conservadora y sostenible (7,8).

4.1.3 Estabilidad de color

La estabilidad de color es un factor determinante en el éxito de las restauraciones estéticas directas realizadas con composites dentales. Sin embargo, esto es uno de los problemas más comunes en las restauraciones estéticas directas. Esto se manifiesta en cambios de tonalidad o manchas que afectan no solo la apariencia de la restauración, sino también la percepción de éxito del tratamiento. Este desafío obliga a los pacientes a regresar a la clínica para reemplazar las restauraciones, un proceso costoso y poco conveniente que incrementa la carga tanto para los pacientes como para los odontólogos (9). En este contexto, resulta crucial evaluar los materiales y procedimientos que permitan maximizar la longevidad estética de las restauraciones, asegurando así la satisfacción del paciente y la optimización de los recursos clínicos.(6–8)

4.2 Composites dentales: tipos y su influencia en la estabilidad de color

4.2.1 Diferentes tipos de composites dentales

Los composites dentales son materiales ampliamente utilizados en odontología por su capacidad para combinar propiedades mecánicas, estéticas y funcionales (10). Según el tamaño de las partículas de relleno, los composites se clasifican en varias categorías, como macrorellenos, microrellenos, microhíbridos, nanorrellenos y nanohíbridos (11). Sin embargo, no todos estos materiales son igualmente adecuados para restauraciones estéticas directas, que demandan un equilibrio óptimo entre estética inicial, durabilidad y estabilidad cromática (2).

De los tipos mencionados, los composites nanorrellenos y nanohíbridos son los más comúnmente empleados en restauraciones estéticas directas debido a su capacidad para ofrecer acabados estéticos altamente satisfactorios en sectores anteriores. Su capacidad de pulido y su apariencia inicial los convierten en favoritos, aunque presentan diferencias clave en cuanto a su comportamiento cromático a lo largo del tiempo (10,11).

4.2.1.1 Composites nanorrellenos

Los composites nanorrellenos representan un avance significativo en el ámbito de los materiales dentales, desarrollados específicamente para cumplir con las demandas estéticas y funcionales en odontología restauradora. Estos materiales contienen partículas de relleno extremadamente pequeñas, con tamaños que oscilan entre 1 y 100 nanómetros, distribuidas homogéneamente en una matriz resinosa (12). Esta composición permite optimizar tanto las propiedades mecánicas como la apariencia del material, ofreciendo restauraciones altamente estéticas y duraderas (8).

A pesar de su tamaño de partícula, estos composites ofrecen propiedades mecánicas comparables o superiores a los híbridos convencionales. Son altamente resistentes a las fuerzas de masticación, lo que los hace adecuados para aplicaciones en sectores posteriores y áreas de alto estrés (13,14).

4.2.1.1.1 Ventajas de los composites nanorellos

Los composites nanorellos se han convertido en una opción destacada en restauraciones estéticas debido a su capacidad para imitar la translucidez del esmalte dental natural. Su distribución uniforme de partículas permite mantener un brillo superficial excepcional tras el pulido, lo que resulta fundamental en restauraciones en sectores anteriores (10,15). Además, su superficie lisa y homogénea contribuye a preservar tanto el brillo como la estabilidad cromática, incluso tras una exposición prolongada a los desafíos del medio oral (15).

Una de sus principales ventajas es su alta capacidad de pulido, que permite obtener superficies extremadamente lisas. Esto no solo mejora la apariencia estética de las restauraciones, sino que también garantiza una reflexión uniforme de la luz, logrando una mayor semejanza con el esmalte dental natural (15). Asimismo, la superficie lisa reduce la acumulación de placa bacteriana y agentes cromógenos, lo que favorece la estabilidad del color a largo plazo (10,14).

Otro aspecto relevante es su resistencia al desgaste químico y mecánico, lo que los hace menos susceptibles a la degradación y al desgaste abrasivo en comparación con otros tipos de composites (13,14). Esta propiedad los convierte en una opción adecuada para restauraciones tanto en sectores anteriores como en posteriores, donde es fundamental soportar fuerzas masticatorias intensas. Además, su estructura favorece una adaptación marginal precisa, reduciendo el riesgo de microfiltraciones y mejorando la adhesión a las paredes cavitarias (10,14).

Desde el punto de vista clínico, los composites nanorellos también presentan una menor retención de manchas gracias a su superficie homogénea. Esto es especialmente beneficioso en tratamientos estéticos, donde la estabilidad del color es crucial para mantener la apariencia de la restauración a lo largo del tiempo (10,15). Además, en comparación con los composites microrellos y algunos híbridos, los nanorellos presentan tasas de abrasión considerablemente menores, lo que se traduce en una mayor longevidad clínica (10,14).

4.2.1.1.2 Desventajas de los composites nanorellos

A pesar de sus numerosos beneficios, los composites nanorellos también presentan ciertas limitaciones que deben considerarse al seleccionar el material más adecuado para un tratamiento dental. Una de sus desventajas más notables es su mayor absorción de agua, derivada de su alta área superficial de relleno. Esta característica puede afectar la estabilidad dimensional del material y contribuir a cambios cromáticos a largo plazo, lo que podría comprometer su apariencia estética en ciertas condiciones clínicas (10,14).

Otra limitación importante es su costo elevado. La tecnología avanzada necesaria para la fabricación de los composites nanorellos incrementa significativamente su precio en comparación con otros materiales dentales. Esto puede representar un obstáculo para su utilización generalizada, especialmente en entornos clínicos con recursos limitados (13,15).

Finalmente, aunque los nanorellos son altamente resistentes, algunos estudios han señalado que su rendimiento no siempre supera al de los composites híbridos convencionales en áreas de alto estrés funcional, como los sectores posteriores sometidos a fuerzas de masticación intensas (13,14). Esta variabilidad en el comportamiento mecánico puede limitar su aplicación en casos donde la resistencia estructural sea la prioridad principal (8)

En resumen, aunque los composites nanorellos ofrecen ventajas significativas en cuanto a estética, resistencia al desgaste y mantenimiento del color, sus limitaciones como la absorción de agua, el costo elevado y el comportamiento en áreas de alto estrés deben ser considerados cuidadosamente para garantizar resultados clínicos óptimos (8,9,14).

4.2.1.2 Composites nanohíbridos:

Los composites nanohíbridos representan una evolución significativa en el campo de los materiales restauradores dentales. Este tipo de resinas combina rellenos convencionales de tamaño micrométrico con partículas nanométricas, formando un sistema de relleno complejo. Esta estructura mixta influye directamente en las

propiedades mecánicas, ópticas y clínicas del material, lo que los convierte en una opción versátil tanto para restauraciones anteriores como posteriores (16,17).

La composición de relleno de los composites nanohíbridos incluye partículas de diferente tamaño y naturaleza ,nanofillers y microfillers, distribuidos homogéneamente en la matriz de resina. Esta disposición permite obtener una superficie altamente pulible, con un brillo superficial notable y una apariencia estética muy similar al esmalte dental natural (18). Además, la correcta laminación de los rellenos dentro de la matriz polimérica contribuye a reducir la rugosidad superficial y mejorar la estabilidad del color a lo largo del tiempo (19).

Desde el punto de vista mecánico, las propiedades como la resistencia a la compresión y la resistencia tensil diametral varían entre productos, ya que dependen de la formulación específica del composite. Algunos nanohíbridos con sistemas de relleno complejos pueden exhibir propiedades mecánicas superiores, mientras que otros presentan valores más bajos comparados con los composites nanorrellenos (10). Asimismo, aunque generalmente ofrecen una buena dureza y resistencia al desgaste, en algunos aspectos pueden ser superados por composites exclusivamente nanorrellenos (20,21).

4.2.1.2.1 Ventajas de los composites nanohíbridos

Una de las ventajas más destacadas de los composites nanohíbridos es su excelente comportamiento estético. La combinación de partículas nano y micrométricas permite un mejor pulido, generando superficies suaves que reflejan la luz de manera similar al esmalte dental. Esto favorece una integración cromática armónica con el diente natural (19). Además, al presentar una menor rugosidad superficial, reducen la retención de placa y agentes pigmentantes, lo que favorece una mayor estabilidad de color incluso frente a sustancias como café, vino tinto o té (19,22).

Algunos nanohíbridos han demostrado tener buena resistencia flexural y tenacidad a la fractura incluso después del envejecimiento, lo que asegura una larga durabilidad clínica. En especial, cuando se incorporan rellenos avanzados como nanopartículas de zirconia o alúmina, se puede obtener un rendimiento mecánico

superior al de muchos microhíbridos convencionales (10). También muestran buena resistencia al desgaste o abrasión oclusal, factor clave en restauraciones posteriores (17,20,21).

Gracias a su balance entre estética y resistencia mecánica, los nanohíbridos pueden utilizarse con éxito tanto en zonas anteriores —donde se prioriza la apariencia— como en zonas posteriores —donde se requiere alta resistencia funcional—. Esta versatilidad los convierte en una de las opciones más prácticas para restauraciones directas (16,17).

4.2.1.2.1 Desventajas de los composites nanohíbridos

A pesar de sus claras ventajas, estos materiales también presentan algunas limitaciones. Uno de los principales inconvenientes es la tendencia a una mayor absorción de agua, atribuida a la elevada área superficial de las nanopartículas. Este fenómeno puede afectar la estabilidad dimensional del material y favorecer cambios cromáticos a lo largo del tiempo, comprometiendo así la estética de la restauración en determinadas condiciones clínicas (19,22).

Asimismo, aunque en términos generales los composites nanohíbridos muestran excelentes propiedades mecánicas, algunos estudios han indicado que en situaciones de carga masticatoria extrema, especialmente en áreas posteriores, su rendimiento no siempre supera al de los composites microhíbridos convencionales. Esta variabilidad en el desempeño bajo altos niveles de estrés funcional puede restringir su utilización en restauraciones donde la resistencia estructural es una prioridad absoluta (10,20).

4.2.2 Razones detrás las tinciones en los composites dentales

La alteración del color en los composites dentales ocurre debido a una variedad de factores estrechamente vinculados a su composición química y al procedimiento de acabado y pulido realizado tras su colocación (14). Estos elementos influyen significativamente en la capacidad del material para resistir agentes externos y mantener su apariencia estética a lo largo del tiempo (23).

4.2.2.1 Manchas extrínsecas

Las manchas extrínsecas representan uno de los principales factores responsables de la alteración del color en los composites dentales. Estas se producen debido a la acumulación de pigmentos externos derivados de alimentos y bebidas con alto contenido cromógeno, como el café, el té, el vino tinto y los refrescos oscuros, así como de productos relacionados con el tabaco, como los cigarrillos y el tabaco de mascar (2,9). Estos pigmentos tienden a adherirse a la superficie del material restaurador, especialmente cuando esta presenta irregularidades.

Esto resalta la importancia de educar a los pacientes sobre cómo su dieta y hábitos pueden influir en las restauraciones dentales, ya que estos factores pueden aumentar o disminuir significativamente el riesgo de manchas extrínsecas, impactando directamente en la longevidad y la estética de las restauraciones (24).

4.2.2.2 Manchas intrínsecas

Las manchas intrínsecas en los composites dentales se originan como consecuencia de alteraciones químicas que ocurren en la matriz del material. Estas incluyen procesos como la degradación de la resina y la oxidación de los iniciadores fotopolimerizables, componentes clave responsables de la polimerización del composite (16,25). A diferencia de las manchas extrínsecas, que suelen estar relacionadas con agentes externos, las manchas intrínsecas tienden a ser permanentes y mucho más difíciles de corregir, ya que afectan directamente la estructura interna del material restaurador (22).

Por otro lado, la oxidación de los iniciadores, como la canforoquinona, ocurre principalmente durante la exposición del material a la luz o al oxígeno. Esta reacción genera cambios cromáticos que pueden alterar el color inicial de la restauración. Además, el grado de conversión de la resina durante la fotopolimerización influye directamente en la susceptibilidad del composite a estas alteraciones químicas. Un grado de conversión incompleto puede dejar sitios reactivos expuestos, que posteriormente se degradan y contribuyen a la aparición de manchas (26).

4.2.2.3 Influencia de la rugosidad superficial

La rugosidad superficial desempeña un papel crucial en este proceso, ya que las superficies menos pulidas contienen microdepresiones y grietas que facilitan la retención de agentes cromógenos. Por otro lado, los composites con un acabado y pulido adecuados ofrecen superficies más lisas que dificultan la acumulación de estas partículas y, por ende, mejoran la estabilidad del color a lo largo del tiempo (27). La acumulación de pigmentos es particularmente problemática en entornos donde los pacientes tienen una higiene oral deficiente, ya que el biofilm puede actuar como un reservorio adicional de estos agentes (23).

4.2.2.4 Condiciones ambientales de la cavidad oral

La degradación de la matriz de resina puede ser atribuida a la exposición prolongada a factores ambientales adversos, como el agua, el pH ácido y los cambios de temperatura. Estos elementos debilitan los enlaces químicos en la matriz orgánica, aumentando la porosidad del material y permitiendo la penetración de pigmentos en su interior (2). Este fenómeno es particularmente evidente en composites con una mayor proporción de matriz resinosa en relación con el relleno inorgánico, como en el caso de los microrellenos (16).

5. JUSTIFICACIÓN E HIPÓTESIS

5.1 Justificación

El mantenimiento de la estabilidad del color en restauraciones dentales es un factor determinante para la longevidad estética y funcional de los tratamientos restaurativos. Los composites de nanorrelleno y nanohíbridos son ampliamente utilizados en odontología estética debido a su capacidad de mimetizar la estructura dental natural. Sin embargo, su susceptibilidad a la decoloración por agentes externos, como el café, el té y los refrescos de cola, sigue siendo un desafío clínico.

Del mismo modo, el impacto del envejecimiento acelerado sobre la estabilidad del color de estos materiales no ha sido completamente esclarecido.

La finalidad de esta investigación es incrementar otros estudios in vitro acerca de la estabilidad del color en composites dentales, ofreciendo más muestras y mediciones para reforzar la consistencia de la evidencia científica y la eficiencia en la valoración de estos materiales.

Por este motivo se creyó justificado realizar un estudio que respondiera a la siguiente pregunta de investigación: En composites dentales, ¿cómo afecta el tipo de material a la estabilidad de color tras la exposición a agentes cromógenos?

La pregunta de investigación se formuló con la ayuda de la pregunta PICO:

P: Muestras de composites dentales (nanorrellenos y microrellenos) utilizados en restauraciones.

I: Exposición a agentes cromógenos (soluciones de té).

C : Comparación entre composites (nanorrellenos y nanohíbridos).

O: Estabilidad de color (medida como ΔE)

5.2 Justificación ODS

El trabajo se alinea con el Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 3: Salud y Bienestar, específicamente con la meta 3.8, que promueve el acceso a servicios de salud de calidad, incluyendo la atención odontológica. La durabilidad y estabilidad del color de

los materiales restaurativos no solo impactan la estética, sino también la salud bucal y la calidad de vida de los pacientes, reduciendo la necesidad de reemplazos frecuentes y, por ende, la carga económica y ambiental asociada con los tratamientos repetidos.

También está relacionado con el ODS 12 (Producción y Consumo Responsables), ya que la optimización de los protocolos de selección de composites puede reducir el desperdicio de materiales dentales y minimizar el impacto ambiental de los residuos clínicos.

Al optimizar la selección de los composites dentales, este estudio contribuye a una odontología más sostenible, reduciendo el desperdicio de materiales y promoviendo prácticas más eficientes y accesibles dentro del ámbito de la salud oral.

5.3 Hipótesis

Hipótesis Nula (H_0): No existen diferencias significativas en la estabilidad del color entre los composites de nanorrelleno y nanohíbrido tras la exposición a agentes colorantes.

Hipótesis Alternativa (H_1): Existen diferencias significativas en la estabilidad del color entre los composites de nanorrelleno y nanohíbrido tras la exposición a agentes colorantes.

6. OBJETIVOS

6.1 General

Evaluar la estabilidad de color de dos tipos de composites dentales (nanorrelleno y nanohíbrido) mediante un estudio in vitro, tanto en condiciones controladas como tras la exposición a un agente colorante (té negro).

6.2 Específicos

- Comparar el cambio total de color (ΔE) entre los composites nanorrellenos y nanohíbridos tras la exposición a una solución de té negro.
- Evaluar los cambios individuales en los parámetros de luminosidad (ΔL^*), matiz rojo-verde (Δa^*) y matiz amarillo-azul (Δb^*) para cada tipo de composite.
- Determinar la estabilidad cromática intrínseca de ambos materiales en condiciones sin agentes pigmentantes (agua destilada como grupo control).

7. MATERIAL Y MÉTODOS

7.1 Material

7.1.1 Diseño del estudio

Se realizó un estudio *in vitro* con muestras de resinas compuestas de nanorrelleno y nanohíbrido. Se dividieron en grupos según la exposición al agente colorante, con el objetivo de analizar la estabilidad del color en diferentes condiciones experimentales. Se ha seguido la guía Consort modificada para estudios “*in vitro*” (anexo I).

Este estudio experimental cuenta con la aprobación para su realización por parte del Departamento Preclínico de Odontología el día 7 de abril de 2025 (anexo II).

El estudio se realizó en abril 2025 en los laboratorios de la Universidad Europea de Valencia.

7.1.2 Selección de la muestra

Las muestras fueron preparadas en forma de discos de 7 mm de diámetro y 3 mm de grosor utilizando moldes de silicona para garantizar la uniformidad en todas las muestras. Se dividieron en dos grupos principales según el tipo de composite (nanorrelleno o nanohíbrido) y un grupo de control para cada material. Después de su preparación tenían que pasar por ciertos criterios de exclusión y inclusión.

Criterios de inclusión:

- Se incluyeron únicamente discos de resinas compuestas de nanorrelleno y nanohíbrido.
- Las muestras debieron tener una forma circular con un diámetro de 7 mm y un grosor de 3 mm.
- Se aceptaron únicamente muestras sin grietas, burbujas o defectos superficiales tras la polimerización.
- Todas las muestras debieron ser fotopolimerizadas con una lámpara LED durante 20 segundos, siguiendo las indicaciones del fabricante.

Criterios de exclusión:

- Se excluyeron muestras con imperfecciones visibles, burbujas de aire o polimerización incompleta.
- No se incluyeron muestras que no cumplan con las dimensiones establecidas ($7\text{ mm} \pm 0.1\text{ mm}$ de diámetro y $3\text{ mm} \pm 0.1\text{ mm}$ de grosor).
- Se descartaron las muestras que hayan sido curadas de manera incorrecta.
- Se excluyeron muestras con materiales distintos a los especificados en el protocolo.
- No se incluyeron muestras almacenadas en condiciones inadecuadas o contaminadas durante la manipulación.

7.1.3 Tamaño muestral

El tamaño de la muestra se determinó a través de estudios previos, estableciendo 10 muestras en cada grupo. Tuvimos 4 grupos:

- Nanorelleno
 - Sumergido en solución colorante (té) $n=10$
 - Control (agua destilada) $n=10$
- Nanohíbrido
 - Sumergido en solución colorante (té) $n=10$
 - Control (agua destilada) $n=10$

7.1.4 Material empleado

Instrumental para la preparación de las muestras:

- Composite nanorelleno: Filtek™ Supreme XTE (3M, EE.UU.)
- Composite microrelleno: Filtek™ Z500 (3M, EE.UU.)
- Molde de silicona
- Matrices de Mylar
- Espátula de composite
- Loseta de vidrio de mezclar cemento

- Lámpara de fotopolimerización LED (Woodpecker, China)
- Medios de almacenamiento y tinción:
- Soluciones colorantes: 15 mg té negro (Lerbs & Hagedorn, Alemania) en 500ml de agua
- Agua destilada como control
- Pastilleros de plástico

Instrumental para la medición del color:

- Espectrofotómetro Vita EasyShade
- Fondo blanco estandarizado para la medición (hoja blanca DIN A4)

Filtek™ Supreme XTE (3M): El composite Filtek™ Supreme XTE de 3M es un material universal diseñado para restauraciones dentales anteriores y posteriores. Combina una estética excepcional con una resistencia sobresaliente, ofreciendo una retención del pulido duradera y una resistencia al desgaste superior. Para su uso, se recomienda aplicar el composite en incrementos de 2 mm, curando cada capa durante 20 segundos con una lámpara de fotopolimerización de alta intensidad.

Filtek™ Z500 (3M): El composite Filtek™ Z500 de 3M es un material nanohíbrido universal indicado para restauraciones anteriores y posteriores. Gracias a su tecnología de nanopartículas, ofrece una excelente resistencia mecánica, buena retención del pulido y una estética natural. Es fácil de esculpir, no se adhiere al instrumento y está disponible en varios tonos para una óptima integración con la dentición natural.

Tabla 1: Comparación de las características de los composite

Composite	Tipo de comosite	Sistema de resina	Carga inorgánica (% peso)	Tamaño de partículas	Composición del relleno
Filtek™ Supreme XTE	Nanorelleno	UDMA, Bis-EMA(6), TEGDMA, PEGDMA	78,5 %	Nanopartículas: 4 - 20nm Nanoclústeres: 0,6 - 20 nm	Sílice (20 nm), zirconia (4-11 nm), nanoclústeres zirconia/sílice
Filtek™ Z500	Nanohíbrido	Bis-GMA, UDMA, Bis-EMA, TEGDMA	78,5 %	Nanopartículas: 5-20 nm Nanoclústeres: 0,6-1,4 µm	Sílice (20 nm), zirconia/sílice (5-20 nm), nanoclústeres agregados

7.2 Método

7.2.1 Preparación de las muestras

Las resinas compuestas fueron colocadas con una espátula de composite en los moldes de silicona y cubiertas con una tira de Mylar, sobre la cual se aplicó presión con una loseta de vidrio para obtener una superficie homogénea y evitar excesos de composite. Posteriormente, se fotopolimerizaron con una lámpara LED durante 20 segundos, manteniendo la tira de Mylar entre el molde y la lámpara. Este paso nos sirvió para asegurar que la distancia entre la fuente de luz y las muestras fuera siempre la misma.



Fig. 1: Material empleado para la preparación de las muestras

7.2.2 Protocolo de inmersión

Las muestras se dividieron en subgrupos de acuerdo con el grupo asignado. La inmersión de la muestra en la solución, según el grupo, se llevó a cabo en un entorno protegido de la luz durante un período de 5 días. Los grupos de control en un recipiente con agua destilada y los grupos que se tienen en la solución de te negro (Ceylon FOP, Lerbs

& Hagedorn e.kfr., Alemania). Se utilizaron pastilleros rotulados para garantizar la correcta identificación de las muestras (Fig. 2)



Fig. 2: Muestras almacenadas en pastilleros para poder diferenciar todas las muestras

7.2.3 Medición del color

Las mediciones del color se realizaron con un espectrofotómetro Vita EasyShade antes y después de la inmersión. Para evitar interferencias, las muestras fueron lavadas con agua y secadas antes de las mediciones. Se utilizó el sistema CIELAB, registrando los valores L (luminosidad), a (rojo-verde) y b (amarillo-azul). Para cada muestra, se tomaron 3 mediciones, calculando el valor medio.



Fig. 3: Variables L^* , a^* , b^*

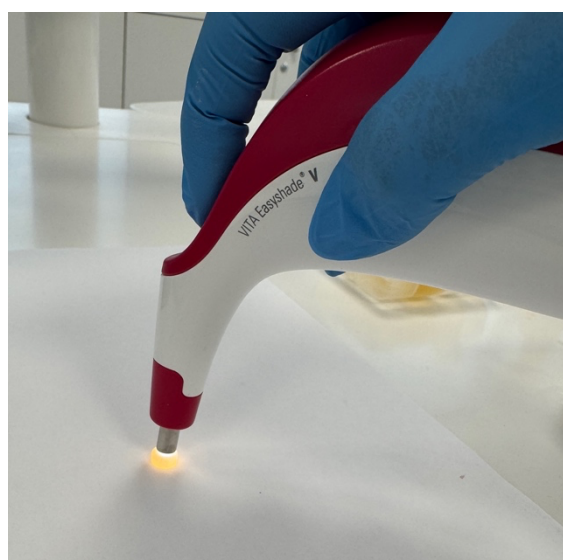


Fig. 4: Medición con VITA Easyshade® V en fondo blanco

7.2.4 Recogida de datos

En todos los grupos se realizó un registro del color inicial de las muestras antes de la inmersión en la solución colorante y, posteriormente, tras el período de almacenamiento, utilizando un espectrofotómetro (Vita EasyShade).

Antes de efectuar las mediciones, el dispositivo fue calibrado siguiendo las indicaciones del fabricante, colocándolo en su base de carga. Para garantizar la precisión y reproducibilidad de los datos, se efectuaron tres mediciones sobre cada muestra, obteniendo un valor promedio de las coordenadas L^* , a^* y b^{***} . Todos los datos recopilados fueron organizados en una hoja de Excel, anotando los valores registrados para cada muestra (Tabla 2).

Tabla 2: Tabla para la recogida de las mediciones

Tabla recogida de datos																				
ID Muestra	Tipo de Composite	Solución de Almacenamiento	Medición inicial									Medición final								
			1			2			3			1			2			3		
			L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*
	Nanohíbrido	Test																		
	Nanohíbrido	Control																		
	Nanorelleno	Test																		
	Nanorelleno	Control																		

La variación del color (ΔE) se determinó a partir de los valores de L^* , a^* y b^* , analizando las diferencias antes y después de la inmersión. Los cambios en cada componente cromático se expresaron como ΔL^* , Δa^* , Δb^* .

Los valores de ΔE (diferencia total de color) se calcularon con la ecuación:

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

7.2.5 Análisis estadístico

Se calcularon estadísticas descriptivas (medias y desviaciones estándar para todos los parámetros de color. Los datos se analizaron mediante pruebas t de muestras independientes para comparar parámetros de color específicos entre materiales dentro de cada grupo de soluciones. Se realizó la prueba de Levene para evaluar la igualdad de

varianzas. Todos los análisis estadísticos se realizaron con el programa IBM SPSS Statistics (versión 29.0.0), y el nivel de significación se fijó en $p < 0,05$.

8. RESULTADOS

8.1 Análisis descriptivo

Este estudio in-vitro tiene una muestra completa de 40 discos de composites, 20 de composite nanorelleno y 20 de composite nanohíbrido, fabricados a mano como descrito en el apartado de de materiales y métodos y sucesivamente seleccionados a través de varios criterios de inclusión y exclusión. Después los discos fueron divididos en un grupo de prueba y un grupo de control para cada material.

Tabla 3: Análisis descriptivo de la muestra total

	Media	SD	Min	Max	Mediana	Percentil 25	Percentil 75
ΔE	6,7	5,8	0,4	17,4	4,6	1,0	12,0
ΔL^*	-4,92	5,97	-15,5	2,60	-3,25	-10,25	0,45
Δa^*	1,83	1,84	-0,10	5,40	1,20	0,15	3,35
Δb^*	2,59	2,36	-1,80	7,00	2,70	0,75	4,45

El cambio de color total (ΔE) mostró una variación considerable ($M = 6,7 \pm 5,8$), con valores que iban desde un cambio de color mínimo ($Mín = 0,4$) hasta una decoloración sustancial ($Máx = 17,4$). El valor ΔE medio de 4,6 indica que más de la mitad de los especímenes experimentaron cambios de color clínicamente perceptibles ($\Delta E > 3,3-3,7$). El rango intercuartílico ($IQR = 11,0$) entre el percentil 25 (1,0) y el percentil 75 (12,0) demuestra una amplia variabilidad en la susceptibilidad a la tinción entre los especímenes.

El análisis de los parámetros de color específicos reveló que los especímenes experimentaron principalmente oscurecimiento, como lo demuestra el cambio negativo de la luminosidad media ($\Delta L^* = -4,91 \pm 5,97$), con valores que van desde un oscurecimiento grave ($Mín = -15,50$) a un ligero aclaramiento ($Máx = 2,60$). Los especímenes también mostraron un desplazamiento general hacia el rojo en el eje rojo-verde ($\Delta a^* = 1,83 \pm 1,84$, rango: -0,10 a 5,40) y hacia el amarillo en el eje azul-amarillo ($\Delta b^* = 2,59 \pm 2,36$, rango: -1,80 a 7,00). Las medidas de tendencia central y los

estadísticos de dispersión indican colectivamente que el patrón de cambio de color predominante fue un desplazamiento hacia tonos más oscuros, más rojos y más amarillos, en consonancia con la naturaleza cromogénica de la solución de tinción de té utilizada en este estudio. (Tabla 3)

8.2 Análisis interferencial

Según el objetivo de comparar la estabilidad de color entre composites nanorrellenos y nanohíbridos tras la exposición a soluciones colorantes determinando ΔE estadísticamente tenemos los siguientes resultados:

Tabla 4: Comparación de los parámetros de cambio de color entre los composites nanohíbridos y nanorellenos en los grupos de prueba y control (Media $\pm$ DE).

Parámetro	Nanohíbrido	Nanorelleno	p-valor
Grupo de prueba (solución de té negro)			
ΔE	11,2 $\pm$ 3,5	12,6 $\pm$ 3,4	0,352
ΔL^*	-9,48 $\pm$ 3,34	-11,06 $\pm$ 3,38	0,307
Δa^*	3,34 $\pm$ 1,52	3,55 $\pm$ 0,87	0,709
Δb^*	4,53 $\pm$ 1,33	4,67 $\pm$ 1,43	0,823
Grupo de control (agua destilada)			
ΔE	1,5 $\pm$ 1,0	1,4 $\pm$ 0,9	0,817
ΔL^*	0,09 $\pm$ 1,23	0,82 $\pm$ 0,81	0,135
Δa^*	0,25 $\pm$ 0,21	0,19 $\pm$ 0,24	0,555
Δb^*	0,26 $\pm$ 1,30	0,90 $\pm$ 0,67	0,183

Grupo de prueba (grupo de la solución de té negro):

Se realizaron pruebas t de muestras independientes para comparar los parámetros de estabilidad del color entre los materiales compuestos nanohíbridos y nanorrellenos en la condición de prueba (solución de tinción). El análisis del cambio de color total no reveló diferencias estadísticamente significativas entre los composites

nanohíbridos ($\Delta E = 11,2 \pm 3,5$) y los composites nanorrellenos ($\Delta E = 12,6 \pm 3,4$), $t(18) = -0,96$, $p = .352$, $d = -0,43$.

El parámetro de luminosidad mostró un mayor oscurecimiento en los composites nanorrellenos ($\Delta L^* = -11,06 \pm 3,38$) en comparación con los composites nanohíbridos ($\Delta L^* = -9,48 \pm 3,34$), pero esta diferencia no fue estadísticamente significativa, $t(18) = 1,05$, $p = .307$, $d = 0,47$. Del mismo modo, no se observaron diferencias significativas para el desplazamiento rojo-verde entre los materiales nanohíbridos ($\Delta a^* = 3,34 \pm 1,52$) y nanorrellenos ($\Delta a^* = 3,55 \pm 0,87$), $t(18) = -0,38$, $p = 0,709$, $d = -0,17$, o desplazamiento azul-amarillo (nanohíbrido: $\Delta b^* = 4,53 \pm 1,33$; nanorrelleno: $\Delta b^* = 4,67 \pm 1,43$), $t(18) = -0,23$, $p = 0,823$, $d = -0,10$. (Tabla 4 y Figura 5).

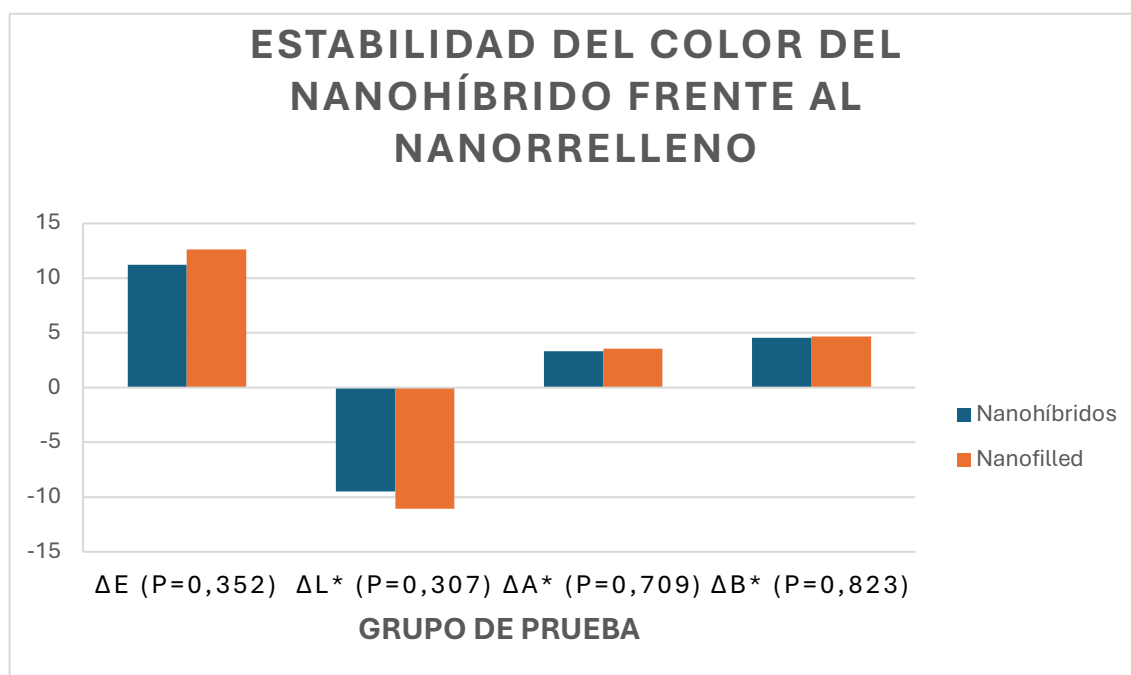


Fig. 5: Comparación de los parámetros de cambio de color entre los grupos de prueba nanohíbridos y nanorrellenos (media)

Grupo de control (grupo de agua destilada):

Para las muestras almacenadas en agua destilada (condición de control), las pruebas t de muestras independientes tampoco revelaron diferencias estadísticamente significativas entre los composites nanohíbridos y nanorrellenos para el cambio de color total (nanohíbrido: $\Delta E = 1,5 \pm 1,0$; nanorrelleno: $\Delta E = 1,4 \pm 0,9$), $t(18) = 0,23$, $p = .817$, d

= 0,10. Ambos materiales mostraron un cambio de color mínimo durante el periodo de almacenamiento, con valores muy por debajo del umbral de perceptibilidad clínica ($\Delta E < 3,3-3,7$).

El análisis de los parámetros de color individuales en los especímenes de control no mostró diferencias significativas entre los materiales para el cambio de luminosidad (nanohíbrido: $\Delta L^* = 0,09 \pm 1,23$; nanorrelleno: $\Delta L^* = 0,82 \pm 0,81$), $t(18) = -1,57$, $p = .135$, $d = -0.70$; desplazamiento rojo-verde (nanohíbrido: $\Delta a^* = 0,25 \pm 0,21$; nanorrelleno: $\Delta a^* = 0,19 \pm 0,24$), $t(18) = 0,60$, $p = .555$, $d = 0.27$; o desplazamiento azul-amarillo (nanohíbrido: $\Delta b^* = 0,26 \pm 1,30$; nanorrelleno: $\Delta b^* = 0,90 \pm 0,67$), $t(18) = -1,39$, $p = .183$, $d = -0,62$ (Tabla 4 y Figura 6).

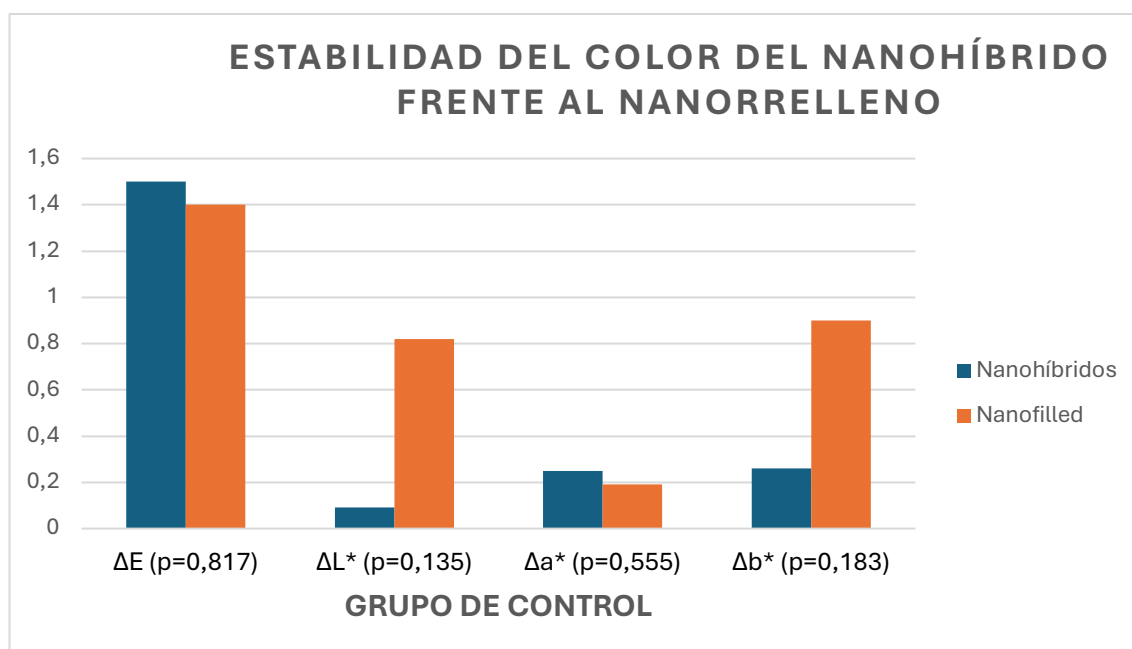


Fig. 6: Comparación de los parámetros de cambio de color entre los grupos de control nanohíbridos y nanorrellenos (media)

Variación cromática individual: control vs prueba

Además del análisis comparativo entre los dos tipos de composites, se evaluó también la variación cromática de cada material por separado, comparando su grupo de control con el grupo de prueba correspondiente. Tanto el composite nanorrelleno como el nanohíbrido presentaron un aumento significativo en el valor de ΔE tras la exposición al té negro, en comparación con sus respectivos grupos control. En el caso del Filtek™

Supreme XTE, el valor medio de ΔE aumentó de $1,4 \pm 0,9$ en el grupo control y en el grupo de prueba a $12,6 \pm 3,4$. De forma similar, el Filtek™ Z500 pasó de un ΔE de $1,5 \pm 1,0$ a $11,2 \pm 3,5$ (Tabla 4). Aunque en la comparación entre los dos composites no se detectaron diferencias estadísticamente significativas, ambos materiales sufrieron de una alteración perceptible del color tras la inmersión, reforzando la interpretación de que la tinción fue efectiva en ambos grupos experimentales.

9. DISCUSIÓN

En la odontología restauradora, la estabilidad del color de los composites nanorrellenos y nanohíbridos utilizados en restauraciones estéticas directas es de gran importancia. La creciente demanda de restauraciones estéticas por parte de los pacientes, motivada por factores sociales, culturales y tecnológicos, ha impulsado el desarrollo y la utilización de diferentes tipos de composites dentales que imitan la apariencia natural de los dientes y ofrecen resultados predecibles (16,28).

Uno de los aspectos críticos en la longevidad de estas restauraciones es la estabilidad de color, que puede verse afectada por diversos factores intrínsecos y extrínsecos. Los composites nanorrellenos, por ejemplo, presentan ventajas como mejor acabado superficial y mayor resistencia mecánica, pero también enfrentan desafíos relacionados con su capacidad de resistir manchas y cambios de color a largo plazo (23,29). Por otro lado, los composites nanohíbridos combinan diferentes tamaños de partículas, buscando equilibrar la estética y la durabilidad, aunque también pueden presentar variaciones en su comportamiento frente a agentes cromógenos (30).

Parte del diseño experimental del presente estudio fue directamente inspirado por el trabajo de Thakkar et al., quienes analizaron el efecto de diversas bebidas pigmentantes (té, café, vino tinto y bebidas carbonatadas) sobre la estabilidad del color de diferentes tipos de resinas compuestas, utilizando un espectrofotómetro y el sistema de coordenadas CIE $L^*a^*b^*$ (30). En particular, se replicó el uso de soluciones preparadas bajo condiciones controladas y el empleo de discos estandarizados de composite. Además, se adaptó el enfoque de inmersión continua durante un periodo específico (en su caso, 12 días), lo cual fue clave para lograr una exposición sostenida al agente colorante (té negro en nuestro estudio). Del mismo modo, se siguió su criterio de realizar la medición del color antes y después del tratamiento de inmersión, utilizando el mismo sistema espectrofotométrico CIE $L^*a^*b^*$ para obtener valores cuantitativos objetivos de ΔE , ΔL^* , Δa^* y Δb^* . La metodología de Ugurlu et al. también fue considerada, especialmente en cuanto al uso de moldes estandarizados, repetir la medición de color tres veces de cada espécimen y el cálculo del valor ΔE para cuantificar la alteración cromática (31).

El presente estudio comparó la estabilidad cromática de dos sistemas restaurativos: Filtek™ Supreme XTE (nano-filled) y Filtek™ Z500 (nano-híbrido), sometidos a la acción de un agente colorante (solución de té negro) y, paralelamente, evaluados en un grupo control almacenado en agua destilada. Los resultados mostraron que, en el grupo test, no se observaron diferencias estadísticamente significativas en el cambio total del color (ΔE : 12.6 ± 3.4 para nano-filled versus 11.2 ± 3.5 para nano-híbrido; $p = 0.352$), y de igual manera, los parámetros individuales de luminosidad (ΔL^*), tonalidad roja-verde (Δa^*) y azul-amarilla (Δb^*) tampoco mostraron diferencias significativas. En contraste, los especímenes del grupo control exhibieron cambios ínfimos en color ($\Delta E < 1.5$), lo que evidencia la estabilidad intrínseca de ambos materiales en condiciones sin agresores externos.

Estos hallazgos se sitúan en el marco de la literatura reciente y permiten establecer comparaciones directas con estudios previos que han evaluado la estabilidad cromática de distintos tipos de composites dentales. Usha et al. (2019) realizaron un estudio comparativo entre composites nanorellenos y nanohíbridos ante la exposición a diversos agentes colorantes, encontrando resultados similares en cuanto a la estabilidad del color, lo que respalda que las diferencias en la composición y tamaño de partícula pueden tener un impacto limitado en la respuesta cromática cuando se utilizan materiales con formulaciones optimizadas (32). Asimismo, Thakkar et al. (2024), quienes evaluaron la estabilidad del color de diferentes resinas compuestas al ser expuestas a agentes pigmentantes como café, té, vino tinto y bebidas carbonatadas. En su estudio in vitro, se evidenció una pérdida de estabilidad cromática significativa en todos los materiales tras la inmersión en té negro y café, pero no se hallaron diferencias clínicamente significativas entre los diferentes tipos de composites evaluados, incluidos los nano-híbridos (30). Esto respalda la interpretación de que la susceptibilidad a la tinción depende tanto del tipo de bebida como de las características superficiales del material, más que exclusivamente de la clasificación nano-híbrido o nano-filled.

Adicionalmente, Maran et al. (2020) realizaron una revisión sistemática y metaanálisis que concluyó que, si bien la composición del relleno y la matriz resinosa pueden influir en la estabilidad del color, otros factores tales como el acabado

superficial, la polimerización y la exposición a agentes colorantes juegan roles determinantes en la decoloración observada (33). Este hallazgo es consistente con los datos presentados en el presente estudio, donde el grupo control evidenció una mínima alteración en el color, validando que los cambios significativos observados en el grupo de prueba son atribuibles exclusivamente a la acción del agente colorante y no a una inestabilidad inherente de los materiales.

Otros estudios como el realizado por Guy et al. (2024) encontraron una diferencia significativa en favor del composite nanohíbrido Admira Fusion, basado en tecnologíaOrmocer. En su experimento, Admira Fusion mostró una mayor resistencia a la decoloración frente a Normo Fill (UDMA), con valores de ΔE significativamente menores tras la exposición a café. Esta diferencia se atribuyó principalmente a la estructura química de la matriz resinosa Ormocer, la cual presenta menor absorción de agua y mayor estabilidad química frente a los monómeros convencionales como el UDMA. Esta comparación sugiere que, más allá del tamaño o tipo de partícula de relleno, la composición de la matriz resinosa podría jugar un papel más determinante en la estabilidad del color de los composites, especialmente ante agentes cromógenos agresivos como el café.(34)

Finalmente, es pertinente mencionar que, aunque se observó una ligera tendencia hacia un mayor oscurecimiento (mayor valor negativo de ΔL^*) en el material nanorelleno, dicha variación no fue suficientemente significativa desde el punto de vista estadístico ni clínico, lo que respalda la hipótesis de que los avances en las formulaciones de resinas restauradoras han contribuido a mitigar las diferencias previas en la respuesta al estrés colorante. En conjunto, estos resultados sugieren que la elección entre composites nano-filled y nano-híbridos puede fundamentarse en otros criterios técnicos y clínicos (como las propiedades mecánicas o la facilidad de manejo), sin que la estabilidad del color se vea comprometida en situaciones de exposición a agentes de tinción.

En resumen, nuestros hallazgos, en concordancia con estudios recientes, indican que tanto Filtek™ Supreme XTE como Filtek™ Z500 exhiben una alta estabilidad cromática en ausencia de agresores externos y presentan alteraciones similares en

condiciones de exposición a agentes colorantes agresivos. Estos resultados ofrecen un sustento sólido para la elección de cualquiera de estos sistemas restaurativos en aplicaciones clínicas estéticas, permitiendo al profesional basarse en otras consideraciones, como la durabilidad mecánica o las propiedades de la adhesión, sin renunciar a una óptima estabilidad del color a largo plazo.

9.1 Resultados claves

- Se observó cambio de color en ambos tipos de composite tras la exposición al té negro
- No se observaron diferencias estadísticamente significativas en el cambio de color total (ΔE) entre el composite nanorrelleno ($\Delta E = 12,6 \pm 3,4$) y el nanohíbrido ($\Delta E = 11,2 \pm 3,5$) tras la exposición a té negro ($p = 0,352$).
- En los parámetros individuales de color, tras la exposición a té negro, tampoco hubo diferencias significativas:
 - ΔL^* (luminosidad): mayor oscurecimiento en el nanorrelleno, pero sin significación ($p = 0,307$).
 - Δa^* (rojo-verde) y Δb^* (amarillo-azul): variaciones leves sin significancia ($p = 0,709$ y $p = 0,823$).
- En el grupo control (agua destilada), ambos materiales mostraron una estabilidad cromática alta, con $\Delta E < 1,5$, por debajo del umbral clínico perceptible.
- En general, el patrón cromático observado fue un cambio hacia tonos más oscuros, rojizos y amarillos, atribuible al efecto pigmentante del té negro.

9.2 Limitaciones del estudio

Una de las limitaciones más importantes de este estudio es la imposibilidad de replicar fielmente el entorno oral. Aunque las condiciones in vitro permiten controlar variables específicas, no se logra imitar por completo factores relevantes propios de la cavidad bucal, como la acción de la saliva, las variaciones de pH, la fluctuación de la

temperatura y las fuerzas mecánicas generadas durante la masticación. Esta limitación puede influir en la estabilidad del color y en el comportamiento de los materiales restaurativos, por lo que los resultados deben interpretarse con cautela al extrapolarlos a un contexto clínico.

Otra limitación es el periodo reducido de exposición al agente colorante empleado en el presente estudio. Estudios previos han utilizado periodos de inmersión significativamente más largos para evaluar la decoloración de los composites. Por ejemplo, Thakkar et al. (2024) sometieron los especímenes a agentes pigmentantes durante 14 días, mientras que Faris et al. (2023) realizaron evaluaciones de estabilidad del color extendiendo la exposición hasta 30 días (30,35). Estos periodos más prolongados permiten observar de manera más completa la evolución de la decoloración a lo largo del tiempo, lo que podría ofrecer una mejor aproximación al comportamiento a largo plazo de los materiales en condiciones reales de uso. En nuestro estudio, el periodo acotado podría no captar completamente la dinámica de la decoloración, limitando la extrapolación de los resultados a escenarios clínicos prolongados.

10. CONCLUSIÓN

Las conclusiones del estudio in vitro sobre estabilidad cromática de composites dentales que hemos realizado, respondiendo a los objetivos previamente planteados y dentro de las limitaciones del diseño experimental, son las siguientes:

10.1 Conclusión general

El estudio permitió establecer que ambos materiales presentan una estabilidad cromática comparable, tanto en condiciones controladas como tras la exposición a un agente pigmentante. No se observaron diferencias estadísticamente significativas en los valores de cambio total de color (ΔE), lo que indica que tanto el composite nanorrelleno Filtek™ Supreme XTE como el nanohíbrido Filtek™ Z500 mantienen un comportamiento similar ante la acción del té negro, uno de los agentes colorantes más comunes en la dieta.

10.2 Conclusiones específicas

- El análisis estadístico mostró que no hubo diferencias significativas en los valores de ΔE entre ambos tipos de composites ($\Delta E = 12,6 \pm 3,4$ vs. $11,2 \pm 3,5$; $p = 0,352$). Por tanto, se concluye que ninguno de los dos materiales es significativamente más susceptible a la tinción bajo las condiciones del presente experimento.
- Aunque se observaron ciertas tendencias —como una mayor disminución de luminosidad en el nanorrelleno— estas no alcanzaron significación estadística ($p > 0,3$ en todos los casos). Ambos materiales presentaron cambios similares hacia tonos más oscuros, rojizos y amarillos, sin diferencias clínicamente relevantes.
- En el grupo control, ambos composites mostraron una excelente estabilidad del color, con valores de ΔE inferiores al umbral de percepción visual ($\Delta E < 1,5$). Mientras que en el grupo test, ambos composites presentaron un cambio de color clínicamente perceptible tras la exposición al té negro con valores de ΔE $12,6 \pm 3,4$ en el Filtek™ Supreme XTE y $11,2 \pm 3,5$ en el Filtek™ Z500. Esto confirma que las alteraciones cromáticas observadas en el grupo test son atribuibles al efecto del té negro y no a inestabilidades propias de los materiales.

11. BIBLIOGRAFÍA

1. Frese C, Staehle HJ, Wolff D. The assessment of dentofacial esthetics in restorative dentistry: a review of the literature. J Am Dent Assoc [Internet]. 2012 [citado 29 de diciembre de 2024];143(5):461-6. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22547716/>
2. Bagheri R, Burrow MF, Tyas M. Influence of food-simulating solutions and surface finish on susceptibility to staining of aesthetic restorative materials. J Dent [Internet]. 2005 [citado 29 de diciembre de 2024];33(5):389-98. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15833394/>
3. Dudea D, Alb C, Culic B, Alb F. Performance of Dental Composites in Restorative Dentistry. En: Handbook of Bioceramics and Biocomposites. Cham: Springer International Publishing; 2015. p. 1-40.
4. Özükoç C, Professor A. Clinical Performance of Direct Anterior Composite Restorations in Mixed Dentition: A randomized cross-sectional study. Innovative Journal of Medical and Health Science I Jour Med Health Science [Internet]. 2020;10(07):1167-75. Disponible en: <https://doi.org/10.15520/ijmhs.v10i07.3047>
5. Ramos-Acosta NS, García-Palacios OG, Morales-Chancusi EC, Toala-Tapia AI. Intersección entre la odontología y la diversidad de la belleza [Intersection of dentistry and beauty diversity]. Sanitas Revista arbitrada de ciencias de la salud. 3 de diciembre de 2024;3(especial odontologia 2):17-23.
6. Demarco FF, Collares K, Coelho-De-Souza FH, Correa MB, Cenci MS, Moraes RR, et al. Anterior composite restorations: A systematic review on long-term survival and reasons for failure. Vol. 31, Dental Materials. Elsevier Inc.; 2015. p. 1214-24.
7. Demarco FF, Collares K, Correa MB, Cenci MS, de Moraes RR, Opdamz NJ. Should my composite restorations last forever? Why are they failing? Vol. 31, Brazilian Oral Research. Sociedade Brasileira de Hematologia e Hemoterapia; 2017. p. 92-9.

8. Aminoroaya A, Neisiany RE, Khorasani SN, Panahi P, Das O, Madry H, et al. A review of dental composites: Challenges, chemistry aspects, filler influences, and future insights. *Compos B Eng*. 1 de julio de 2021;216.
9. Villalta P, Lu H, Okte Z, Garcia-Godoy F, Powers JM. Effects of staining and bleaching on color change of dental composite resins. *Journal of Prosthetic Dentistry* [Internet]. 1 de febrero de 2006 [citado 29 de diciembre de 2024];95(2):137-42. Disponible en: <http://www.thejpd.org/article/S0022391305006463/fulltext>
10. Mitra SB, Wu D, Holmes BN. An application of nanotechnology in advanced dental materials. *J Am Dent Assoc* [Internet]. 2003 [citado 29 de diciembre de 2024];134(10):1382-90. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/14620019/>
11. Reddy KV, Nirupama C, Reddy PK, Koppolu P, Alotaibi DH. Effect of iatrogenic factors on periodontal health: An epidemiological study. *Saudi Dental Journal*. 1 de febrero de 2020;32(2):80-5.
12. Guará Brusaca Almeida SCHEIBE K, Guará Brusaca ALMEIDA K, Studart MEDEIROS I, Ferreira COSTA J, Maria Coêlho ALVES C. EFFECT OF DIFFERENT POLISHING SYSTEMS ON THE SURFACE ROUGHNESS OF MICROHYBRID COMPOSITES [Internet]. Disponible en: www.fob.usp.br/jaos
13. Junior SAR, Ferracane JL, Bona Á Della. Flexural strength and Weibull analysis of a microhybrid and a nanofill composite evaluated by 3- and 4-point bending tests. *Dental Materials*. marzo de 2008;24(3):426-31.
14. Tsujimoto A, Barkmeier WW, Fischer NG, Nojiri K, Nagura Y, Takamizawa T, et al. Wear of resin composites: Current insights into underlying mechanisms, evaluation methods and influential factors. Vol. 54, *Japanese Dental Science Review*. Elsevier Ltd; 2018. p. 76-87.
15. Alzraikat H, Burrow MF, Maghaireh GA, Taha NA. Nanofilled resin composite properties and clinical performance: A review. *Oper Dent*. 1 de julio de 2018;43(4):E173-90.

16. Ferracane JL. Resin composite—State of the art. *Dental Materials*. enero de 2011;27(1):29-38.
17. Ilie N, Hickel R. Resin composite restorative materials. *Aust Dent J* [Internet]. junio de 2011 [citado 3 de mayo de 2025];56 Suppl 1(SUPPL. 1):59-66. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21564116/>
18. Păstrav M, Păstrav O, Chisnoiu AM, Chisnoiu RM, Cuc S, Petean I, et al. Properties of Nanohybrid Dental Composites—A Comparative In Vitro Study. *Biomedicines* 2024, Vol 12, Page 243 [Internet]. 22 de enero de 2024 [citado 3 de mayo de 2025];12(1):243. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2227-9059/12/1/243/htm>
19. Furuse AY, Gordon K, Rodrigues FP, Silikas N, Watts DC. Colour-stability and gloss-retention of silorane and dimethacrylate composites with accelerated aging. *J Dent* [Internet]. noviembre de 2008 [citado 3 de mayo de 2025];36(11):945-52. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18778884/>
20. Da Rosa Rodolpho PA, Donassollo TA, Cenci MS, Loguércio AD, Moraes RR, Bronkhorst EM, et al. 22-Year clinical evaluation of the performance of two posterior composites with different filler characteristics. *Dent Mater* [Internet]. 2011 [citado 3 de mayo de 2025];27(10):955-63. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21762980/>
21. Özcan M, Corazza PH, Marocho SMS, Barbosa SH, Bottino MA. Repair bond strength of microhybrid, nanohybrid and nanofilled resin composites: effect of substrate resin type, surface conditioning and ageing. *Clin Oral Investig* [Internet]. septiembre de 2013 [citado 3 de mayo de 2025];17(7):1751-8. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23081754/>
22. Sarafianou A, Iosifidou S, Papadopoulos T, Eliades G. Color Stability and Degree of Cure of Direct Composite Restoratives After Accelerated Aging. *Oper Dent*. 1 de julio de 2007;32(4):406-11.
23. Aydın N, Topçu FT, Karaoğlu S, Oktay EA, Erdemir U. Effect of finishing and polishing systems on the surface roughness and color change of composite resins. *J Clin Exp Dent*. 1 de mayo de 2021;13(5):446-54.

24. Jefferies SR. Abrasive Finishing and Polishing in Restorative Dentistry: A State-of-the-Art Review. *Dent Clin North Am.* abril de 2007;51(2):379-97.
25. Lee YK, Powers JM. Color changes of resin composites in the reflectance and transmittance modes. *Dental Materials.* marzo de 2007;23(3):259-64.
26. Prieto LT, Pimenta de Araújo CT, Araujo Pierote JJ, Salles de Oliveira DCR, Coppini EK, Sartini Paulillo LAM. Evaluation of degree of conversion and the effect of thermal aging on the color stability of resin cements and flowable composite. *J Conserv Dent.* 2018;21(1):47-51.
27. Scheibe KGBA, Almeida KGB, Medeiros IS, Costa JF, Alves CMC. Effect of different polishing systems on the surface roughness of microhybrid composites. *J Appl Oral Sci [Internet].* 2009 [citado 29 de diciembre de 2024];17(1):21-6. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19148401/>
28. Ashok NG, Jayalakshmi S. Factors that Influence the Color Stability of Composite Restorations Factors affecting color stability of composite restorations. 2017; Disponible en: www.ijofb.org
29. Alharbi G, Al Nahedh HN, Al-Saud LM, Shono N, Maawadh A. Effect of different finishing and polishing systems on surface properties of universal single shade resin-based composites. *BMC Oral Health.* 7 de febrero de 2024;24(1):197.
30. Thakkar R, Maini AP, Mogla S, Qadri SSH, Varma PK, Dubey A. Effect of Staining Beverages on Color Stability of Composite: A Spectrophotometric Study. *J Pharm Bioallied Sci [Internet].* 1 de febrero de 2024 [citado 6 de diciembre de 2024];16(Suppl 1):S389. Disponible en: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11000951/>
31. Muhittin U, Burak TU, Kam HO. Color stability of microhybrid and nanofilled composite resins: Effect of surface sealant agents containing different filler content. *Journal of Contemporary Dental Practice.* 2019;20(9):1045-50.
32. Usha C, Rao S, George G. A comparative evaluation of the staining capacity of microhybrid and nanohybrid resin-based composite to indian spices and food colorants: An in vitro study. *Indian Journal of Dental Research.* 1 de marzo de 2018;29(2):201-5.

33. Maran BM, de Geus JL, Gutiérrez MF, Heintze S, Tardem C, Barceleiro MO, et al. Nanofilled/nanohybrid and hybrid resin-based composite in patients with direct restorations in posterior teeth: A systematic review and meta-analysis. *J Dent*. 1 de agosto de 2020;99:103407.
34. Guy JE, Hijazi Alsadi T, Muwaquet Rodriguez S. Colour stability comparison between ormocer nanohybrid composites and udma-based nanocomposites after immersion in coffee – Experimental study. *Saudi Dental Journal*. 1 de diciembre de 2024;
35. Faris TM, Abdulrahim RH, Mahmood MA, Mhammed Dalloo GA, Gul SS. In vitro evaluation of dental color stability using various aesthetic restorative materials after immersion in different drinks. *BMC Oral Health* [Internet]. 1 de diciembre de 2023 [citado 6 de diciembre de 2024];23(1):49. Disponible en: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9884413/>

12. ANEXOS

Anexo I Guía Consort modificada para estudios in vitro

Item	Description	Page
1	Title	0
2	Abstract: either a structured summary of background, research objectives, key experiment methods, principal fundings, and conclusion of the study or self-contained (should contain enough information to enable a good understanding of the rationale for the approach)	1,3
3	Introduction: background, experimental approach, and explanation of rational/hypothesis	7-15
4	Introduction; preprimary and secondary objectives for the experiments (specific primary/secondary objectives)	20
5	Methods: study design explained number of experimental and control groups, steps to reduce bias (demonstrating the consistency of the experiment (done more than one), sufficient detail for replication, blinding evaluation, etc).	22-23
6	Methods: precise details of experimental procedure (i.e., how, when, where and why)	22-27
7	Methods: how sample size was determined (details of control and experimental group) and sample size calculation	23
8	Methods: details of statistical methods and analysis (statistical methods used to compare groups)	27,28
9	Results: explanation for any excluded data, results of each analysis with a measure of precision as standard deviation or standard error or confidence interval	30-34
10	Discussion: interpretation/scientific implications, limitations, and generalizability/translation	36-40
11	Statement of potential conflicts and funding disclosure	-
12	Publication in a peer-review journal	-

Anexo II



Comisión de Investigación

El abajo firmante, autoriza la realización del siguiente proyecto de investigación en las instalaciones a su cargo de la Universidad Europea:

Datos del proyecto

Título:	Análisis de la Estabilidad de Color en Composites Nanorrellenos y Nanohíbridos y la Influencia del Pulido: Estudio in vitro
Investigador responsable:	Sarah-Sofia Scharifi

Atentamente,

Nombre:	Anabel Gramatges Rojas
Cargo:	Director Departamento Odontología Pre-clínica
Firma:	

Anexo III Tabla resultados

Tabla recogida de datos

ID Muestra	Tipo de Composite	Solución de Almacenamiento	Medición inicial									Medición final								
			1			2			3			1			2			3		
			L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*
1	Nanohíbrido	Test	77,3	0,3	23,2	77,8	0,3	23,1	77,7	0,1	22,6	65,8	5,1	27,9	66,2	5,0	28,3	66,1	5,0	28,2
2	Nanohíbrido	Test	77,9	0,3	23,3	77,8	0,2	23,0	77,6	0,2	23,3	64,9	5,2	26,6	64,9	5,3	27,0	64,7	5,2	26,9
3	Nanohíbrido	Test	78,4	0,3	23,0	78,6	0,2	23,1	78,1	0,4	23,1	64,6	5,8	27,0	64,7	5,5	26,8	64,4	5,9	27,0
4	Nanohíbrido	Test	77,9	0,3	23,0	77,6	0,2	22,6	77,8	0,2	22,6	73	2,4	25,6	73,0	2,2	25,6	73,4	2,3	25,3
5	Nanohíbrido	Test	80,2	0,2	20,9	80,2	0,1	20,2	80,1	0,1	20,5	68,6	3,3	27,7	68,6	3,2	27,5	68,7	3,2	27,4
6	Nanohíbrido	Test	77,3	0,1	23,0	77,1	0,2	22,6	77,4	0,2	22,9	65,1	5,2	26,6	65,0	5,2	26,8	65,2	5,1	26,8
7	Nanohíbrido	Test	78	0,2	23,1	77,8	0,3	23,0	77,7	0,3	22,9	72,4	2,0	26,9	72,4	2,1	26,9	72,4	2,1	27,0
8	Nanohíbrido	Test	79,9	0,2	20,0	79,9	0,3	21,4	79,8	0,1	21,2	73,1	2,3	25,8	73,3	2,3	25,7	73,4	2,2	25,8
9	Nanohíbrido	Test	78,1	0,3	23,6	78,0	0,3	23,3	77,8	0,4	23,1	71,0	2,3	27,0	70,8	2,5	27,1	70,9	2,3	26,9
10	Nanohíbrido	Test	80,2	0,1	20,6	80,3	0,2	20,9	80,1	0,1	20,4	71,2	2,2	26,8	70,9	2,3	27,3	70,9	2,3	27,1
11	Nanohíbrido	Control	79,2	0,4	23,0	79,1	0,2	22,4	79,0	0,2	22,2	79,7	0,2	21,8	80,4	0,4	22,0	79,7	0,4	22,2
12	Nanohíbrido	Control	80,1	0,2	20,6	79,9	0,2	20,4	80	0,1	20,4	78,6	0,6	23,6	78,8	0,8	23,3	78,9	0,9	23,6
13	Nanohíbrido	Control	80,4	0,2	20,9	79,9	0,3	20,9	80	0,3	20,9	79,7	0,2	21,4	79,3	0,5	21,8	79,6	0,5	22,1
14	Nanohíbrido	Control	77,7	0,5	23,6	77,8	0,5	23,7	77,6	0,5	23,6	80,5	0,5	22,0	80,3	0,6	21,8	80,1	0,5	21,7
15	Nanohíbrido	Control	79,1	0,1	21,6	79,3	0,1	21	79,0	0,1	21,9	79,5	0,2	21,0	79,7	0,3	21,7	79,8	0,4	21,8
16	Nanohíbrido	Control	77,6	0,3	22,8	77,7	0,4	23,1	78,1	0,3	23,3	76,1	0,9	23,0	76,4	1,0	23,3	75,3	1,0	23,5
17	Nanohíbrido	Control	79,1	0,2	21,9	79,1	0,3	22	79,1	0,3	21,9	79,6	0,5	21,4	80,0	0,6	21,7	79,9	0,4	21,6
18	Nanohíbrido	Control	80,1	0,3	20,6	80,1	0,4	21,0	80,0	0,3	20,7	80,2	0,4	21,4	80,8	0,3	21,9	80,2	0,5	21,9
19	Nanohíbrido	Control	80,1	0,2	21,1	79,7	0,2	20,9	79,7	0,2	20,9	79,7	0,4	21,7	79,8	0,5	21,8	79,7	0,6	22,2
20	Nanohíbrido	Control	79,5	0,4	23,5	78,5	0,4	23,7	78,2	0,4	23,7	79,8	0,5	22,1	77,9	0,8	23,2	77,9	0,9	23,5
21	Nanorelleno	Test	76	0	20,5	75,7	0	20,4	76	0	20,6	60,6	4,3	27,4	60,1	4,2	27,2	60,6	4,2	27,3
22	Nanorelleno	Test	75,1	0,4	19,8	74,8	0,3	19,7	75	0,3	20	65,0	3,4	26,4	64,8	3,1	25,9	64,8	3,1	25,7
23	Nanorelleno	Test	76,2	-0,2	20,1	76,2	-0,3	20,1	76,4	-0,2	20,1	69,8	2,2	24,0	68,7	2,3	23,9	68,2	2,2	23,9
24	Nanorelleno	Test	75,4	-0,6	19,4	74,7	-0,4	19,5	74,7	-0,4	19,6	59,3	5,0	24,0	59,7	4,9	24,2	59,5	4,9	24,0
25	Nanorelleno	Test	76,8	-0,5	21,9	76,8	-0,4	22,4	76,7	-0,5	21,9	69,9	2,0	24,4	69,5	2,3	24,2	68,7	2,4	24,3
26	Nanorelleno	Test	75,4	-0,6	19,4	74,7	-0,4	19,5	74,7	-0,4	19,6	67,7	3,7	24,7	67,1	2,9	25,0	64,7	3,2	26,4
27	Nanorelleno	Test	76,2	-0,2	20,1	76,2	-0,3	20,1	76,4	-0,2	20,1	62,4	3,5	25,0	62,3	3,6	25,0	62,4	3,5	25,1
28	Nanorelleno	Test	76	0	20,5	75,7	0	20,4	76	0	20,6	68,1	2,8	25,5	68,2	2,8	25,6	68,1	2,9	25,5
29	Nanorelleno	Test	75,4	-0,6	19,4	74,7	-0,4	19,5	74,7	-0,4	19,6	64,5	3,2	23,8	64,6	3,1	23,7	64,4	3,2	23,9
30	Nanorelleno	Test	76,8	-0,5	21,9	76,8	-0,4	22,4	76,7	-0,5	21,9	62,4	3,5	25,0	62,6	3,4	25,0	62,4	3,5	25,1
31	Nanorelleno	Control	76,3	0,1	20,6	75,9	0,3	20,9	76,0	0,2	20,8	75,3	-0,1	20,2	76,1	0,0	21,2	76,0	0,4	21,6
32	Nanorelleno	Control	76,1	-0,2	20	75,7	-0,2	20	75,6	-0,2	20,1	76,1	0,1	20,7	76,2	0,4	21,0	76,2	0,3	20,6
33	Nanorelleno	Control	75,8	-0,2	19,1	75,5	-0,2	19,2	75,4	-0,1	19,9	76,5	-0,1	20,5	77,3	0,0	20,7	76,9	-0,1	20,6
34	Nanorelleno	Control	75,6	-0,2	19,6	75,5	-0,2	20	75,6	-0,3	20,0	76,8	-0,1	20,7	77,4	0,2	20,9	77,4	0,3	20,8
35	Nanorelleno	Control	75,3	-0,3	19	75,3	-0,3	19,5	75,2	-0,2	19,4	75,8	-0,4	19,6	76,1	-0,2	20,2	75,9	0,1	20,6
36	Nanorelleno	Control	76,3	0,1	20,6	75,9	0,3	20,9	76,0	0,2	20,8	75,3	-0,1	20,2	76,1	0,0	21,2	76,0	0,4	21,6
37	Nanorelleno	Control	75,6	-0,2	19,6	75,5	-0,2	20	75,6	-0,3	20,0	76,8	-0,1	20,7	77,4	0,2	20,9	77,4	0,3	20,8
38	Nanorelleno	Control	75,8	-0,2	19,1	75,5	-0,2	19,2	75,4	-0,1	19,9	77,5	-0,5	21,5	77,5	0,0	22,1	77,9	0,0	22,5
39	Nanorelleno	Control	76,1	-0,2	20	75,7	-0,2	20	75,6	-0,2	20,1	76,1	0,1	20,7	76,2	0,4	21,0	76,2	0,3	20,6
40	Nanorelleno	Control	75,3	-0,3	19	75,3	-0,3	19,5	75,2	-0,2	19,4	75,8	-0,4	19,6	76,1	-0,2	20,2	75,9	0,1	20,6

Color Stability in Nanofilled and Nanohybrid Composites: An *In Vitro* Study

Authors: Sarah-Sofia Scharifi¹, Laura Gina Nieto ²

¹ Student 5th year dental degree, Universidad Europea de Valencia, Valencia, Spain.

² Professor Faculty of Dentistry in the Clinical Practice Department , Universidad Europea de Valencia, Valencia, Spain

Correspondence

Universidad Europea de Valencia

Paseo de la Alameda, 7

46010 – Valencia, Spain

s.s.scharifi@outlook.de

Abstract

Introduction: Composite resins are widely used for direct aesthetic restorations in dentistry, meeting patients' high expectations for natural-looking outcomes. Newer composites vary in filler particle size, from microhybrid/nanohybrid to nanofilled formulations. Nanofilled composites (with nano-sized fillers) are theorized to achieve smoother polish and lower staining susceptibility than traditional hybrids. However, evidence on their color stability is conflicting.

Objective: To compare the color stability of a nanofilled composite versus a nanohybrid composite after immersion in a staining solution of black tea *in vitro*.

Methods: Forty composite disc specimens (10 mm × 2 mm) were fabricated, 20 from a nanofilled composite (Filtek™ Supreme XTE, 3M) and 20 from a nanohybrid composite (Filtek™ Z500, 3M). Specimens were light-cured with an LED lamp and divided into subgroups (n=10) based on immersion medium: test group in black tea solution (Ceylon tea) and control group in distilled water. Before and after 5 days of immersion, the color of each sample was measured with a spectrophotometer (CIELAB system), recording L*, a*, b* values and calculating the overall color change ΔE . Independent *t*-tests were used to compare color changes between composites in each medium ($\alpha=0.05$).

Results: Immersion in black tea caused a significant color change in both materials, well above the clinically perceptible threshold ($\Delta E > 3.3$), presenting a value of $\Delta E = 12.6 \pm 3.4$ in the nanofill composite and $\Delta E = 11.2 \pm 3.5$ in the nanohybrid composite. In distilled water, color change was minimal for both with values of 1.4 ± 0.9 and 1.5 ± 1.0 . No statistically significant differences were found in ΔE between the nanofilled and nanohybrid composite after tea immersion ($p = 0.352$), nor in the changes in L*, a*, b* values between them ($p > 0.30$). Similarly, in the water control, the slight shifts in L*, a*, b* were comparable for both composites ($p > 0.8$). **Conclusions:** The nanofilled and nanohybrid composites exhibited similar susceptibility to staining by black tea *in vitro*. No significant advantage in color stability was observed for the nanofilled composite over the nanohybrid. These findings suggest that, under intense staining conditions, both composite types may discolor to a comparable degree, and additional measures (e.g. surface sealants or polishing protocols) should be considered to enhance stain resistance.

Keywords: Nanofilled composite; nanohybrid composite; color stability; staining agents; spectrophotometric measurement; restorative dentistry

Introduction

Aesthetic restorative materials have revolutionized dentistry by enabling direct tooth-colored restorations with excellent cosmetic results. Composite resins, in particular, are popular for their ability to mimic natural tooth appearance and meet patients' increasing aesthetic demands (1,2). However, maintaining the color stability of these restorations over time remains a significant clinical challenge.

The long-term performance of a composite restoration can be affected by extrinsic staining from dietary sources, leading to undesirable color changes. Various studies have evaluated the stain susceptibility of different types of resin composites. Conventional hybrid composites (microhybrids) incorporate filler particles of micro- and macro-size that confer good mechanical properties, but may exhibit higher surface roughness after polishing, potentially increasing pigment adherence (3). In contrast, nanofilled composites contain nano-sized filler particles or clusters, which theoretically allow for a smoother, highly polished surface and improved color stability after polishing (4). It is expected that materials with nanometer-scale fillers would retain gloss and resist discoloration from chromogens like coffee, tea, or wine more effectively (5).

Despite these expectations, the literature reports mixed results regarding which type of composite exhibits superior color stability. Some studies have found minimal or no difference between composites of different filler compositions in their tendency to stain (6). It has been suggested that factors such as the resin matrix composition and degree of conversion can influence pigment uptake and color change as much as filler size. For instance, the quality of the finished surface is critical: a rougher surface will retain more stains (7). Highly polished surfaces, achievable with fine fillers, might reduce extrinsic staining. Current nanohybrid composites aim to balance mechanical strength with excellent polishability, potentially combining the advantages of both microhybrid and nanofilled technologies (8).

Given the controversy, it is relevant to investigate whether the latest nanofilled composites indeed offer better color stability than conventional nanohybrid

(microhybrid) composites under staining conditions. The **objective** of this study was to compare the color change of a nanofilled composite vs. a nanohybrid composite after exposure to a staining solution in the form of black tea *in vitro*. The null hypothesis was that there would be no significant difference in the degree of discoloration between the two composite types upon staining.

Materials and Methods

Study Design: This was a *in vitro* experimental study evaluating the color stability of two resin composites, nanofilled vs. nanohybrid, following exposure to a staining agent. The study received the authorization from the Preclinical Department on the 7th of April 2025, and was carried out in April 2025 in the laboratories of the Universidad de Europea de Valencia.

Materials: Two universal composite resins with different filler technology were selected, the Filtek™ Supreme XTE (3M, USA), a nanofilled, and the Filtek™ Z500 (3M, USA), a nanohybrid (Table 1). Both materials are available in various shades, the Filtek™ Supreme XTE is also available in different opacities. For the preparation of the samples, we used a silicone mold, a composite spatula, Mylar strips, a glass slab and a LED polymerization lamp (Woodpecker, China) (Fig.1). The staining solution was black tea prepared with 15 mg of black tea (Ceylon FOP, Lerbs & Hagedorn, Germany) in 500 mL hot water, and distilled water was used for the control. All immersions were conducted at room temperature. The specimens were stored in labeled pill containers in a light protected space (Fig. 2).

Specimen Preparation: 40 disc-shaped specimens, 20 of each material, with a 7mm diameter and 3mm thickness, were prepared from the composite resin. The composite was placed into the circular silicone molds and covered with a transparent Mylar strip; a glass slide was pressed on top to remove excess and create a flat, uniform surface. Each specimen was then light-cured through the Mylar strip for 20 seconds, keeping the light tip perpendicular and in contact with the strip to standardize distance. After curing, specimens were removed from the molds. Specimens were inspected for defects and had to pass through previously established inclusion and exclusion criteria.

Experimental Groups: The 20 specimens of each composite were randomly divided into 2 subgroups (n=10) according to the immersion medium:

- Test group (Black tea): samples immersed in the black tea solution for 5 consecutive days.
- Control group (Distilled water): samples immersed in distilled water for the same duration, under identical conditions.

Immersion was conducted in closed containers protected from light at room temperature. After 5 days, specimens were removed, rinsed with water, and dried with air prior to final color measurement.

Color Measurement: A Vita EasyShade® V spectrophotometer (VITA Zahnfabrik, Germany) was used to measure the color of each specimen in the CIELAB color space, both before and after immersion. The device provided L* (lightness), a* (green–red axis), and b* (blue–yellow axis) values for each reading. The spectrophotometer was calibrated before each session, following the manufacturer’s instructions. During measurement, the probe was positioned perpendicular to the center of each disc against a white background (Fig. 3). Three readings were taken per specimen at each time point (pre- and post-immersion), removing and repositioning the probe each time, and the values were averaged to obtain representative L*, a*, b* for that specimen. The total color difference (ΔE) for each specimen was then calculated using the CIE formula:

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

where ΔL*, Δa*, and Δb* are the differences between the initial (pre-immersion) and final (post-immersion) values for that specimen. The mean changes in individual color coordinates (ΔL*, Δa*, Δb*) for each subgroup were also determined from these specimen-specific differences.

Statistical Analysis: Color change data (ΔE, ΔL*, Δa*, Δb*) were compiled in a spreadsheet and analyzed with IBM SPSS Statistics v29.0 (IBM Corp., Armonk, NY, USA). Mean and standard deviation were calculated for the color change parameters for each composite in each immersion condition (Table 2). Homogeneity of variances was checked with Levene’s test prior to inferential comparisons. Independent-samples *t* tests were conducted to compare the nanofilled vs. nanohybrid composite within the

test group and within the control group, for ΔE and each color component. Corresponding p -values were reported; differences with $p < 0.05$ were considered statistically significant. Effect sizes (Cohen's d) were also calculated for each comparison to assess the magnitude of differences irrespective of sample size.

Results

Descriptive Analysis

After 5 days of immersion, a notable color change was evident in the samples immersed in black tea, whereas those in distilled water remained virtually unchanged. Table 3 summarizes the mean changes in CIELAB parameters (ΔL^* , Δa^* , Δb^*) and the total color difference (ΔE) for each material under both conditions.

As shown in Table 2, black tea immersion led to a marked decrease in lightness (ΔL^* large negative values, indicating darkening) and increases in a^* and b^* (shifts towards redder and more yellow tones) for both composites. Consequently, the mean ΔE reached high values of 11.2 ± 3.5 in nanohybrid composites and 12.6 ± 3.4 in nanofill composites in tea, indicating a color change that is clearly perceptible clinically. In contrast, the samples stored in distilled water presented only trivial changes in the ΔL^* , Δa^* , Δb^* values resulting in a mean ΔE of 1.5 ± 1.0 in the nanohybrid composite and 1.4 ± 0.9 in the nanofill composite which means no appreciable color change occurred over the period in water.

Inferential Analysis

Statistical comparisons were made to assess differences between the nanofilled and nanohybrid composites in each storage condition. In the black tea group, no statistically significant differences were found between the two materials in the overall color change or in any individual color parameter. Specifically, the mean ΔE of the nanohybrid composite (11.2 ± 3.5) was slightly lower than that of the nanofilled (12.6 ± 3.4), but this difference was not significant ($p = 0.352$; $d = -0.43$). Similarly, the ΔL^* decrease was somewhat less for the nanohybrid (-9.48 ± 3.34) compared to the nanofilled (-11.06 ± 3.38), but not statistically significant ($p = 0.307$; $d = 0.47$). No significant differences were observed in the red-green shift (nanohybrid Δa^* 3.34 ± 1.52 vs.

nanofilled 3.55 ± 0.87 ; $p = 0.709$) or the yellow-blue shift (nanohybrid $\Delta b^* 4.53 \pm 1.33$ vs. nanofilled 4.67 ± 1.43 ; $p = 0.823$). These results indicate that both composites exhibited comparable staining after black tea immersion (Table 2; Figure 4).

In the control group (water), the color changes were minimal, and statistically there were no differences between the two materials. The mean ΔE was 1.5 ± 1.0 for the nanohybrid vs. 1.4 ± 0.9 for the nanofilled, with no significant difference ($p = 0.817$; $d = 0.08$). The tiny shifts in L^* , a^* , and b^* observed in each material during water storage also did not differ significantly from each other. In summary, in the absence of a staining agent, neither composite showed any meaningful color change.

No statistically significant differences were found between the nanohybrid and nanofilled composites for any parameter after tea immersion. In the water control, differences were even smaller and showed no statistical significant differences.

The quantitative results confirm that, under the conditions of this study, the resistance to black tea staining was equivalent for the nanofilled and nanohybrid composites (Figure 4). Both experienced a pronounced, similar degree of darkening and color shift, with clinically notable ΔE values. In distilled water (control condition), neither material underwent significant color changes (Figure 5).

Discussion

Discoloration of aesthetic restorations is a key concern for long-term clinical success and patient satisfaction. In this *in vitro* study, we evaluated the color stability of two composites with different filler technologies (nano vs. nanohybrid) when exposed to an intense staining agent (black tea). Our findings indicate that both materials are similarly susceptible to staining, with no statistically significant difference in the degree of color change (ΔE) between the nanofilled and nanohybrid composites after tea immersion. In other words, the null hypothesis was upheld: the color behavior of the two composites was comparable under the conditions tested.

These results are in line with some previous studies reporting no significant differences in color stability among modern resin composites (3,9). It is possible that, once polymerized, factors such as the resin matrix composition (e.g., Bis-GMA, UDMA content) and water absorption influence staining propensity as much as filler size (10). Both Filtek Supreme XTE and Filtek Z500 share a similar resin system (derived from Filtek

Z250) and high filler loading, which may partly explain their comparable color behavior. Additionally, in this study, all specimens were left with the surface as cured under the Mylar strip, producing a relatively smooth, uniform finish across the materials. Studies have shown that surface roughness is a critical factor in stain adsorption: rougher surfaces tend to retain more pigments (7).

The absence of significant colour changes in the control group confirms that the colour changes in the test group are derived from the extrinsic discolouration caused by the staining of the black tea solution and not an intrinsic instability of the composites. The minimal colour changes in the control group have also been reported in previous studies (11).

Building on these observations, our work is among the first to directly compare nanofilled with nanohybrid composites in terms of colour stability using a standardized spectrophotometric CIELAB protocol (12).

The magnitude of color change observed with black tea was high for both composites, far exceeding commonly cited perceptibility and acceptability thresholds ($\Delta E > 3.3$) (13). This indicates that continuous exposure to a strongly chromogenic beverage for 5 days produces significant discoloration in both nanohybrid and nanofilled composites.

When compared with earlier reports, our findings resonate with Usha et al., who observed comparable staining between microhybrid and nanohybrid composites exposed to food-stimulating colorants (14), and with Thakkar et al., who detected significant discolorations of various resin composites after tea and coffee immersion but no clinically relevant differences among material types (6). A systematic review and meta-analysis by Maran et al. further supports that, although filler and matrix chemistry can influence color stability, surface finishing and resin formulation often exert a stronger effect on stain resistance (12). Our results reinforce those observations, demonstrating that even state-of-the-art nanofilled formulations are not immune to heavy extrinsic staining.

Our data suggest that nanohybrid and nanofilled composites behave similarly under intense staining, implying that in a real clinical setting both could discolor over time if the patient frequently consumes chromogenic substances such as tea or coffee. In agreement, long-term clinical studies have shown that restorations with different filler types tend to undergo similar color changes after several years, unless special

maintenance protocols (e.g., periodic re-polishing) are in place, as neither material is completely stain-proof.

Limitations: This study did not simulate thermal or mechanical cycling that occurs in the oral environment (temperature changes, tooth brushing abrasion, saliva pH, etc.), which can affect surface degradation and potentially staining. Another limiting factor of our study was the reduced exposure time of the specimens. Future studies could extend the period of submersion of the samples to evaluate the possibility of statistically significant differences between the two materials.

Conclusions

Within the limitations of this *in vitro* study, no significant differences in color stability were found between the nanofilled composite Filtek™ Supreme XTE and the nanohybrid composite Filtek™ Z500 after immersion in a black tea solution. Both materials underwent a noticeable and similar degree of color change (darkening and yellowing) upon exposure to the staining agent, whereas neither showed appreciable color shifts in the absence of staining (distilled water). These results suggest that, in terms of susceptibility to extrinsic staining by beverages like tea, nanofilled resin composites do not demonstrate a clear advantage over nanohybrid composites. In clinical practice, regardless of the composite type used, measures should be taken to maintain long-term restoration aesthetics – including proper finishing/polishing techniques and patient advice on staining dietary habits – since both materials can discolor under prolonged exposure to chromogens. Future research may explore methods to enhance the stain resistance of aesthetic composites and confirm whether these findings are consistent in longer-term clinical evaluations.

Bibliography

1. Frese C, Staehle HJ, Wolff D. The assessment of dentofacial esthetics in restorative dentistry: a review of the literature. J Am Dent Assoc [Internet]. 2012 [cited 2024 Dec 29];143(5):461–6. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22547716/>
2. Bagheri R, Burrow MF, Tyas M. Influence of food-simulating solutions and surface finish on susceptibility to staining of aesthetic restorative materials. J Dent

- [Internet]. 2005 [cited 2024 Dec 29];33(5):389–98. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15833394/>
3. Alharbi G, Al Nahedh HN, Al-Saud LM, Shono N, Maawadh A. Effect of different finishing and polishing systems on surface properties of universal single shade resin-based composites. *BMC Oral Health*. 2024 Feb 7;24(1):197.
 4. Mitra SB, Wu D, Holmes BN. An application of nanotechnology in advanced dental materials. *J Am Dent Assoc [Internet]*. 2003 [cited 2024 Dec 29];134(10):1382–90. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/14620019/>
 5. Villalta P, Lu H, Okte Z, Garcia-Godoy F, Powers JM. Effects of staining and bleaching on color change of dental composite resins. *Journal of Prosthetic Dentistry [Internet]*. 2006 Feb 1 [cited 2024 Dec 29];95(2):137–42. Available from: <http://www.thejpd.org/article/S0022391305006463/fulltext>
 6. Thakkar R, Maini AP, Mogla S, Qadri SSH, Varma PK, Dubey A. Effect of Staining Beverages on Color Stability of Composite: A Spectrophotometric Study. *J Pharm Bioallied Sci [Internet]*. 2024 Feb 1 [cited 2024 Dec 6];16(Suppl 1):S389. Available from: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11000951/>
 7. Jefferies SR. Abrasive Finishing and Polishing in Restorative Dentistry: A State-of-the-Art Review. *Dent Clin North Am*. 2007 Apr;51(2):379–97.
 8. Furuse AY, Gordon K, Rodrigues FP, Silikas N, Watts DC. Colour-stability and gloss-retention of silorane and dimethacrylate composites with accelerated aging. *J Dent [Internet]*. 2008 Nov [cited 2025 May 3];36(11):945–52. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18778884/>
 9. Păstrav M, Păstrav O, Chisnoiu AM, Chisnoiu RM, Cuc S, Petean I, et al. Properties of Nanohybrid Dental Composites—A Comparative In Vitro Study. *Biomedicines* 2024, Vol 12, Page 243 [Internet]. 2024 Jan 22 [cited 2025 May 3];12(1):243. Available from: <https://www.mdpi.com/2227-9059/12/1/243/htm>
 10. Ferracane JL. Resin composite—State of the art. *Dental Materials*. 2011 Jan;27(1):29–38.
 11. Maran BM, de Geus JL, Gutiérrez MF, Heintze S, Tardem C, Barceleiro MO, et al. Nanofilled/nanohybrid and hybrid resin-based composite in patients with direct restorations in posterior teeth: A systematic review and meta-analysis. *J Dent*. 2020 Aug 1;99:103407.

12. Ilie N, Hickel R. Resin composite restorative materials. Aust Dent J [Internet]. 2011 Jun [cited 2025 May 3];56 Suppl 1(SUPPL. 1):59–66. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21564116/>
13. Lee YK, Powers JM. Color changes of resin composites in the reflectance and transmittance modes. Dental Materials. 2007 Mar;23(3):259–64.
14. Usha C, Rao S, George G. A comparative evaluation of the staining capacity of microhybrid and nanohybrid resin-based composite to indian spices and food colorants: An in vitro study. Indian Journal of Dental Research. 2018 Mar 1;29(2):201–5.

Anexos



Fig. 1: Material used to prepare compsoite discs



Fig. 2: Samples stored in labeled pill containers to differentiate each sample

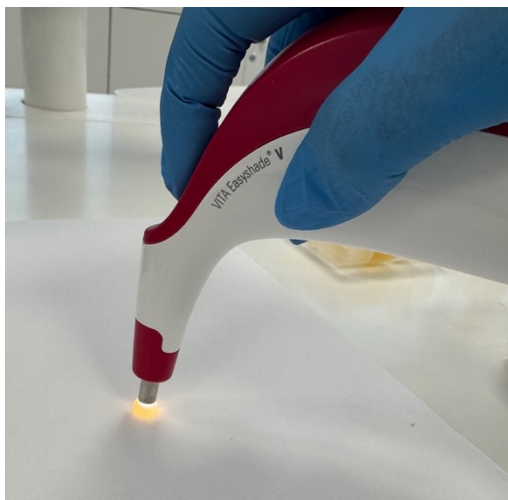


Fig. 3: Measurements taken with VITA Easyshade® V on a white background

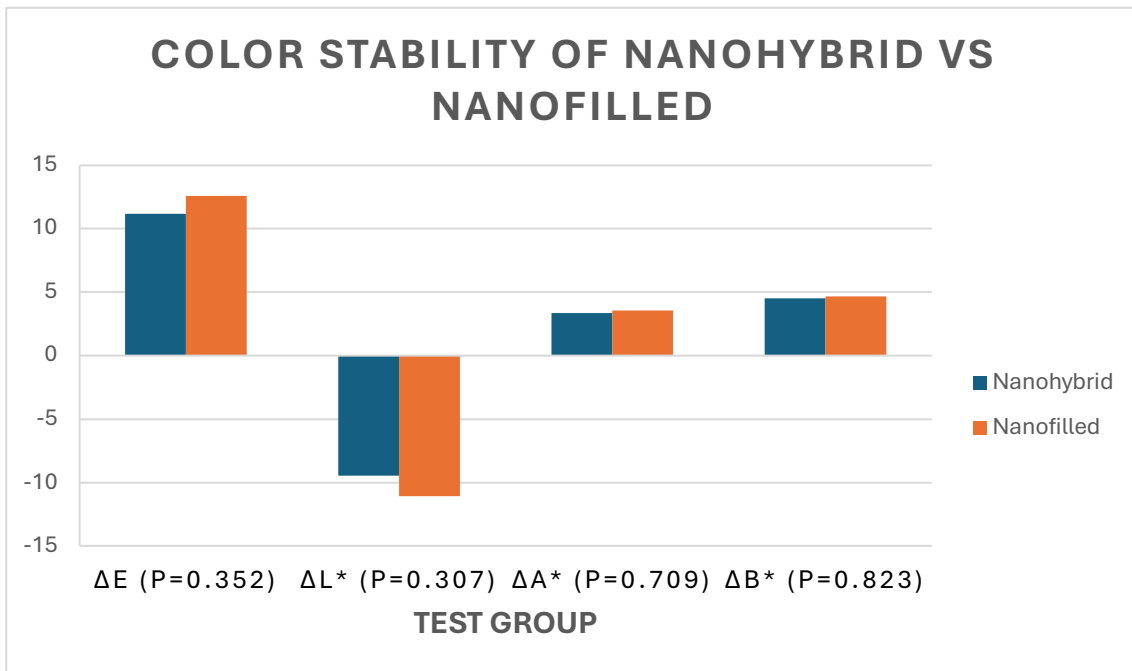


Fig. 4: Comparison of Color Change Parameters Between Nanohybrid and Nanofilled Test Groups (Mean)

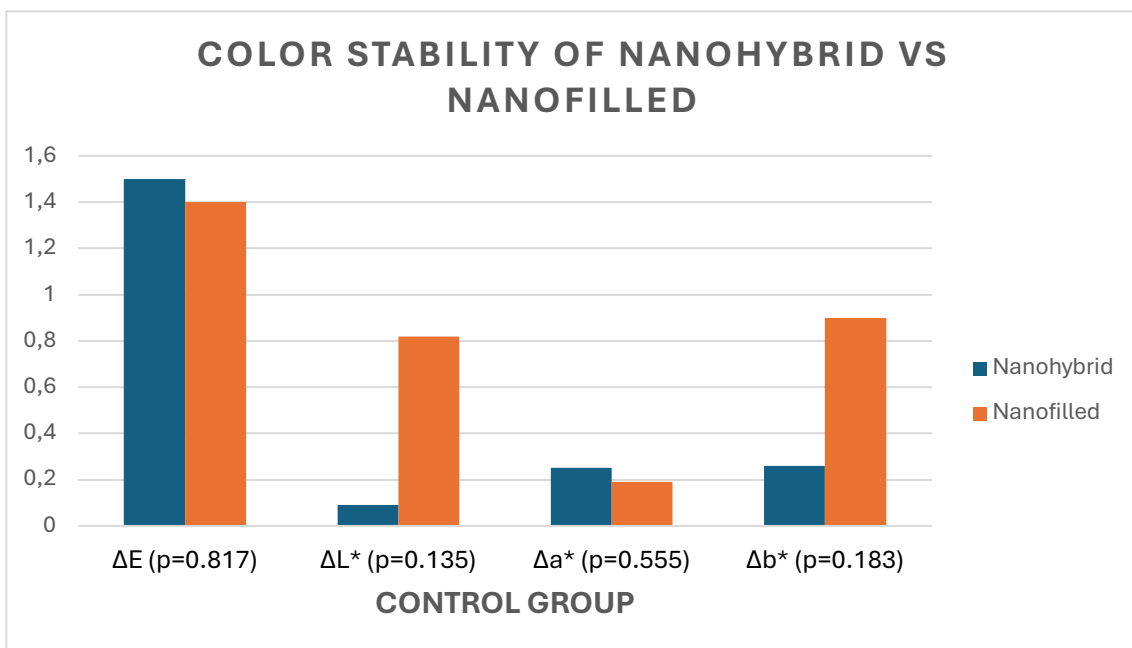


Fig. 5: Comparison of Color Change Parameters Between Nanohybrid and Nanofilled Control Groups (Mean)

Table 1: Comparison of the characteristics of the composites

Composite	Type	Resin system	Filler content %	Particle size	Filler composition
Filtek™ Supreme XTE	Nanofill	UDMA, Bis-EMA(6), TEGDMA, PEGDMA	78,5 %	Nanoparticles: 4 - 20nm Nanoclusters: 0,6 - 20 nm	Silica (20 nm), zirconia (4–11 nm), zirconia/silica nanoclusters
Filtek™ Z500	Nanohybrid	Bis-GMA, UDMA, Bis-EMA, TEGDMA	78,5 %	Nanoparticles: 5–20 nm Nanoclusters: 0,6–1,4 µm	Silica (20 nm), zirconia/silica (5–20 nm), aggregated nanoclusters

Table 2: Comparison of Color Change Parameters Between Nanohybrid and Nanofilled Groups (Mean ± SD)

Parameter	Nanohybrid	Nanofilled	p-value
Test Group (Black tea solution)			
ΔE	11.2 ± 3.5	12.6 ± 3.4	.352
ΔL *	-9.48 ± 3.34	-11.06 ± 3.38	.307
Δa *	3.34 ± 1.52	3.55 ± 0.87	.709
Δb *	4.53 ± 1.33	4.67 ± 1.43	.823
Control Group (Distilled Water)			
ΔE	1.5 ± 1.0	1.4 ± 0.9	.817
ΔL *	0.09 ± 1.23	0.82 ± 0.81	.135
Δa *	0.25 ± 0.21	0.19 ± 0.24	.555
Δb *	0.26 ± 1.30	0.90 ± 0.67	.183

Análisis de la Estabilidad de Color en Composites Nanorrellenos y Nanohíbridos: *estudio in vitro*

Autores: Sarah-Sofia Scharifi¹, Laura Gina Nieto ²

¹ Estudiante de 5º curso de Odontología, Universidad Europea de Valencia, Valencia, España.

² Profesor Facultad de Odontología en el Departamento de Práctica Clínica ,
Universidad Europea de Valencia, Valencia, España

Correspondencia

Universidad Europea de Valencia

Paseo de la Alameda, 7

46010 – Valencia, España

s.s.scharifi@outlook.de

Resumen

Introducción: Las resinas compuestas se utilizan ampliamente para restauraciones estéticas directas en odontología, satisfaciendo las altas expectativas de los pacientes en cuanto a resultados de aspecto natural. Los composites más recientes varían en el tamaño de las partículas de relleno, desde formulaciones microhíbridas/nanohíbridas a nanorrellenas. Se cree que los composites nanorrellenos (con rellenos de tamaño nanométrico) consiguen un pulido más suave y una menor susceptibilidad a las manchas que los híbridos tradicionales. Sin embargo, las pruebas sobre su estabilidad cromática son contradictorias.

Objetivo: Comparar la estabilidad del color de un composite de nanorrelleno frente a un composite nanohíbrido tras la inmersión en una solución de tinción de té negro in vitro.

Métodos: Se fabricaron 40 especímenes de discos de composite (10 mm × 2 mm), 20 de un composite nanorrelleno (Filtek™ Supreme XTE, 3M) y 20 de un composite nanohíbrido (Filtek™ Z500, 3M). Las muestras se fotopolimerizaron con una lámpara LED y se dividieron en subgrupos (n=10) en función del medio de inmersión: grupo de prueba en solución de té negro (té de Ceilán) y grupo de control en agua destilada. Antes y después de 5 días de inmersión, se midió el color de cada muestra con un espectrofotómetro (sistema CIELAB), registrando los valores L^* , a^* , b^* y calculando el cambio de color global ΔE . Se utilizaron pruebas t independientes para comparar los cambios de color entre los compuestos en cada medio ($\alpha=0,05$).

Resultados: La inmersión en té negro provocó un cambio de color significativo en ambos materiales), muy por encima del umbral clínicamente perceptible ($\Delta E > 3,3$), presentando un valor de $\Delta E = 12,6 \pm 3,4$ en el composite de nanorrelleno y $\Delta E = 11,2 \pm 3,5$ en el composite nanohíbrido. En agua destilada, el cambio de color fue mínimo para ambos con valores de $1,4 \pm 0,9$ y $1,5 \pm 1,0$. No se encontraron diferencias estadísticamente significativas en ΔE entre el composite nanorrelleno y el nanohíbrido tras la inmersión en té ($p = 0,352$), ni en los cambios en los valores de L^* , a^* , b^* entre ambos ($p > 0,30$). Del mismo modo, en el control de agua, los ligeros cambios en L^* , a^* , b^* fueron comparables para ambos composites ($p > 0,8$).

Conclusiones: Los composites nanorrellenos y nanohíbridos mostraron una susceptibilidad similar a la tinción por té negro in vitro. No se observó ninguna ventaja significativa en la estabilidad del color del composite de nanorrelleno sobre el nanohíbrido. Estos resultados sugieren que, en condiciones de tinción intensa, ambos tipos de composite pueden decolorarse en un grado comparable, por lo que deberían considerarse medidas adicionales (por ejemplo, selladores de superficie o protocolos de pulido) para mejorar la resistencia a las manchas.

Keywords: Nanofilled composite; nanohybrid composite; color stability; staining agents; spectrophotometric measurement; restorative dentistry

Introducción

Los materiales restauradores estéticos han revolucionado la odontología al permitir restauraciones directas del color del diente con excelentes resultados estéticos. Las resinas compuestas, en particular, son populares por su capacidad para imitar el aspecto natural de los dientes y satisfacer las crecientes demandas estéticas de los pacientes. (1,2). Sin embargo, mantener la estabilidad del color de estas restauraciones a lo largo del tiempo sigue siendo un reto clínico importante.

El rendimiento a largo plazo de una restauración de composite puede verse afectado por tinciones extrínsecas de origen dietético, lo que provoca cambios de color no deseados. Diversos estudios han evaluado la susceptibilidad a las manchas de distintos tipos de composites de resina. Los composites híbridos convencionales (microhíbridos) incorporan partículas de relleno de tamaño micro y macro que confieren buenas propiedades mecánicas, pero pueden presentar una mayor rugosidad superficial tras el pulido, aumentando potencialmente la adherencia del pigmento (3). Por el contrario, los composites nanorrellenos contienen partículas o grupos de relleno de tamaño nanométrico, que teóricamente permiten obtener una superficie más lisa y pulida y una mayor estabilidad del color tras el pulido (4). Se espera que los materiales con nanorellenos conserven mejor el brillo y resistan mejor la decoloración causada por cromógenos como el café, el té o el vino. (5).

A pesar de estas expectativas, la bibliografía ofrece resultados contradictorios sobre qué tipo de composite presenta una mayor estabilidad del color. Algunos estudios han

encontrado diferencias mínimas o nulas entre composites de diferentes composiciones de relleno en cuanto a su tendencia a mancharse (6). Se ha sugerido que factores como la composición de la matriz de resina y el grado de conversión pueden influir en la absorción del pigmento y el cambio de color tanto como el tamaño del relleno. Por ejemplo, la calidad de la superficie acabada es fundamental: una superficie más rugosa retendrá más pigmentos (7). Las superficies muy pulidas, que se consiguen con rellenos finos, podrían reducir las manchas extrínsecas. Los composites nanohíbridos actuales pretenden equilibrar la resistencia mecánica con una excelente capacidad de pulido, combinando potencialmente las ventajas de las tecnologías microhíbridas y de nanorrelleno. (8).

Dada la controversia, es pertinente investigar si los últimos composites de nanorrelleno ofrecen realmente una mejor estabilidad del color que los composites nanohíbridos (microhíbridos) convencionales en condiciones de tinción. El objetivo de este estudio era comparar el cambio de color de un composite de nanorrelleno frente a un composite nanohíbrido tras la exposición a una solución de tinción en forma de té negro in vitro. La hipótesis nula era que no habría diferencias significativas en el grado de decoloración entre los dos tipos de composite tras la tinción.

Materials and Methods

Diseño del estudio: Se trata de un estudio experimental in vitro que evalúa la estabilidad del color de dos composites de resina, nanorrelleno vs. nanohíbrido, tras la exposición a un agente colorante. El estudio recibió la autorización a del Departamento de Preclínica el 7 de abril de 2025, y se llevó a cabo en abril de 2025 en los laboratorios de la Universidad de Europea de Valencia.

Materiales: Se seleccionaron dos resinas compuestas universales con diferente tecnología de relleno, el Filtek™ Supreme XTE (3M, EE.UU.), un nanorrelleno, y el Filtek™ Z500 (3M, EE.UU.), un nanohíbrido (Tabla 1). Ambos materiales están disponibles en varios tonos, el Filtek™ Supreme XTE también está disponible en diferentes opacidades. Para la preparación de las muestras, utilizamos un molde de silicona, una espátula de composite, tiras de Mylar, una losa de vidrio y una lámpara de polimerización LED (Woodpecker, China) (Fig.1). La solución de tinción fue té negro preparado con 15 mg

de té negro (Ceylon FOP, Lerbs & Hagedorn, Germany) en 500 mL de agua caliente, y para el control se utilizó agua destilada. Todas las inmersiones se realizaron a temperatura ambiente. Los especímenes se almacenaron en envases de pastillas etiquetados en un espacio protegido de la luz (Fig. 2).

Preparación de las muestras: Se prepararon 40 muestras en forma de disco, 20 de cada material, con un diámetro de 7 mm y un grosor de 3 mm, a partir de la resina compuesta. El composite se colocó en los moldes circulares de silicona y se cubrió con una tira de Mylar transparente; se presionó un portaobjetos de vidrio encima para eliminar el exceso y crear una superficie plana y uniforme. A continuación, cada muestra se fotopolimerizó a través de la tira de Mylar durante 20 segundos, manteniendo la punta de la lámpara perpendicular y en contacto con la tira para estandarizar la distancia. Tras el curado, se retiraron las muestras de los moldes. Las muestras se inspeccionaron en busca de defectos y tuvieron que pasar por criterios de inclusión y exclusión previamente establecidos.

Grupos experimentales: Las 20 muestras de cada compuesto se dividieron aleatoriamente en 2 subgrupos (n=10) según el medio de inmersión:

- Grupo de prueba (té negro): muestras sumergidas en la solución de té negro durante 5 días consecutivos.
- Grupo de control (agua destilada): muestras sumergidas en agua destilada durante el mismo tiempo, en condiciones idénticas.

Las inmersiones se realizaron en recipientes cerrados y protegidos de la luz a temperatura ambiente. Transcurridos 5 días, se retiraron las muestras, se enjuagaron con agua y se secaron con aire antes de la medición final del color.

Medidas de color: Se utilizó un espectrofotómetro Vita EasyShade® V (VITA Zahnfabrik, Alemania) para medir el color de cada espécimen en el espacio de color CIELAB, tanto antes como después de la inmersión. El aparato proporcionó los valores L* (luminosidad), a* (eje verde-rojo) y b* (eje azul-amarillo) para cada lectura. El espectrofotómetro se calibró antes de cada sesión, siguiendo las instrucciones del fabricante. Durante la medición, la sonda se colocó perpendicular al centro de cada disco sobre un fondo blanco (Fig. 3). Se tomaron tres lecturas por espécimen en cada punto

temporal (antes y después de la inmersión), retirando y volviendo a colocar la sonda cada vez, y se promediaron los valores para obtener L^* , a^* , b^* representativos de ese espécimen. A continuación se calculó la diferencia de color total (ΔE) de cada espécimen mediante la fórmula CIE:

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

donde ΔL^* , Δa^* y Δb^* son las diferencias entre los valores iniciales (preinmersión) y finales (postinmersión) de ese espécimen. Los cambios medios en las coordenadas de color individuales (ΔL^* , Δa^* , Δb^*) de cada subgrupo también se determinaron a partir de estas diferencias específicas de cada espécimen.

Análisis estadístico: Los datos de cambio de color (ΔE , ΔL^* , Δa^* , Δb^*) se compilaron en una hoja de cálculo y se analizaron con IBM SPSS Statistics v29.0 (IBM Corp., Armonk, NY, EE.UU.). Se calcularon la media y la desviación estándar para los parámetros de cambio de color de cada composite en cada condición de inmersión (Tabla 2). La homogeneidad de las varianzas se comprobó con la prueba de Levene antes de las comparaciones inferenciales. Se realizaron pruebas t de muestras independientes para comparar el composite nanorrelleno frente al nanohíbrido dentro del grupo de prueba y dentro del grupo de control, para ΔE y cada componente de color. Se informaron los valores p correspondientes; las diferencias con $p < 0,05$ se consideraron estadísticamente significativas. También se calcularon los tamaños del efecto (d de Cohen) para cada comparación con el fin de evaluar la magnitud de las diferencias independientemente del tamaño de la muestra.

Results

Análisis Descriptivo

Tras 5 días de inmersión, se evidenció un notable cambio de color en las muestras sumergidas en té negro, mientras que las sumergidas en agua destilada permanecieron prácticamente inalteradas. La tabla 3 resume los cambios medios en los parámetros CIELAB (ΔL^* , Δa^* , Δb^*) y la diferencia de color total (ΔE) para cada material en ambas condiciones.

Como se muestra en la Tabla 2, la inmersión en té negro provocó una marcada disminución de la luminosidad (ΔL^* grandes valores negativos, que indican

oscurecimiento) y aumentos de a^* y b^* (desplazamientos hacia tonos más rojizos y amarillos) para ambos materiales compuestos. En consecuencia, la ΔE media alcanzó valores elevados de $11,2 \pm 3,5$ en los composites nanohíbridos y de $12,6 \pm 3,4$ en los composites de nanorrelleno en té, lo que indica un cambio de color claramente perceptible clínicamente. Por el contrario, las muestras almacenadas en agua destilada solo presentaron cambios triviales en los valores ΔL^* , Δa^* , Δb^* , lo que dio lugar a una ΔE media de $1,5 \pm 1,0$ en el compuesto nanohíbrido y de $1,4 \pm 0,9$ en el compuesto de nanorrelleno, lo que significa que no se produjo ningún cambio de color apreciable durante el periodo en agua.

Análisis inferencial

Se realizaron comparaciones estadísticas para evaluar las diferencias entre los materiales compuestos nanoinyectados y nanohíbridos en cada condición de almacenamiento. En el grupo de té negro, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los dos materiales en el cambio de color global ni en ningún parámetro de color individual. En concreto, la ΔE media del composite nanohíbrido ($11,2 \pm 3,5$) fue ligeramente inferior a la del nanofilled ($12,6 \pm 3,4$), pero esta diferencia no fue significativa ($p = 0,352$; $d = -0,43$). Del mismo modo, la disminución de ΔL^* fue algo menor para el nanohíbrido ($-9,48 \pm 3,34$) en comparación con el nanorrelleno ($-11,06 \pm 3,38$), pero no fue estadísticamente significativa ($p = 0,307$; $d = 0,47$). No se observaron diferencias significativas en el desplazamiento rojo-verde (nanohíbrido Δa^* $3,34 \pm 1,52$ frente a nanorrelleno $3,55 \pm 0,87$; $p = 0,709$) ni en el desplazamiento amarillo-azul (nanohíbrido Δb^* $4,53 \pm 1,33$ frente a nanorrelleno $4,67 \pm 1,43$; $p = 0,823$). Estos resultados indican que ambos composites mostraron una tinción comparable tras la inmersión en té negro (Tabla 2; Figura 4).

En el grupo de control (agua), los cambios de color fueron mínimos, y estadísticamente no hubo diferencias entre los dos materiales. La ΔE media fue de $1,5 \pm 1,0$ para el nanohíbrido frente a $1,4 \pm 0,9$ para el nanorrelleno, sin diferencias significativas ($p = 0,817$; $d = 0,08$). Los pequeños desplazamientos de L^* , a^* y b^* observados en cada material durante el almacenamiento en agua tampoco difirieron significativamente entre sí. En resumen, en ausencia de un agente colorante, ninguno de los composites mostró cambios de color significativos.

No se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los composites nanohíbridos y nanorrellenos para ningún parámetro tras la inmersión en té. En el control con agua, las diferencias fueron aún menores y no mostraron diferencias estadísticamente significativas.

Los resultados cuantitativos confirman que, en las condiciones de este estudio, la resistencia a las manchas de té negro fue equivalente para los composites nanorrellenos y nanohíbridos (Figura 4). Ambos experimentaron un grado pronunciado y similar de oscurecimiento y cambio de color, con valores ΔE clínicamente notables. En agua destilada (condición de control), ninguno de los materiales experimentó cambios de color significativos (Figura 5).

Discusión

La decoloración de las restauraciones estéticas es una preocupación clave para el éxito clínico a largo plazo y la satisfacción del paciente. En este estudio in vitro, evaluamos la estabilidad del color de dos composites con diferentes tecnologías de relleno (nano frente a nanohíbrido) cuando se exponen a un agente colorante intenso (té negro). Nuestros resultados indican que ambos materiales son similarmente susceptibles a la tinción, sin diferencias estadísticamente significativas en el grado de cambio de color (ΔE) entre los composites de nanorrelleno y nanohíbridos después de la inmersión en el té. En otras palabras, se confirmó la hipótesis nula: el comportamiento del color de los dos composites era comparable en las condiciones probadas.

Estos resultados están en consonancia con algunos estudios anteriores que informan de que no existen diferencias significativas en la estabilidad del color entre los composites de resina modernos (3,9). Es posible que, una vez polimerizada, factores como la composición de la matriz de resina (p. ej., Bis-GMA, contenido de UDMA) y la absorción de agua influyan en la propensión a las manchas tanto como el tamaño del relleno (10). Tanto Filtek Supreme XTE como Filtek Z500 comparten un sistema de resina similar (derivado de Filtek Z250) y una alta carga de relleno, lo que puede explicar en parte su comportamiento de color comparable. Además, en este estudio, todas las muestras se dejaron con la superficie curada bajo la tira de Mylar, lo que produjo un acabado relativamente liso y uniforme en todos los materiales. Los estudios han demostrado que

la rugosidad de la superficie es un factor crítico en la adsorción del tinte: las superficies más rugosas tienden a retener más pigmento (7).

La ausencia de cambios de color significativos en el grupo de control confirma que los cambios de color en el grupo de prueba se derivan de la decoloración extrínseca causada por la tinción de la solución de té negro y no de una inestabilidad intrínseca de los composites. Los mínimos cambios de color en el grupo de control también se han señalado en estudios anteriores (11).

Partiendo de estas observaciones, nuestro trabajo es uno de los primeros en comparar directamente los compuestos nanoinyectados con los nanohíbridos en términos de estabilidad del color utilizando un protocolo CIELAB espectrofotométrico normalizado (12).

La magnitud del cambio de color observado con el té negro fue elevada para ambos composites, superando con creces los umbrales de perceptibilidad y aceptabilidad comúnmente citados ($\Delta E > 3,3$) (13). Esto indica que la exposición continua a una bebida fuertemente cromogénica durante 5 días produce una decoloración significativa tanto en los composites nanohíbridos como en los nanorrellenos.

Cuando se comparan con informes anteriores, nuestros resultados coinciden con los de Usha et al., que observaron una coloración comparable entre los composites microhíbridos y nanohíbridos expuestos a colorantes que imitan la alimentación (13), y con Thakkar et al., que detectaron decoloraciones significativas de diversos composites de resina tras la inmersión en té y café, pero sin diferencias clínicamente relevantes entre los tipos de material (6). Una revisión sistemática y un metaanálisis de Maran et al. corroboran que, aunque la química del relleno y la matriz pueden influir en la estabilidad del color, el acabado de la superficie y la formulación de la resina suelen tener un efecto mayor en la resistencia a las manchas (12). Nuestros resultados refuerzan estas observaciones, demostrando que incluso las fórmulas de nanorrelleno más modernas no son inmunes a las manchas extrínsecas intensas.

Nuestros datos sugieren que los composites nanohíbridos y de nanorrelleno se comportan de forma similar bajo tinción intensa, lo que implica que en un entorno clínico real ambos podrían decolorarse con el tiempo si el paciente consume con frecuencia sustancias cromógenas como té o café. En concordancia, los estudios clínicos a largo plazo han demostrado que las restauraciones con diferentes tipos de relleno

tienden a sufrir cambios de color similares al cabo de varios años, a menos que se apliquen protocolos de mantenimiento especiales (por ejemplo, repulido periódico), ya que ninguno de los dos materiales es completamente a prueba de manchas.

Limitaciones: En este estudio no se simularon los ciclos térmicos o mecánicos que se producen en el entorno bucal (cambios de temperatura, abrasión del cepillado dental, pH de la saliva, etc.), que pueden afectar a la degradación de la superficie y, potencialmente, a las manchas. Otro factor limitante de nuestro estudio fue el reducido tiempo de exposición de las muestras. Futuros estudios podrían ampliar el periodo de inmersión de las muestras para evaluar la posibilidad de que existan diferencias estadísticamente significativas entre ambos materiales.

Conclusions

Dentro de las limitaciones de este estudio in vitro, no se encontraron diferencias significativas en la estabilidad del color entre el composite de nanorrelleno Filtek™ Supreme XTE y el composite nanohíbrido Filtek™ Z500 tras la inmersión en una solución de té negro. Ambos materiales experimentaron un grado notable y similar de cambio de color (oscurecimiento y amarilleamiento) tras la exposición al agente colorante, mientras que ninguno mostró cambios de color apreciables en ausencia de tinción (agua destilada). Estos resultados sugieren que, en términos de susceptibilidad a la tinción extrínseca por bebidas como el té, los composites de resina de nanorrelleno no demuestran una clara ventaja sobre los composites nanohíbridos. En la práctica clínica, independientemente del tipo de composite utilizado, deben tomarse medidas para mantener la estética de la restauración a largo plazo - incluyendo técnicas adecuadas de acabado/pulido y asesoramiento al paciente sobre hábitos dietéticos de tinción - ya que ambos materiales pueden decolorarse bajo exposición prolongada a cromógenos. Futuras investigaciones podrían explorar métodos para mejorar la resistencia a las manchas de los composites estéticos y confirmar si estos hallazgos son consistentes en evaluaciones clínicas a más largo plazo.

Bibliografía

1. Frese C, Staehle HJ, Wolff D. The assessment of dentofacial esthetics in restorative dentistry: a review of the literature. J Am Dent Assoc [Internet]. 2012 [citado 29 de diciembre de 2024];143(5):461-6. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22547716/>
2. Bagheri R, Burrow MF, Tyas M. Influence of food-simulating solutions and surface finish on susceptibility to staining of aesthetic restorative materials. J Dent [Internet]. 2005 [citado 29 de diciembre de 2024];33(5):389-98. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15833394/>
3. Alharbi G, Al Nahedh HN, Al-Saud LM, Shono N, Maawadh A. Effect of different finishing and polishing systems on surface properties of universal single shade resin-based composites. BMC Oral Health. 7 de febrero de 2024;24(1):197.
4. Mitra SB, Wu D, Holmes BN. An application of nanotechnology in advanced dental materials. J Am Dent Assoc [Internet]. 2003 [citado 29 de diciembre de 2024];134(10):1382-90. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/14620019/>
5. Villalta P, Lu H, Okte Z, Garcia-Godoy F, Powers JM. Effects of staining and bleaching on color change of dental composite resins. Journal of Prosthetic Dentistry [Internet]. 1 de febrero de 2006 [citado 29 de diciembre de 2024];95(2):137-42. Disponible en: <http://www.thejpd.org/article/S0022391305006463/fulltext>
6. Thakkar R, Maini AP, Mogla S, Qadri SSH, Varma PK, Dubey A. Effect of Staining Beverages on Color Stability of Composite: A Spectrophotometric Study. J Pharm Bioallied Sci [Internet]. 1 de febrero de 2024 [citado 6 de diciembre de 2024];16(Suppl 1):S389. Disponible en: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11000951/>
7. Jefferies SR. Abrasive Finishing and Polishing in Restorative Dentistry: A State-of-the-Art Review. Dent Clin North Am. abril de 2007;51(2):379-97.
8. Furuse AY, Gordon K, Rodrigues FP, Silikas N, Watts DC. Colour-stability and gloss-retention of silorane and dimethacrylate composites with accelerated aging. J Dent [Internet]. noviembre de 2008 [citado 3 de mayo de 2025];36(11):945-52. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18778884/>

9. Păstrav M, Păstrav O, Chisnoiu AM, Chisnoiu RM, Cuc S, Petean I, et al. Properties of Nanohybrid Dental Composites—A Comparative In Vitro Study. *Biomedicines* 2024, Vol 12, Page 243 [Internet]. 22 de enero de 2024 [citado 3 de mayo de 2025];12(1):243. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2227-9059/12/1/243/htm>
10. Ferracane JL. Resin composite—State of the art. *Dental Materials*. enero de 2011;27(1):29-38.
11. Maran BM, de Geus JL, Gutiérrez MF, Heintze S, Tardem C, Barceleiro MO, et al. Nanofilled/nanohybrid and hybrid resin-based composite in patients with direct restorations in posterior teeth: A systematic review and meta-analysis. *J Dent*. 1 de agosto de 2020;99:103407.
12. Ilie N, Hickel R. Resin composite restorative materials. *Aust Dent J* [Internet]. junio de 2011 [citado 3 de mayo de 2025];56 Suppl 1(SUPPL. 1):59-66. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21564116/>
13. Usha C, Rao S, George G. A comparative evaluation of the staining capacity of microhybrid and nanohybrid resin-based composite to indian spices and food colorants: An in vitro study. *Indian Journal of Dental Research*. 1 de marzo de 2018;29(2):201-5.

Anexos



Fig. 1: Material empleado para la preparación de las muestras



Fig. 2: Muestras almacenadas en pastilleros para diferenciar las muestras

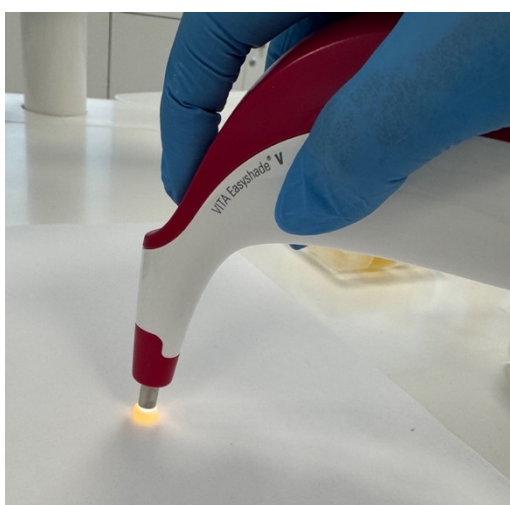


Fig. 3: Medición con VITA Easyshade ® V en fondo blanco

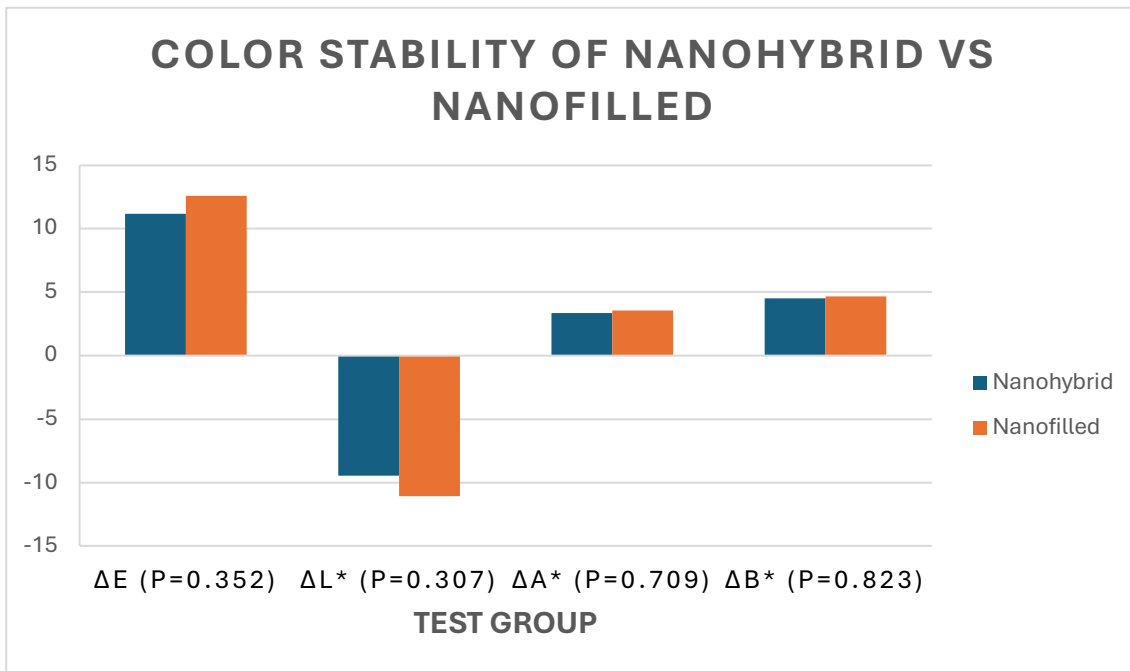


Fig. 4.: Comparación de los parámetros de cambio de color entre los grupos de prueba nanohíbridos y nanorrellenos (media)

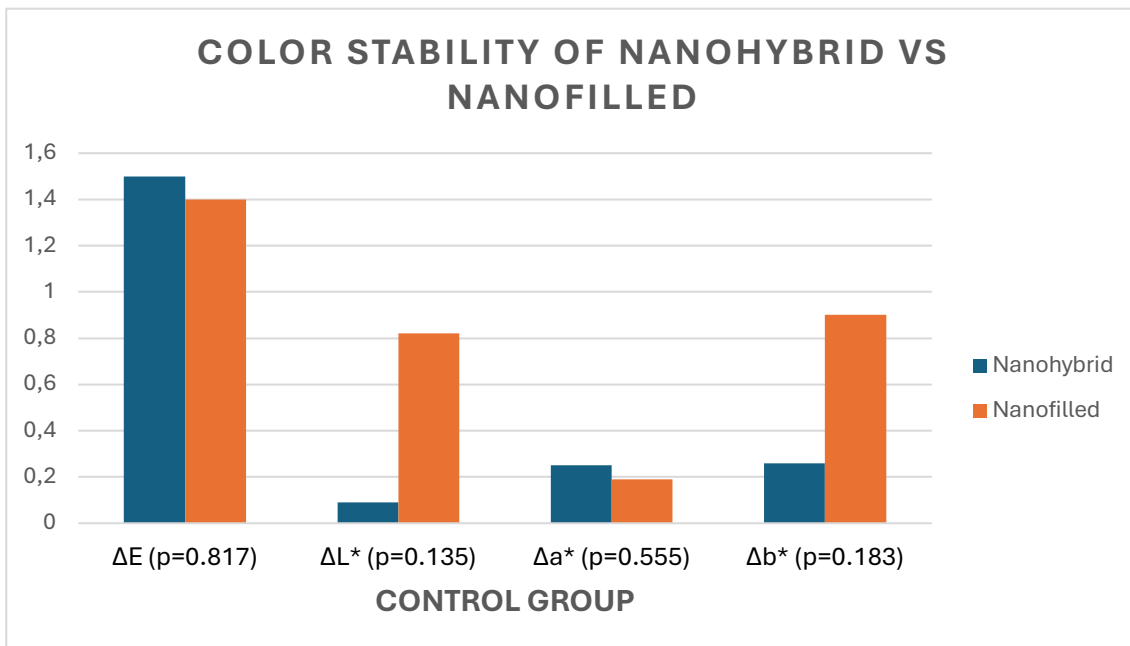


Fig. 5: Comparación de los parámetros de cambio de color entre los grupos de control nanohíbridos y nanorrellenos (media)

Tabla 1: Comparación de las características de los composite

Composite	Tipo de comosite	Sistema de resina	Carga inorgánica (% peso)	Tamaño de partículas	Composición del relleno
Filtek™ Supreme XTE	Nanorelleno	UDMA, Bis-EMA(6), TEGDMA, PEGDMA	78,5 %	Nanopartículas: 4 - 20nm Nanoclústeres: 0,6 - 20 nm	Sílice (20 nm), zirconia (4-11 nm), nanoclústeres zirconia/sílice
Filtek™ Z500	Nanohíbrido	Bis-GMA, UDMA, Bis-EMA, TEGDMA	78,5 %	Nanopartículas: 5-20 nm Nanoclústeres: 0,6-1,4 µm	Sílice (20 nm), zirconia/sílice (5-20 nm), nanoclústeres agregados

Tabla 2: Comparación de los parámetros de cambio de color entre los composites nanohíbridos y nanorellenos en los grupos de prueba y control (Media $\pm$ DE).

Parámetro	Nanohíbrido	Nanorelleno	p-valor
Grupo de prueba (solución de té negro)			
ΔE	11,2 $\pm$ 3,5	12,6 $\pm$ 3,4	0,352
ΔL^*	-9,48 $\pm$ 3,34	-11,06 $\pm$ 3,38	0,307
Δa^*	3,34 $\pm$ 1,52	3,55 $\pm$ 0,87	0,709
Δb^*	4,53 $\pm$ 1,33	4,67 $\pm$ 1,43	0,823
Grupo de control (agua destilada)			
ΔE	1,5 $\pm$ 1,0	1,4 $\pm$ 0,9	0,817
ΔL^*	0,09 $\pm$ 1,23	0,82 $\pm$ 0,81	0,135
Δa^*	0,25 $\pm$ 0,21	0,19 $\pm$ 0,24	0,555
Δb^*	0,26 $\pm$ 1,30	0,90 $\pm$ 0,67	0,183