

# Cambios colorimétricos experimentados en tres tipos de alineadores según la Comisión L'Eclairage

Teresa Domingo-Jiménez, María José González-Olmo\*, Carolina Nieto-Moraleda, María Pérez-Chicharro, Martín Romero-Maroto

Departamento de Ortodoncia, Universidad Rey Juan Carlos, Alcorcón, CP 28922, Madrid, España

\* Autor correspondiente. Departamento de Enfermería y Odontología, Universidad Rey Juan Carlos, Avda de Atenas s/n 28922 Alcorcón, Madrid, España. Correo electrónico: mariajose.gonzalez@urjc.es

## Abstracto

**Objetivo:** El objetivo fue comparar el incremento colorimétrico ( $\Delta L^*$ ,  $\Delta a^*$ ,  $\Delta b^*$ ) de tres tipos de alineadores después de someterlos a dos tinciones y evaluar las características colorimétricas iniciales.

**Métodos:** Se sumergieron un total de 120 alineadores (40 Invisalign®, 40 Spark® y 40 QuickSmile®) en dos agentes diferentes (agua destilada y café). Se tomaron mediciones utilizando un espectrofotómetro antes de la inmersión (T0), después de 12 horas (T1) y después de 7 días (T2). Cambios de color ( $\Delta mi^*$ ) se evaluaron según la Comisión Internacional de L'Eclairage y, posteriormente, se convirtieron a unidades de la Oficina Nacional de Normas. La medición se repitió tres veces. El coeficiente de correlación intraclase, el ANOVA unidireccional, la prueba post hoc de Tukey y la prueba independiente  $\alpha$  Se utilizaron pruebas ( $PAG \leq .05$ ).

**Resultados:** En T0, se observaron diferencias significativas para  $\Delta a^*$ : Invisalign® y Spark® tendieron hacia tonos más rojos, mientras que Quicksmile® se inclinó hacia tonos más verdes.  $\Delta b^*$ , todos los alineadores tendieron al amarillo, siendo Invisalign® el que mostró la menor tendencia. No se encontraron diferencias en el agua entre T1 y T0. En los intervalos, T2-T1 y T2-T0, Spark® mostró cambios más notables, mientras que para Invisalign® y Quicksmile®, el cambio fue solo claro. En café, se detectó un cambio a otro color en T1-T0, T2-T1 y T2-T0 para Invisalign®, mientras que para otras marcas, fue apenas perceptible excepto para T2-T0 en Spark®, donde el cambio fue apreciable. En café, Invisalign® tendió hacia valores más oscuros ( $\Delta a^*$ ), poniéndose más rojo ( $\Delta a^*$ ), y más amarillo ( $\Delta b^*$ ) en T2-T1 y T2-T0.

**Conclusiones:** Los alineadores Invisalign® presentaron inicialmente un color más rojizo y menos amarillento. En agua, después de 7 días, se encontró un cambio de color notorio para Spark®. En café, se observó una mayor pérdida de brillo y un cambio a rojo y amarillo después de 12 horas y 7 días para Invisalign®. Este estudio destaca la importancia de considerar el impacto del café en la coloración de los alineadores, especialmente con Invisalign®, que muestra cambios más notorios.

**Palabras clave:** colorimetría; tinción; material alineador transparente; estabilidad del color

## Introducción

El tratamiento de ortodoncia está influenciado por consideraciones estéticas relacionadas con la percepción social y psicológica del paciente [1]. Por esta razón, los pacientes adultos prefieren el tratamiento sin brackets, como el uso de alineadores transparentes, para corregir maloclusiones [2].

Además, es fundamental tener en cuenta el aspecto físico de la boca, ya que el tratamiento de ortodoncia suele prolongarse durante 24 meses.

Los alineadores transparentes pueden ofrecer un mayor nivel de comodidad en comparación con otros tipos de tratamiento. Este beneficio potencial se debe en parte a que son extraíbles y, si se usan correctamente, pueden facilitar el mantenimiento de la higiene bucal. Una mejor higiene podría, a su vez, ayudar a reducir el riesgo de problemas como caries, manchas blancas, gingivitis y enfermedad periodontal [3]. Durante el tratamiento de ortodoncia, y siempre que se haya conseguido con éxito la cantidad de movimiento dentario prescrito con ese alineador, los alineadores transparentes se cambian aproximadamente cada 7-14 días. Aunque las propiedades deberían ser estables durante el período de uso del alineador, durante este tiempo, están expuestos a diferentes agentes agresivos que pueden

modificar sus características colorimétricas. Estos factores son muy diversos, como las bebidas, la radiación ultravioleta, los enjuagues bucales, las acciones mecánicas, el calor, el tabaco, la humedad y la presencia de sustancias alimenticias [4,5].

En general, los fabricantes utilizan polímeros termoplásticos para fabricar alineadores transparentes. Sin embargo, este material biocompatible no es inerte a los factores agresivos descritos anteriormente y puede provocar inestabilidad dimensional, baja resistencia y poca tolerancia al desgaste, lo que produce abrasiones, microfisuras, deposición localizada de biopelícula y pérdida de transparencia. Estos son inconvenientes graves desde la perspectiva del paciente [6,7].

Generalmente, se les pide a los pacientes que usen sus alineadores todo el tiempo, excepto cuando comen o beben algo que no sea agua o se cepillan los dientes. A pesar de las recomendaciones de los ortodontistas y los fabricantes, un número considerable de pacientes no se adhieren completamente a estas instrucciones, consumiendo agentes pigmentantes en presencia de los alineadores. Además, algunos pacientes no se cepillan los dientes inmediatamente después de las comidas y luego se vuelven a colocar los alineadores [7-10].

Las estadísticas han demostrado que más del 50% de los adultos estadounidenses beben café todos los días y que su consumo promedio

El consumo es de 3,2 tazas al día [11]. En el caso de los pacientes que no siguen las instrucciones, los pigmentos de los agentes de tinción pueden acumularse y provocar cambios de color en el alineador, volviéndolo menos atractivo durante el tiempo clínicamente recomendado y generando preocupación.

Hasta ahora, la literatura existente se ha centrado principalmente en examinar las propiedades mecánicas de los alineadores y estudiar la biomecánica de los movimientos de los dientes [12]. Aunque se ha realizado un trabajo importante en este sentido, todavía quedan muchas preguntas sin resolver sobre la estabilidad del color de diferentes materiales. Además, hasta donde sabemos, no se ha realizado ninguna comparación de los efectos sobre las marcas de alineadores termoplásticos utilizados en la presente investigación cuando se exponen a agentes colorantes y se someten a un ciclo de limpieza para verificar sus cambios de color.

En este sentido, nuestro estudio pretende evaluar las características colorimétricas de diferentes marcas de alineadores antes de someterlos a un agente colorante, comparar los cambios de color de las diferentes marcas de alineadores tras 12 horas y 7 días de inmersión en agua y café, y evaluar qué parámetros se ven alterados.

## Métodos

### Recolección de muestras

Tres tipos diferentes de alineadores transparentes: Invisalign® (INV), Spark® (SP) y QuickSmile® (QS). Invisalign®, Align Technology, Inc., con sede en San José, California, EE. UU., fabrica el material SmartTrack, que está compuesto de poliuretano (PU) multicapa. Spark®, Ormco Corporation, con sede en Brea, EE. UU., produce TruGEN y TruGEN XR, ambos fabricados con PU multicapa. Quicksmile®, con sede en Madrid, España, ofrece LaserGlass® Trilayer, que consta de tereftalato de polietileno-glicol (PETG).

El tamaño de la muestra se calculó mediante la fórmula de comparación de medias (nivel de confianza del 95%, potencia del 80%, alfa del 0,05% con el programa estadístico Stata®, v15.0) y se estimó en 110 alineadores. Se utilizaron un total de 120 alineadores para compensar la posible pérdida de muestra. En total se utilizaron 40 alineadores Invisalign®, 40 Spark® y 40 Quicksmile®. Los criterios de inclusión se definieron como alineadores de las marcas anteriores, sin ningún accesorio en el incisivo superior derecho (attachments, puntos de presión, controles de torque, rampas de mordida, recortes, ganchos, etc.) y sin uso previo. Se excluyeron los alineadores de retención o alineadores con plantillas de attaches. El estudio fue aprobado por el Comité de Ética de la Universidad Rey Juan Carlos, con número de registro interno 0903202312923, de acuerdo con los principios éticos para la investigación en laboratorio médico.

### Preparación

Se preparó un recipiente para el baño de agua de laboratorio utilizando Sierino®. En la base del recipiente se colocó una lámina de acero de 1 mm de espesor, de forma rectangular, con bordes redondeados para que los alineadores no tocaran los elementos de calentamiento. Además, esta lámina tenía 45 orificios de 2 cm de diámetro para que la solución pudiera circular y facilitar el movimiento del calor. También se utilizaron tres láminas de vidrio rectangulares, de 3 mm de espesor, biseladas en todo su perímetro y con las esquinas curvas. Cada lámina tenía seis orificios de 1,5 cm de diámetro distribuidos uniformemente en su superficie. Las láminas de vidrio se apoyaron sobre la anterior y la inferior sobre la protección de acero inoxidable. El apoyo se proporcionó mediante tres puntos en cada lámina realizados con una lámina de acero inoxidable de 2,5 cm de largo.

De esta manera, se formaron tres recintos, colocando la misma cantidad de cada uno de los tres tipos de alineadores seleccionados aleatoriamente en cada recinto. Se colocaron sesenta alineadores mixtos en el baño de agua con 20 alineadores en cada sección. Este procedimiento se repitió en cada punto de tiempo para asegurar que las condiciones se mantuvieran constantes durante todo el estudio. Los alineadores se sumergieron en una solución de agua destilada desionizada. El mismo procedimiento se realizó con café. La mancha de elección fue café (Nescafé.miClassic®), que se preparó disolviendo 3,6 g de café en polvo en 300 ml de agua destilada hirviendo según las recomendaciones del fabricante. Tanto el agua desionizada como la solución de café se renovaron todos los días, manteniendo la temperatura a 37°C, similar a la temperatura de la cavidad bucal.

Todos los alineadores se limpiaron y secaron antes de las mediciones. Para la limpieza, se utilizaron las pestañas de ortodoncia Corega® Clear and Fresh durante 5 minutos, se remojaron brevemente en agua, se cepillaron con un cepillo de dientes suave y se secaron con un paño de seda.

### Protocolo de medición

Las mediciones de los alineadores se tomaron tres veces: antes de la inmersión (T0), después de un período de 12 horas (T1) y después de 7 días (T2) de inmersión.

Los cambios de color ( $\Delta E$ ) se caracterizaron de acuerdo con la  $yo^*a^*b^*$  (Comisión Internacional de L'Eclairage (CIE)  $yo^*a^*b^*$ ) sistema de colores de la Comisión Internacional de L'Eclairage (ver Figura 1) [13] El parámetro de color  $yo^*$  representa luminosidad (+ brillante, - oscuro),  $a^*$  representa la escala de colores del rojo (+) al verde (-) y  $b^*$  indica la escala de colores del amarillo (+) al azul (-). Los parámetros de color  $yo^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  de los alineadores se midieron con un espectrofotómetro estándar: el VITA Easyshade Advance 4.0 (Vita Zahnfabrik, Bad Sackingen, Alemania).

Las mediciones fueron realizadas por un solo examinador y repetidas tres veces. La superficie vestibular del incisivo central superior derecho de cada alineador se midió utilizando un relleno de

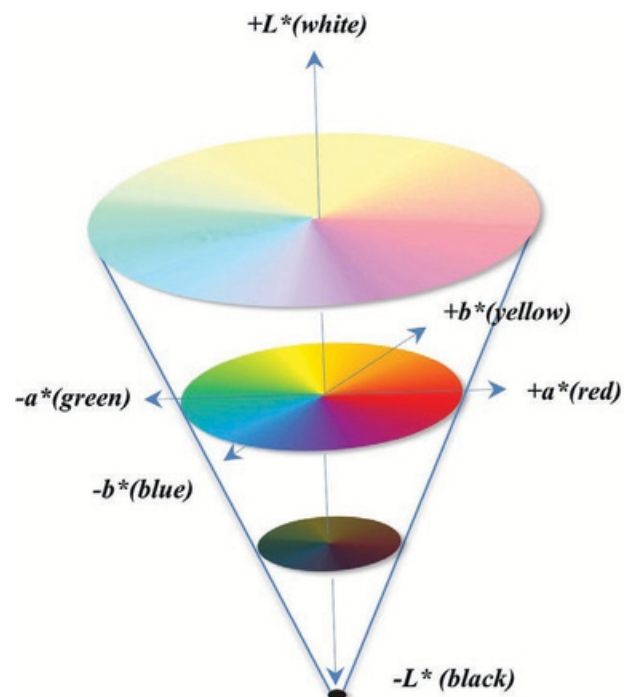


Figura 1. Diagrama de colores de la CIE.

Resina fluida A3 (Filtek universal Restorative®) como referencia de fondo. Las mediciones se realizaron mediante contacto firme con la punta del sensor óptico en posición vertical sobre la superficie plana del alineador. Todas las mediciones se realizaron en la misma sala con iluminación estandarizada.

El valor total del cambio de color ( $\Delta Y_o^*$ ) representa la diferencia de color antes y después de la tinción y se calculó según la siguiente fórmula:

$$mi^* = [(\Delta y_o^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{\frac{1}{2}}$$

donde  $\Delta y_o^*$ ,  $\Delta a^*$ , y  $\Delta b^*$  son las restas de los parámetros de color  $y_o^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ , respectivamente, entre T1-T0 y T2-T0.

Además, se utilizó el sistema de la Oficina Nacional de Normas (NBS) para relacionar los cambios de color en un estándar clínico perceptible mediante inspección visual [14]. La escala NBS clasifica los cambios como Rastros (0,0-0,5), Ligeros (0,5-1,5), Notable (1,5-3,0), Apreciables (3,0-6,0), Muchos (6,0-12,0) y Muchísimo: cambio a otros colores (12,0 o más).  $\Delta mi^*$  Los valores se convirtieron a unidades NBS con la siguiente ecuación:

$$\text{Nota: } \Delta mi^* \times 0,92.$$

## Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó con SPSS (versión 24; SPSS Inc., Chicago, IL, EE. UU.). Para evaluar la concordancia entre examinadores (la repetibilidad del posicionamiento de la muestra y la esfera de integración del instrumento espectrofotómetro), los datos espectrofotométricos (parámetros cromáticos  $y_o^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) de los 120 alineadores se registraron tres veces durante cada día de recolección. Para evaluar la concordancia intraexaminador de los datos del espectrofotómetro, se calculó el coeficiente de correlación intraclase (ICC), considerando que un ICC < 0,4 es bajo, entre 0,4 y 0,75 es aceptable y > 0,75 es alto. Además, se realizó un análisis de correlación de Pearson. El análisis de datos incluyó estadísticas descriptivas y la prueba de Kolmogorov-Smirnov para evaluar el supuesto de normalidad, que se confirmó. Una muestra pareada se realizó una prueba para evaluar los cambios dentro de cada grupo de alineadores. Para evaluar los cambios de color entre los grupos de saliva y marrón, utilizamos la prueba de Student-*t*-test, y para evaluar los cambios entre las diferentes marcas comerciales se utilizó la prueba ANOVA de un factor de Tukey. El nivel de significancia se estableció en 0,05.

## Resultados

### Error de método

La reproducibilidad de las mediciones se estimó utilizando el coeficiente de Pearson.  $\alpha$  Coeficiente de correlación y CCI. Se encontró que el coeficiente de Pearson era >0,8 para  $y_o^*$ , >0,9 para  $a^*$ , y >0,8 para  $b^*$  en T0. En T1, fue >0,8 para  $y_o^*$ , >0,9 para  $a^*$ , y >0,9 para  $b^*$ . En T2 fue >0,9 para todos los parámetros. Este estudio presentó un ICC > 0,8 en todas las evaluaciones.

### Medición antes de la inmersión

Los parámetros  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $y_o^*$  de las diferentes marcas de alineadores fueron evaluados en T0. Como se puede observar en Tabla 1, para  $y_o^*$ , no se encontraron diferencias entre los alineadores en T0. Sin embargo, para el parámetro  $a^*$ , Invisalign® (0,48 ± 0,30) tendió hacia tonos más rojos en comparación con Spark® (0,19 ± 0,58). Quicksmile® (-0,06 ± 0,26), por otro lado, mostró una

cambio hacia tonos más verdes. Se observaron diferencias significativas entre todos los grupos. En términos de  $b^*$ , se observó que todos los alineadores mostraron una inclinación hacia el amarillo, siendo Invisalign® de 25,82 ± 1,56, Spark® de 27,65 ± 1,56 y Quicksmile® de 26,84 ± 1,77. Se identificaron diferencias significativas solo para Invisalign®, que tendió hacia un tono menos amarillo en comparación con los otros alineadores.

### Cambios colorimétricos después de 12 horas y 7 días en agua.

Se examinó la alteración del color durante la inmersión en agua (Tabla 2, Figura 2). No se detectaron diferencias significativas en T1-T0. Sin embargo, se observaron cambios de color en T1-T2, donde Spark® (2,63 ± 2,91) mostró diferencias notables en comparación con Invisalign® (0,90 ± 0,85) y Quicksmile® (0,82 ± 1,18). Al evaluar la diferencia entre T2 y T0, se identificaron diferencias notables en Spark® (1,64 ± 1,49) en comparación con las otras marcas, y también se notaron ligeras diferencias entre Invisalign® (0,95 ± 0,62) y Quicksmile® (0,63 ± 0,53).

### Cambios colorimétricos en el café durante 12 horas y 7 días

Se examinó la variación de color durante la inmersión en café (Tabla 2, Figura 2). Se observaron diferencias significativas en el cambio de color T1-T0 para Invisalign® (57,32 ± 17,61). Invisalign® demostró cambios de color en comparación con Spark® (2,59 ± 2,22) y Quicksmile® (1,95 ± 1,67), donde el cambio de color fue notable.

Se encontraron diferencias con el cambio a otro color entre T2-T1 para Invisalign® (241,53 ± 62,22) en comparación con Spark® (2,01 ± 3,15) y Quicksmile® (1,65 ± 1,85) donde el cambio solo es perceptible. También se encontraron diferencias con otro color en T2-T0 con Invisalign® (518,34 ± 81,9) en comparación con Spark® (4,84 ± 3,28) y Quicksmile® (3,11 ± 2,26), donde el cambio es apreciable.

### Cambio en $y_o^*$ , $a^*$ , $b^*$ parámetros

Para  $y_o^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ , no se observaron alteraciones significativas durante la inmersión en agua en ninguno de los puntos de tiempo (Figura 3).

En el café, los cambios en  $y_o^*$  Se observaron en T2-T1 para Invisalign®, acercándose a valores más bajos y, en consecuencia, más oscuros. En relación con  $a^*$  en la inmersión en café se registraron cambios durante el periodo T2-T1, especialmente para Invisalign®, con tendencia hacia tonos rojos.  $b^*$ , lo que indica una mayor presencia de amarillo y una menor presencia de azul, se identificaron diferencias en T1-T0 y T2-T1 para Invisalign® durante la inmersión en café, acercándose gradualmente a una mayor tinción amarilla.

## Discusión

Este estudio examinó diferentes marcas de alineadores sumergidos en dos tinciones para evaluar el cambio de color después de 12 horas y 7 días.

El primer objetivo fue evaluar las características colorimétricas en T0 con diferentes marcas de alineadores. En línea con los resultados de este estudio, en la investigación realizada por Lombardoy otros. [15], los datos de absorbancia (cuanto mayor sea la absorbancia, menor será la transparencia del material) en T0 mostraron que existían diferencias entre los distintos tipos de alineadores (F22®, Invisalign® y All-in®), siendo F22® el más transparente y All-in® el menos transparente. Sin embargo, en el estudio de Venkatasubramanian otros. [16], todos los alineadores

(K Line®, Clearbite Aligners®, The Aligner Company®, iAligners® y MaxDent CA Digital®) mostraron una diferencia no significativa en T0 y un cambio extremadamente leve

**Tabla 1.** ANOVA de una vía. Prueba de Tukey para  $y_0^*$ ,  $a^*$ ,  $y_b^*$  Valores de las diferentes marcas de alineadores en T0.

		METRO	DAKOTA DEL SUR	PAG	$\eta^2$	CI*
$y_0^*$	INV	71,44	1.26	0,506	0,01	a
	ES	71,62	1.13			a
	Calidad de servicio	71,72	0,84			a
$a^*$	INV	0,48	0,30	<0,001	0,23	a
	ES	0,19	0,58			b
	Calidad de servicio	- 0,06	0,26			do
$b^*$	INV	25,28	1.56	<0,001	0,28	a
	ES	27,65	1.42			b
	Calidad de servicio	26,84	1,77			b

Notas: Las diferentes letras a, b y c indican una diferencia estadísticamente significativa entre los diferentes tipos de alineadores ( $PAG < .05$ ). Abreviaturas: IC, Comparación intergrupo; INV, Invisalign®; M, valor medio; PAG, significancia; QS, QuickSmile®; SD, desviación estándar; SP, Spark®;  $\eta^2$ , hasta pronto.

(traza) en el NBS para todos los alineadores independientemente del grupo o marca.

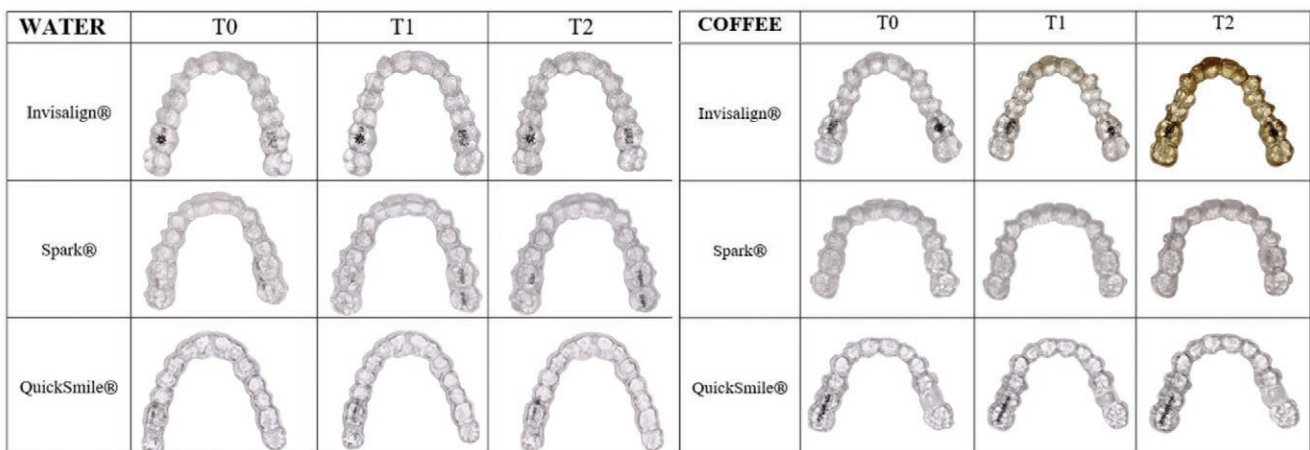
En esta investigación no se encontraron alteraciones de color en el agua destilada independientemente del tiempo de inmersión, estos resultados son similares a los encontrados por otros autores [16-18]. En este estudio, los alineadores Spark® son los que presentan una mayor opacidad al sumergirlos en agua destilada, tanto a las 12 horas como a los 7 días. Estos alineadores están compuestos por Trugen (un poliuretano multicapa), aunque no existe literatura previa sobre el comportamiento colorimétrico en diferentes tinciones. Sin embargo, en otra investigación con un tiempo de inmersión más prolongado (14 días) en saliva artificial (Biotène Oral Balance®), se encontró un cambio leve/traza en el valor NBS [19,20]. Ya se había descrito en la literatura que los alineadores utilizados en la boca del paciente después de 14 días muestran microfisuras, zonas desgastadas, depósitos localizados de biofilm calcificado y pérdida de transparencia [7]. Por lo tanto, se debe sugerir que en el presente estudio, que utilizó agua destilada y se llevó a cabo *in vitro* Podríamos haber encontrado un resultado más transparente de lo que se esperaba clínicamente.

Es importante destacar que el consumo diario de café es una práctica común y se considera una de las soluciones cromogénicas más utilizadas para evaluar la estabilidad del color. Según cálculos previos, como los de Oliveiray otros.[21, 22], 12 horas de *in vitro* Simulación de inmersión durante 2 semanas de café.

**Tabla 2.** Estadísticas descriptivas para el parámetro  $\Delta mi$  NBS en agua y café con los diferentes tipos de alineadores en diferentes puntos de tiempo (T0, T1 y T2).

		T1-T0			T2-T1			T2-T0		
		$\Delta mi$ (T1-T0)	Oficina nacional de normas	CI*	$\Delta mi$ (T2-T1)	Oficina nacional de normas	CI*	$\Delta mi$ (T2-T0)	Oficina nacional de normas	CI*
AGUA	INV	1.41±1.26	1.30±1.15	S a	0,98±0,93	0,90±0,85	S a	0,95±0,62	0,87±0,57	S desde
	ES	1,73±1,98	1,59±1,82	norte a	2.63±2.91	2.42±2.67	norte b	1.64± 1.49	1,50±1.37	norte a
	Calidad de servicio	1,03±1.33	0,95±1.23	S a	0,89±1.29	0,82±1.18	S a	0,63±0,53	0,58±0,49	S b
CAFÉ	INV	57.32±17.61	52,73±16.20	do a	241,53±62.22	222.21±57,24	do a	518.34±81.9	476,87±75,35	do a
	ES	2,59±2.22	2.38±2.04	norte b	2.01±3.15	1.84±2,90	norte b	4.84±3.28	4.45±3.01	A b
	Calidad de servicio	1,95± 1.67	1,79±1.54	norte b	1,65±1,85	1.52±1.71	norte b	3.11±2.26	2.86±2.08	norte b

Notas: Las letras no idénticas, a y b, indican una diferencia estadísticamente significativa entre los tipos de alineadores en cada solución en cada momento ( $PAG < .05$ ). Abreviaturas: A, apreciable; C, cambio a otro color; IC, intervalo de confianza;  $\Delta mi$ , diferencia de color antes y después de la tinción; INV, Invisalign®; N, notable; QS, QuickSmile®; S, ligera; SP, Spark®; T0, antes de la inmersión; T1, después de 12 horas; T2, después de 7 días.



Note: T0: before immersion; T1: after 12 hours; T2: after 7 days.

**Figura 2.** Imágenes de los alineadores en agua y café en T0, T1 y T2.

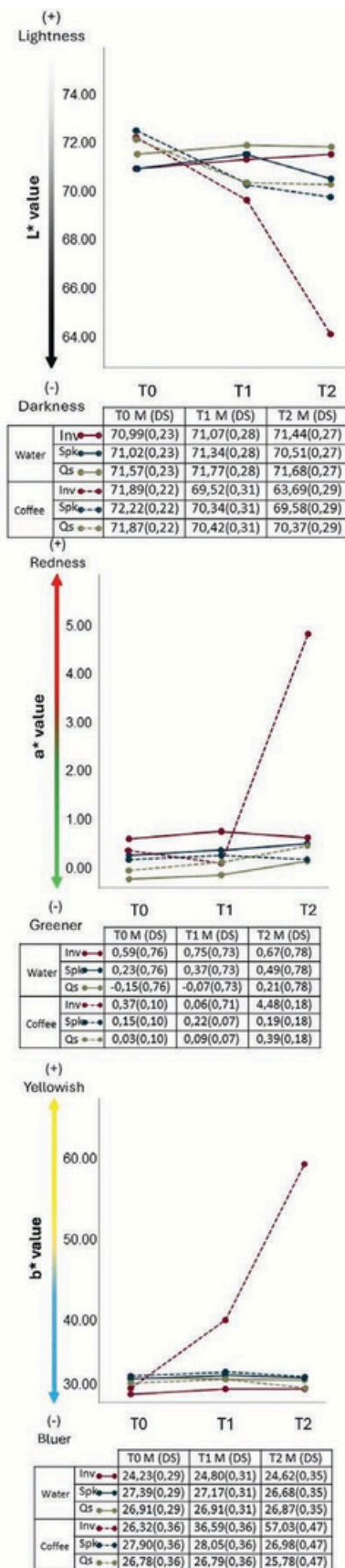


Figura 3. Cambio en  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  de T0, T1 y T2 con las diferentes marcas de alineadores en agua y café.

exposición en el uso clínico de alineadores. En cuanto a un tiempo de inmersión más largo (7 días), en línea con nuestro estudio, el trabajo de Bernardy otros.[23] demostró que los alineadores Invisalign® tenían un color significativamente más intenso en comparación con otras marcas. En la interpretación de los datos clínicos, según varios estudios, se ha observado que un cambio en el  $\Delta miU$  un valor superior a 3,3 es fácilmente perceptible para los profanos y que los valores entre  $\Delta mi4$  y  $\Delta mi6$  se consideran hoy en día resultados inaceptables [24] Bernardy otros.[23] sumergieron los alineadores Invisalign en café, y el valor  $\Delta E$  ( $29,83 \pm 2,5-22,94 \pm 3,20$ ) después de 7 días fue similar a nuestros resultados, donde el  $\Delta mi$ es igualmente inaceptable. Sin embargo, el  $\Delta mi$ es mayor en esta investigación; esto podría deberse al hecho de que se realizó una limpieza sónica y química. En el estudio de Daniele y otros.[19], en una inmersión de 7 días en café, las muestras de Essix Plastic®, Ghost Aligner® y Zendura® mostraron una variación de color perceptible ( $NBS < 3$ ), mientras que Erkodur® mostró una variación de color apreciable ( $NBS > 3$ ).

Las diferencias en los cambios de color observados entre los tres tipos de alineadores podrían atribuirse a variaciones en sus materiales poliméricos, que pueden tener distintas sensibilidades a los agentes colorantes. Por ejemplo, en nuestro propio estudio, así como en investigaciones anteriores de Liuy otros.[17], los alineadores Invisalign®/ Spark® fabricados con materiales de PU mostraron cambios de color considerablemente mayores en comparación con los alineadores basados en PETG como QuickSmile®. Además, el PU es vulnerable a la absorción de pigmentos y, por lo general, no puede mantener la estabilidad del color a lo largo del tiempo [25]. Los retenedores y ligaduras de ortodoncia a base de PU experimentan cambios visibles de color después de la inmersión en bebidas [18,25]. Esto puede estar relacionado con las altas tasas de absorción de agua de los polímeros de PU en un entorno intraoral simulado, lo que puede contribuir a la formación de puentes de hidrógeno entre el grupo polar de la superficie '-NHCOO-' y los pigmentos hidrófilos en las soluciones [26]. Por otro lado, los polímeros PETG tienen un grupo menos polar situado en la superficie, '-COO-' y '-CO-C', lo que los hace menos propensos a la adsorción de pigmentos. En cuanto a evaluar qué parámetros son los más alterados, Zafeiriadis y otros.[18] determinaron que el efecto del café era evidente en los retenedores Vivera®, ya que se observó una disminución considerable en  $y_a^*$ . Se observó un aumento en los niveles de  $y_b^*$ . Se registró un color más oscuro y amarillo. Estos resultados indican que el color promedio de los retenedores se volvió más oscuro y se inclinó hacia tonos verdes y amarillos. Sin embargo, en el estudio actual, se encontraron las mismas tendencias en  $y_b^*$  en el café, mientras que se observó un aumento en  $a^*$ , con tendencia al rojo. Esto podría deberse a que los retenedores Vivera® no tienen exactamente la misma composición que los alineadores Invisalign® y solo se utilizaron seis alineadores por grupo.

Aunque el color de los alineadores a base de PU puede ser menos estable, particularmente cuando se expone al café, sus elastómeros de PU suaves pueden mejorar la elasticidad y proporcionar una fuerza constante y suave a los dientes, lo que es beneficioso para la biomecánica dental [15, 27]. En cuanto a las mejoras tanto en la apariencia como en la función que aportan los materiales de alineación, se deben realizar investigaciones adicionales para aumentar la durabilidad del color y las propiedades mecánicas del material. La absorción de pigmentos se ve influenciada por la presencia de grupos polares y la rugosidad de la superficie del polímero, lo que podría mitigarse aumentando la hidrofobicidad y la integridad de la superficie. Investigaciones anteriores sobre materiales de baja energía superficial han explorado la modificación de la superficie.

Técnicas que emplean compuestos fluorados o de silicio para fabricar superficies superhidrofóbicas [28,29]. Por lo tanto, es concebible que el poliuretano modificado con compuestos fluorados o de silicio tenga el potencial de lograr una mejor estabilidad del color [30].

Sin embargo, en cuanto a las limitaciones del presente estudio, cabe señalar que no se compararon diferentes métodos de limpieza química, sónica, mecánica y de otro tipo, y que el cepillado de los alineadores puede aumentar la rugosidad de la superficie de los mismos. Además, se podría haber estudiado la inmersión en otros agentes colorantes. Podría ser interesante evaluar el rendimiento funcional de los alineadores evaluando la resistencia mecánica del alineador después de haber sufrido un cambio de color tan evidente.

El uso de alineadores en ortodoncia se ha convertido en una práctica habitual e imprescindible en la ortodoncia contemporánea y se ha consolidado como una herramienta que perdura en el tiempo. Sería imprescindible proporcionar a los ortodoncistas un manual de instrucciones de los alineadores para que puedan orientar y asesorar adecuadamente a los pacientes en cuanto a su uso. Este artículo sirve como referencia que puede complementarse con las especificaciones técnicas proporcionadas por los fabricantes para facilitar una selección más adecuada de los materiales para crear alineadores menos propensos a mancharse.

## Conclusión

Los alineadores Invisalign® son más rojos y menos amarillos en el momento de la recepción que los otros alineadores, pero con el mismo brillo que los otros alineadores. Sumergidos en agua, no se encontraron diferencias después de 12 horas, pero después de 7 días, hubo un cambio notable en el color de los alineadores Spark®. En la inmersión en café, se observó una mayor pérdida de brillo y un mayor cambio de color a rojo y amarillo después de 12 horas y 7 días para Invisalign®. El PU parece ser un material que absorbe más pigmento que el PTEG modificado en todas las soluciones.

## Contribuciones del autor

Teresa Domingo Jimenez (Investigación [Iguar], Recursos [Iguar], Redacción—borrador original [Iguar]), María Josmi González-Olmo (Curación de datos [Equal], Análisis formal [Equal], Metodología [Equal], Redacción—revisión y edición [Equal]), María Pmirez-Chicharro (Recursos [Iguar], Redacción—borrador original [Iguar]), Carolina Nieto-Moraleda (Análisis formal [Iguar], Redacción—borrador original [Iguar]), y Martin Romero-Maroto (Administración del proyecto [Iguar])

## Incompatibilidad

Los autores declaran que no existe ningún conflicto de intereses.

## Fondos

Ninguno declarado.

## Aprobación ética

La Comisión de Ética de Investigación de la Universidad Rey Juan Carlos ha obtenido la aprobación ética para este estudio. Todos los métodos se llevaron a cabo de acuerdo con las directrices y normativas pertinentes.

## Consentimiento para publicación

Soy el autor responsable del envío de este artículo y acepto las condiciones de envío.

## Disponibilidad de datos

Todo el material es propiedad de los autores y no se requieren permisos. Los conjuntos de datos generados y analizados durante el estudio actual no están disponibles públicamente debido a la [ley nacional de protección de datos], pero están disponibles a pedido del autor correspondiente.

## Referencias

1. Farishta S. Percepciones de los pacientes respecto a las necesidades de ortodoncia y nivel de satisfacción con el procedimiento. *Revista de salud bucal internacional* 2015;7:79–82.
2. Ghafari JG. Inventario del centenario: el rostro cambiante de la ortodoncia. *Revista estadounidense de ortodoncia y ortopedia dentofacial* 2015;148:732–9. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2015.08.011>
3. Lingenbrink JC, King G, Bollen AM, y otros. Comparación de calidad de vida entre ortodoncia transparente removible y convencional. *Revista de investigación dental* 2002;81:463.
4. Dietschi D, Campanile G, Holz J, y otros. Comparación de la estabilidad del color de diez compuestos de nueva generación: un *in vitro* estudio. *Materiales dentales* 1994;10:353–62. [https://doi.org/10.1016/0109-5641\(94\)90059-0](https://doi.org/10.1016/0109-5641(94)90059-0)
5. Schuster S, Eliades G, Zinelis S, y otros. Conformación estructural y lixiviación *dein vitro* Aparatos Invisalign envejecidos y recuperados. *Revista estadounidense de ortodoncia y ortopedia dentofacial* 2004;126:725–8. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2004.04.021>
6. Barone S, Paoli A, Neri P, y otros. Evaluación de propiedades mecánicas y geométricas de materiales termoplásticos para aplicaciones biomédicas. En: Eynard B, Nigre S, Peris-Fajarnes G, Rizzuti S (eds.), *Avances en mecánica, ingeniería de diseño y fabricación*. Berlín/Heidelberg: Springer, 2017, 437–46.
7. Gracco A, Mazzoli A, Favoni O, y otros. Cambios químicos y físicos a corto plazo en los aparatos Invisalign. *Revista australiana de ortodoncia* 2009;25:34–40.
8. Moshiri M, Eckhart JE, Mcshane P, y otros. Consecuencias de una mala higiene bucal durante la terapia con alineadores transparentes. *Revista de ortodoncia clínica* 2013;47:494–8.
9. Tsomos G, Ludwig B, Grossen J, y otros. Evaluación objetiva del cumplimiento del paciente con el uso de aparatos de ortodoncia removibles: un estudio de cohorte transversal. *El Ortodoncista Angular* 2014;84:56–61. <https://doi.org/10.2319/042313-315.1>
10. Lombardo L, Martini M, Cervinara F, y otros. Análisis SEM comparativo de nueve estrategias de limpieza de alineadores F22. *Avances en ortodoncia* 2017;18:26. <https://doi.org/10.1186/s40510-017-0178-9>
11. La Asociación Nacional del Café y la Asociación de Cafés Especiales de América. *Estadísticas del café*. <http://www.e-importz.com/estadisticas-del-cafe.php> (18 de marzo de 2024, fecha de último acceso).
12. Tepedino M, Paoloni V, Cozza P, y otros. Movimiento de dientes anteriores utilizando alineadores transparentes: una evaluación retrospectiva tridimensional. *Avances en ortodoncia* 2018;19:9. <https://doi.org/10.1186/s40510-018-0207-3>
13. Duval B. Comisión Internacional de Iluminación (CIE). *Óptica fotónica* 2001;1.
14. Judd DB. Óptica fisiológica en la Oficina Nacional de Normas. *Óptica aplicada* 1967;6:13–26. <https://doi.org/10.1364/AO.6.000013>
15. Lombardo L, Arreghini A, Maccarrone R, y otros. Propiedades ópticas de los alineadores de ortodoncia: análisis espectrofotométrico de tres tipos antes y después del envejecimiento. *Avances en ortodoncia* 2015;16:41. <https://doi.org/10.1186/s40510-015-0111-z>
16. Venkatasubramanian P, Jerome MS, Ragunathanan L, y otros. Estabilidad del color de los materiales de alineación ante la exposición a la

- Productos alimenticios: un estudio in vitro. *Revista de investigación dental, clínicas dentales, perspectivas dentales* 2022; **16**:221–8. <https://doi.org/10.34172/joddd.2022.035>
17. Liu CL, Sun WT, Liao W, y otros Estabilidades del color de tres tipos de alineadores transparentes de ortodoncia expuestos a agentes colorantes. *Revista Internacional de Ciencias Orales* 2016; **8**:246–53. <https://doi.org/10.1038/ijos.2016.25>
  18. Zafeiriadis AA, Karamouzou A, Athanasiou AE, y otros Evaluación espectrofotométrica in vitro de la decoloración del retenedor termoplástico transparente Vivera. *Revista australiana de ortodoncia* 2014; **30**:192–200.
  19. Daniele V, Macera L, Taglieri G, y otros Discos termoplásticos utilizados para alineadores de ortodoncia comerciales: caracterización fisicoquímica y mecánica completa. *Materiales (Basilea)* 2020; **13**:2386. <https://doi.org/10.3390/ma13102386>
  20. Daniele V, Macera L, Taglieri G, y otros Estabilidad del color, características químico-físicas y ópticas de los alineadores de ortodoncia basados en PETG y PU más comunes para la terapia con alineadores transparentes. *Polímeros (Basilea)*. 2021; **14**:14. <https://doi.org/10.3390/polym14010014>
  21. De Oliveira CB, Maia LG, Santos-Pinto A, y otros Estudio in vitro de la estabilidad del color de brackets cerámicos policristalinos y monocristalinos. *Revista Dental Press de Ortodoncia* 2014; **19**:114–21.
  22. Ertas E, Güler AU, Yücel AC, y otros. Estabilidad del color de compuestos de resina después de la inmersión en diferentes bebidas. *Revista de materiales dentales* 2006; **25**:371–6.
  23. Bernard G, Rompré P, Tavares JR, y otros Mediciones colorimétricas y espectrofotométricas de alineadores termoplásticos de ortodoncia expuesto a diversas fuentes de manchas y métodos de limpieza. *Medicina de cabeza y cara*. 2020; **16**:2. <https://doi.org/10.1186/s13005-020-00218-2>
  24. Baltzer A, Kaufmann-Jinoian V. Principios básicos de determinación del color. *Quintessenz Tecnología Dental*. 2004; **30**:726–40.
  25. Fernandes AB, Ruellas AC, Araújo MV, y otros. Evaluación de la pigmentación exógena en ligaduras elásticas incoloras. *Revista de ortodoncia* 2014; **41**:147–51.
  26. Gunter O. *Manual de poliuretano*. Múnich: Hanser Publishers, 1994.
  27. Ryokawa H, Miyazaki Y, Fujishima A, y otros Propiedades mecánicas de los materiales termoplásticos dentales en un entorno intraoral simulado. *Ondas de ortodoncia* 2006; **65**:64–72. <https://doi.org/10.1016/j.odw.2006.03.003>
  28. Han JT, Zheng Y, Cho JH, y otros Películas híbridas orgánico-inorgánicas superhidrofóbicas estables mediante autoensamblaje electrostático. *Revista de química física B* 2005; **109**:20773–8. <https://doi.org/10.1021/jp052691x>
  29. Zhu L, Xiu Y, Xu J, y otros. Superhidrofobicidad en superficies rugosas de dos niveles fabricadas mediante el crecimiento controlado de matrices de nanotubos de carbono alineados recubiertos con fluorocarbono. *Langmuir* 2005; **21**:11208–12. <https://doi.org/10.1021/la051410+>
  30. Gang T, Dongli W, Yunjun L, y otros Nuevo poliuretano energético fluorado rico en azida con excelentes propiedades mecánicas mediante una estrategia fácil de un solo recipiente. *Revista Europea de Polímeros* 2022; **177**:111428.