

Influencia de las propiedades reológicas en las características sensoriales de cremas solares A/O y O/A.

E. Torres¹, L. Halbaut¹, C. Barbé¹, M. Aróztegui¹, A. Calpena¹, J. Suñer¹ y R. Steinbrüggen²

¹ *Depto. Farmacia y Tecnología Farmacéutica, Facultad de Farmacia. Universidad de Barcelona (Spain)*

² *i F i - Instrumentos Físicos Iberica. Barcelona (Spain).*

Las cremas solares son sistemas dispersos emulsionados, generalmente de tipo A/O u O/A que contienen uno o varios filtros solares ubicados en las diferentes fases de la emulsión según su afinidad hacia ellas. Dichos sistemas se estabilizan mediante tensioactivos y otros aditivos tales como espesantes, componentes iónicos y conservantes.

Los filtros solares se clasifican en los siguientes grupos:

- Filtros químicos, por ejemplo el Etilhexilmetoxicinamato (*EHM*).
- Filtros físicos o inorgánicos, generalmente dióxido de titanio.
- Filtros organominerales, siendo el más empleado el derivado benzotriazol.
- Filtros biológicos, como son las vitaminas A, E, C y diferentes derivados flavonoides.

El factor de protección solar (FPS) depende no solamente del porcentaje y combinaciones de filtros solares empleados, sino también de los demás componentes del preparado, ya que tanto el tipo de formulación como determinados excipientes pueden influir en el tiempo de permanencia y en el grado de penetración dérmica de ciertos protectores solares (1, 2). Para que un filtro solar sea eficaz es indispensable que permanezca sobre la piel y el mayor tiempo posible.

En el desarrollo galénico de toda emulsión se realizan distintas determinaciones fisicoquímicas, entre ellas reológicas (3) así como estudios de estabilidad, para tener bien definidas las características del producto. Por otra parte, en los productos de aplicación cutánea se ha de tener en cuenta, que su uso debe ser agradable, siempre teniendo presente que se ha de conseguir el efecto deseado. Un producto agradable tiene mayores posibilidades de venta en el mercado. De aquí que se haya desarrollado el análisis sensorial, tanto para describir exhaustivamente las características del producto, como para compararlo con otros productos y poder modificar, si es necesario, la formulación y/o la tecnología aplicada con el fin de optimizar el producto y asegurar su éxito. El análisis sensorial realizado con un panel de expertos permite definir apreciaciones cualitativas o, como máximo, semicuantitativas de un producto en unas condiciones determinadas (4, 5).

En este trabajo se describe el procedimiento de caracterización fisicoquímica de cremas solares (A/O y O/A) con el fin de estudiar el efecto de pequeñas modificaciones de composición en las propiedades de dichas emulsiones y predecir las posibles variaciones en cuanto a las propiedades táctiles de las mismas.

Para ello, partiendo de dos formulaciones solares, una de fase externa oleosa y otra de fase externa acuosa, se han modificado dichas fórmulas, reduciendo el porcentaje de filtro químico para abarcar distintos valores de FPS y ajustando paralelamente las proporciones de fase oleosa y de tensioactivos. Las muestras de los lotes elaborados se han analizado mediante técnicas reológicas antes de proceder a la realización del test sensorial. Dado que los cambios de composición pueden afectar al grado de dispersión de la fase interna así como a la estabilidad del sistema emulsionado, se han estudiado también ambos aspectos.

Las 4 emulsiones estudiadas contienen todas ellas como filtro solar físico el *titanium dioxide* bajo las dos formas de presentación *Solaveil*[®] CT-100 y *Solaveil*[®] CT-10W (Química Massó) y además como filtro químico el *Ethylhexyl methoxycinnamate* (*Eusolex*[®] 2292; Merck Farma Química). Las fórmulas 1 y 3 incluyen un 10% de *EHM* mientras que las fórmulas 2 y 4 que derivan respectivamente de las dos anteriores contienen la mitad (5%) de dicho filtro y mayores proporciones de excipientes lipófilos y tensioactivo (Tabla 1). Se muestra en la Figura 1 la ubicación teórica de los filtros solares según el tipo de emulsión (O/A y A/O).

Las emulsiones A/O (fórmulas 1 y 2) se han formulado con un solo emulgente, el *glycerol monostearat and PEG-100 stearate* (*Arlacel*[®] 165; Química Massó). Los excipientes de la fase oleosa incluyen el *triethylhexanoin* (*Estol*[®] 3609; Química Massó), *polyperfluoroethoxymethoxy difluoromethyl distearamide* (*Fomblin*[®] HC/SA-18; Química Massó), *hydrogenated castor oil* (*Cutina*[®] HR; Cognis) y parafina líquida. Los excipientes de la fase acuosa son agua, glicerina y sulfato de magnesio heptahidratado. El conservante empleado es una mezcla de *diazolidinylurea*, *methylparaben*, *propylparaben*, *propylene glycol* (*Kemaben*[®] 2; Química Massó)

Las emulsiones O/A (fórmulas 3 y 4) se han formulado con una combinación de emulgentes que además del *glycerol monostearat and PEG-100 stearate* (*Arlacel*[®] 165) incluye *polyoxyethylene 20 sorbitan monostearate* (*Tween*[®] 60) y *sorbitan monostearate* (*Span*[®] 60), todos ellos de Química Massó. Los excipientes de la fase acuosa son agua, glicerina y *hydroxypropyl starch phosphate* (*Structure*[®] ZEA de Isisa) y el excipiente lipofílico es el *triethylhexanoin* (*Estol*[®] 3609). El conservante empleado es la mezcla *phenoxyethanol*, *methylparaben*, *butylparaben*, *propylparaben*, *ethylparaben* (*Phenoxyparaben* de Química Massó).

Se han elaborado 3 lotes de 200 g de cada fórmula en condiciones totalmente estandarizadas para comprobar la reproductibilidad de las características de las fórmulas preparadas, determinadas mediante las metodologías que se describen en el siguiente apartado.

La caracterización fisicoquímica de las 4 emulsiones, previa al test sensorial, se ha realizado mediante una serie de ensayos que incluyen: evaluación organoléptica, reológica y estabilidad física

a diferentes temperaturas, así como estudio microscópico. Estos ensayos se han realizado por triplicado para así poder comprobar en su caso la respuesta del utillaje y la repetibilidad de los resultados obtenidos.

En este estudio se han efectuado microfotografías de muestras alícuotas de las emulsiones recién elaboradas, sin diluir, utilizando el microscopio *Carl Zeiss Jena*, modelo *Jenaval*, acoplado a un equipo de microfotografía *Polaroid microscope digital camera*, conectado a un ordenador provisto del programa de tratamiento de imágenes (*ImageJ v 1.29*). Las microfotografías incluyen la escala correspondiente que permite calcular tanto el aumento en que se ha efectuado la medida como el tamaño aproximado de las gotas.

1) Estudio en condiciones aceleradas

Las muestras de las emulsiones en estudio (20 ml) se han sometido en el *Turbiscan[®] Lab Expert* a una temperatura de 40 °C durante 24 h para así recoger a cada hora los datos por *backscattering*.

2) Estudio a tiempo real: Descripción del aspecto macroscópico

Respecto al procedimiento, se guardan muestras de cada emulsión a distintas temperaturas: ambiente (en *muestroteca*), 30, 40 y 50 °C (en estufas) y 5 °C (en nevera).

Las muestras en estudio se observan cada semana durante los tres primeros meses y después cada quince días hasta un año. A modo recordatorio, se realizan fotografías de los viales con cámara digital. Los resultados se expresan de manera simplificada como:

- Estable (E): se mantiene macroscópicamente estable durante aquel período.
- Cremado (Cre): se separa en zonas de aspecto diferente.
- Exudado (Ex): inicio de la ruptura de la emulsión.

Basándonos en estudios anteriores (6), los análisis reológicos se han llevado a cabo bajo las siguientes condiciones experimentales:

a) Determinación del tipo de flujo y de la viscosidad aparente a 25, 37 y 42 °C con el viscosímetro *HAAKE VT 500* equipado de cilindros coaxiales (*SVI + SV*) y aplicando el programa de cizalla progresivamente creciente y decreciente:

- Periodo de cizalla ascendente: de 0 a 200 s⁻¹ en 3 min.
- Periodo a cizalla constante: 200 s⁻¹ durante 1 min.
- Periodo de cizalla descendente: de 200 a 0 s⁻¹ en 3 min.

b) Determinación de la viscosidad a 25 y 37 °C a altas velocidades de cizallas (1000, 2000 y 10000 s⁻¹) aplicadas de forma continua durante 3 min mediante el reómetro *HAAKE MARS II* equipado del sistema placa/placa *PP60Ti*.

c) Tests oscilatorios:

Con el reómetro *HAAKE MARS II* equipado del sistema *PP60Ti*:

- Barrido inicial de amplitud a una frecuencia fija de 1 Hz y variando el esfuerzo de cizalla entre 0,5 y 10 Pa, para hallar la zona viscoelástica lineal de los sistemas emulsionados y así determinar en cada caso el valor del esfuerzo crítico.
- Subsiguiente barrido de frecuencia entre 0,1 y 10 Hz, a 50% del esfuerzo crítico, para observar las variaciones del módulo de almacenamiento (G') (o módulo elástico), módulo de pérdida (G'') (o módulo viscoso) y ángulo de fase δ (siendo $\text{tg } \delta = \frac{G''}{G'}$)

Se han evaluado las cremas elaboradas mediante un *Test analítico-descriptivo* seguido de un *Test de agradabilidad y preferencia*, aplicando el protocolo establecido por *Torres (7)* basado en las directrices del método *Skinfeel SDA (3, 4, 6)*. El panel incluyó 23 mujeres de piel caucásica, entre 20 y 30 años. Los tests se realizaron en condiciones de entorno controladas, con el fin de detectar diferencias entre las 4 cremas, en determinados atributos sensoriales.

El proceso de evaluación descriptivo con escalas de 10 puntos para cada atributo, comprende las cuatro fases consecutivas siguientes:

- Aspecto del producto: propiedades visuales del producto a la salida del envase.
- Sensación al coger el producto entre los dedos: propiedades táctiles antes de su aplicación.
- Sensación durante la aplicación del producto: propiedades durante la aplicación cutánea en el antebrazo.
- Aspecto residual y sensación táctil inmediata: efectos visuales, táctiles y estéticos del producto sobre la piel tras su aplicación.

En el test de agradabilidad y preferencia, las voluntarias utilizan una escala hedónica de 9 puntos para expresar el nivel de agradabilidad de las cremas y, por otra parte, la que más les gusta.

Las fórmulas 1 y 2 corresponden a cremas espesas blancas, brillantes y macroscópicamente homogéneas. En las microfotografías, presentan el aspecto de emulsión homodispersa donde predominan las gotas finas de diámetro $\leq 5 \mu\text{m}$. Se detecta la presencia de algunas partículas de mayor tamaño pero poco predominantes, atribuibles a la suspensión de filtro físico (TiO_2).

Las fórmulas 3 y 4 corresponden a cremas fluidas blancas, brillantes y macroscópicamente homogéneas. Presentan el aspecto de emulsión homodispersa, con finas gotas de diámetro $\leq 5 \mu\text{m}$ y

presencia de partículas diferenciadas (mayoritariamente de 30 μm) y de contorno ligeramente irregulares, en gran parte atribuibles a partículas de derivado de almidón de trigo (*Structure*[®] ZEA), bastante redondeadas por tanto bien humectadas.

Fórmula 1: En las gráficas obtenidas (Figura 2) se detecta una disminución del *backscattering* fundamentalmente en el nivel superior del vial que, que al tratarse de una emulsión A/O, puede denotar un comienzo de desestabilización del sistema emulsionado que podría detectarse *de visum* en forma de exudado en la parte superior de la muestra. Ello indica que la emulsión 1 presenta una estabilidad limitada a 40 °C.

Fórmula 2: Las gráficas son similares a las de la fórmula 1 pero tan sólo muestran una muy ligera variación de la lectura en la parte superior del vial, lo cual hace pensar que la emulsión 2 debe ser muy estable a temperaturas ≤ 40 °C y más estable que la fórmula 1.

Fórmula 3: En las gráficas obtenidas (Figura 3), se observa una disminución progresiva del *backscattering* durante el período de tiempo del estudio de 24 h. Esta ligera disminución, similar para los diferentes niveles de lectura del vial, se ha de relacionar con una disminución del número de gotas dispersadas en la emulsión. Este hecho puede indicar un aumento del diámetro de estas gotas y, por tanto, una tendencia a un proceso de floculación o coalescencia a 40 °C. Ello indica que la emulsión 3 es bastante estable a temperatura ambiente pero más limitada a 40 °C.

Fórmula 4: Las gráficas son similares a las de la fórmula 3 tan solo muestran una disminución mínima del *backscattering* durante el período de tiempo del estudio lo que indica que la emulsión es muy estable a temperaturas ≤ 40 °C y más estable que la fórmula 3.

Se resume en la Tabla 2 el resultado del estudio de variación del aspecto macroscópico de las muestras guardadas a diferentes temperaturas. Los datos indican que las 4 emulsiones son macroscópicamente estables al menos durante 1 año a temperaturas entre 5 y 30 °C, en cambio a 50 °C su estabilidad es más limitada. A 40 °C, tan sólo resultan estables durante 1 año las 2 emulsiones con 5 % de EHM. Estos resultados confirman los obtenidos en condiciones aceleradas mediante *Turbiscan*[®] y muestran que los cambios en las fórmulas 1 y 3 para reducir a la mitad el porcentaje de EHM (en particular el incremento de porcentaje de tensioactivos) mejoran la estabilidad de las emulsiones resultantes (fórmulas 2 y 4).

Las cuatro emulsiones muestran un flujo no newtoniano de tipo plástico que se ajusta al modelo Herschel–Bulkley y un comportamiento no tixotrópico.

Puede observarse en la Tabla 3 que las emulsiones A/O (fórmulas 1 y 2) presentan mayor viscosidad que las emulsiones O/A (fórmulas 3 y 4). Por otra parte, las fórmulas con 5% de *EHM* (fórmulas 2 y 4) resultan más viscosas que sus homólogas (fórmulas 1 y 3) con 10% de dicho filtro. Además, en todos los casos, la viscosidad disminuye considerablemente al incrementar la temperatura. Las cremas O/A son las que experimentan un mayor descenso relativo de viscosidad a 37 °C, mientras que en las cremas A/O el efecto fluidificante es mayor a 42 °C.

Sólo las cremas O/A han podido analizarse a altas velocidades de cizalla (1000, 2000 y 10000 s⁻¹). Las muestras de cremas A/O sometidas a estas condiciones dan lugar a reogramas erróneos ya que a estas velocidades de cizalla se vacía en parte la ranura del sistema de medición, debido a su viscoelasticidad (6).

La tabla 4 muestra la variación de la viscosidad de las fórmulas 3 y 4 con la velocidad de cizalla y la temperatura. Los valores obtenidos confirman el comportamiento reofluidificante de las cremas O/A, así como el efecto fluidificante del aumento de la temperatura.

Teniendo en cuenta las propiedades reofluidificantes de las 4 fórmulas y el efecto de la temperatura, se ha estimado que las 4 cremas serían todas ellas de fácil extensión sobre la piel y, por lo tanto, con características de deslizamiento análogas.

Tras la aplicación del barrido de esfuerzo de cizalla del test oscilatorio, se ha podido hallar el valor de esfuerzo correspondiente al final de la zona viscoelástica lineal que ha resultado ser del orden de 2 Pa para las fórmulas 3 y 4 y de 10 Pa para las fórmulas 1 y 2. Ello indica que las dos emulsiones O/A presentan una estructura más frágil que las dos A/O.

Los resultados de los subsiguientes ensayos de barrido de frecuencia (cuadro 3.4) realizados al 50% del esfuerzo crítico demuestran que las dos cremas A/O presentan un comportamiento claramente más elástico que las dos emulsiones O/A. No se observan diferencias significativas entre el comportamiento de las fórmulas 1 y 2 (A/O), pero sí entre las fórmulas 3 y 4, siendo el comportamiento viscoso más acusado en la fórmula 4.

El aumento de la frecuencia o de la temperatura, en el rango de los experimentos, originan un notable incremento del comportamiento elástico en el caso de las dos emulsiones O/A. En cambio, la respuesta viscoelástica no varía tanto para las fórmulas A/O que tan solo muestran un ligero incremento del componente viscoso con el aumento de la temperatura y, también, a las más altas frecuencias.

La presencia de diferencias en las propiedades viscoelásticas encontradas entre las cremas A/O y O/A permitió predecir también diferencias en sus propiedades sensoriales. Dado que las fórmulas 1 y 2 (A/O) presentan mayor viscosidad y un comportamiento más elástico que las fórmulas 3 y 4 (O/A) se estimó que las emulsiones oleosas iban a ganar más puntuación en la mayoría de los

atributos directamente relacionados con la textura como son: integridad de la forma, formación de pico, firmeza, cohesión, pegajosidad, espesor y cantidad de residuo. En cambio, no se esperó grandes diferencias entre las emulsiones 3 y 4 y, prácticamente, ninguna entre la 1 y la 2. Por todo ello, se estimó que la preferencia iba a recaer indistintamente hacia las emulsiones acuosas 3 y 4.

Se recogen en las Figuras 4 y 5 los resultados de la evaluación de los atributos sensoriales examinados en las tres primeras fases del test y en la Figura 6 los de la cuarta fase. Tal y como se esperaba, las cremas A/O han obtenido valores significativamente superiores en numerosos atributos táctiles (integridad de forma, formación de pico estable, espesor y cantidad de residuo).

Las emulsiones O/A sólo han obtenido mejores puntuaciones en la firmeza. Para los otros dos atributos también propios de la textura del producto (cohesión y pegajosidad), las 4 cremas han conseguido puntuaciones muy cercanas.

De acuerdo con las previsiones, se han obtenido valores similares para el deslizamiento de las cuatro cremas y no se han apreciado diferencias sensoriales significativas entre las fórmulas 1 y 2 ni entre las fórmulas 3 y 4. Como es lógico, las cremas acuosas han dado mayor puntuación en absorción y sensación de humedad que las cremas oleosas (Figura 5).

La sensación residual después de la aplicación ha sido similar para las 4 emulsiones (Figura 6).

También cabe destacar que el grado de aceptación ha sido similar para las 4 cremas solares, con 4,9 para la fórmula 1 y 5,1 para las demás, sobre una escala hedónica de 9. Sin embargo, la preferencia final entre los 4 productos ha recaído de forma igual sobre las 2 emulsiones O/A con aproximadamente el 74% de los votos de los panelistas a favor.

Por lo tanto, se ha demostrado que los resultados del análisis sensorial se ajustan a las previsiones realizadas a partir de los resultados reológicos.

Se ha variado la composición de 2 cremas solares, una de tipo A/O y otra O/A, reduciendo a la mitad el porcentaje de filtro químico (Etilhexilmetoxicinamato) y aumentando paralelamente las proporciones de tensioactivos y de componentes de la fase oleosa. Las emulsiones de partida así como las dos resultantes se han caracterizado mediante estudios microscópicos, reológicos y de estabilidad física previos a la evaluación sensorial de las mismas, con el fin de determinar el impacto de los cambios en las características fisicoquímicas de las emulsiones y poder predecir los posibles efectos en las propiedades sensoriales de las cremas en estudio. Los resultados obtenidos demuestran en primer lugar la utilidad de las técnicas instrumentales empleadas para examinar la estabilidad física, así como, las propiedades viscoelásticas y de flujo de estos sistemas emulsionados semisólidos. En segundo lugar, se ha demostrado que los ensayos reológicos pueden

emplearse como método de aproximación para predecir y discriminar las propiedades sensoriales táctiles de este tipo de preparado.

Así, se han predicho y demostrado diferencias táctiles notables entre las emulsiones A/O y O/A, así como la similitud entre sí de las dos emulsiones acuosas y las dos oleosas desde este punto de vista. Las nuevas formulaciones con 5% de EHM resultan más estables y viscosas, pero con semejantes propiedades sensoriales que sus homólogos con 10% de este filtro.

1. Torres, E., Calpena, A., Halbaut, A., Barbé, C., Aróztegui, M., Suñer, J. The influence of the external phase in the retained quantity of chemical filter ethylhexyl methoxycinnamate in human skin. NCP (2008). Pendiente de publicación.
2. Woodruff, J. In-cosmetics- all in the mix. Soap, Perfumery & Cosmetics. May 2007.
3. Grossiord, J.L. y Quemada, D. (2002). Comprendre la Rhéologie – De l'écoulement du sang à la prise du béton (Coussot, P. and Grossiord, J.L., eds.). EDP Sciences, Paris. 2002, pp 191-221.
4. Civille, G.V., Dus, C.A. Evaluating tactile properties of skincare products (use of skinfeel spectrum analysis method). Cosmetic & Toiletries, 1991, 106, 83-88.
5. Halbaut, L., Alcalde, M.T., Aróztegui, M. y Barbé, C. Relación entre características fisicoquímicas y propiedades sensoriales en preparados de aplicación tópica II. Análisis sensorial. Ciencia Pharmaceutica, 1996, 6, 289-296.
6. Schramm, G. A practical approach to rheology and rheometry. Haake GmbH, Karlsruhe. 1994.
7. Torres, E., Halbaut, L., Barbé, C., Aróztegui, M., Calpena, A., Suñer, J., Steinbrüggen, R. Rheological properties of W/O and O/W photo-protection creams. Iberian Meeting on Rheology. Madrid 11 y 12 de septiembre de 2008.
8. Torres, E., Suñer, J., Aróztegui, M., Halbaut, L., Barbé, C. Propuesta de protocolo de análisis sensorial en productos semisólidos: cremas y geles. NCP Documenta (Noticia de Cosmética y Perfumería). 2001; 260:5-11.

Contacto:

E. Torres (etorres@ub.edu)

Dpto. Farmacia y Tecnología Farmacéutica. Facultad de Farmacia. Universidad de Barcelona.

Av. Joan XXIII, s/n, 08028 Barcelona (Spain).

COMPONENTES	FÓRMULAS - PORCENTAJES			
	Fórmula 1 (A/O)	Fórmula 2 (A/O)	Fórmula 3 (O/A)	Fórmula 4 (O/A)
Eusolex [®] 2292	10,0	5,0	10,0	5,0
Solaveil [®] CT100	8,0	8,0	8,0	8,0
Solaveil [®] CT10W	12,5	12,5	12,5	12,5
Excipientes fase oleosa	18,5	22,5	5,5	9,0
Emulgentes	2,0	3,0	9,6	11,1
Excipientes fase acuosa	48,0	48,0	53,5	53,5
Conservante	1,0	1,0	0,9	0,9

Cuadro 2.1: Diferencias en la composición de las fórmulas 1, 2, 3 y 4.

TEMPERATURA	Fórmula 1	Fórmula 2	Fórmula 3	Fórmula 4
5 °C	E: > 12 meses	E: > 12 meses	E: > 12 meses	E: > 12 meses
Temp. ambiente	E: > 12 meses	E: > 12 meses	E: > 12 meses	E: > 12 meses
30 °C	E: > 12 meses	E: > 12 meses	E: > 12 meses	E: > 12 meses
40 °C	Ex: 1 – 4,5 meses	E: > 12 meses	Ex: 6 - 9 meses	E: > 12 meses
50 °C	Ex: 1 - 4 meses	Ex: 3-8 meses	Ex: 1 – 4 meses	Ex: 3 - 7 meses

E = Estable; Ex: Exudado

Cuadro 3.1: Estabilidad física de las 4 emulsiones a diferentes temperaturas y a tiempo real.

Temperatura	VISCOSIDAD APARENTE A 200 s ⁻¹ (mPa·s)			
	Fórmula 1	Fórmula 2	Fórmula 3	Fórmula 4
25 °C	1354,8 ± 59,4	1476,6, ± 85,6	460,5 ± 18,4	713,2 ± 82,0
37 °C	1134,7 ± 20,4	1208 ± 4,9	306,7 ± 50	497,3 ± 5,0
42 °C	640,2 ± 6,5	899,9 ± 10,1	217,8 ± 1,3	340,9 ± 7,4

Cuadro 3.2. Efecto de la temperatura en la viscosidad aparente de las emulsiones ($\bar{X} \pm SD$).

EMULSIONES (Temperatura)		VISCOSIDAD (Pa·s) a 1000 s ⁻¹			VISCOSIDAD (Pa·s) a 2000 s ⁻¹			VISCOSIDAD (Pa·s) a 10000 s ⁻¹		
		máx.	mín.	media	máx.	mín.	media	máx.	mín.	media
Fórmula 3	25 °C	0,310	0,295	0,300	0,224	0,212	0,215	0,106	0,097	0,099
	37 °C	0,222	0,211	0,217	0,164	0,159	0,161	0,091	0,077	0,083
Fórmula 4	25 °C	0,407	0,379	0,397	0,284	0,271	0,281	0,134	0,126	0,132
	37 °C	0,318	0,288	0,312	0,236	0,227	0,232	0,126	0,094	0,113

Cuadro 3.3. Efectos de la velocidad de cizalla y de la temperatura en la viscosidad de las cremas O/A.

FÓRMULAS	Ángulo de fase δ (°)					
	δ (°) a 0,1 Hz		δ (°) a 1 Hz		δ (°) a 10 Hz	
	25 °C	37 °C	25 °C	37 °C	25 °C	37 °C
1	4,57	6,84	4,63	4,49	9,83	7,63
2	5,54	6,05	6,56	5,14	10,75	8,34
3	47,57	30,70	38,18	24,78	28,67	23,59
4	60,32	45,78	42,95	35,34	34,83	31,06

Cuadro 3.4. Variación del ángulo de fase con el incremento de frecuencia de oscilación y la temperatura.

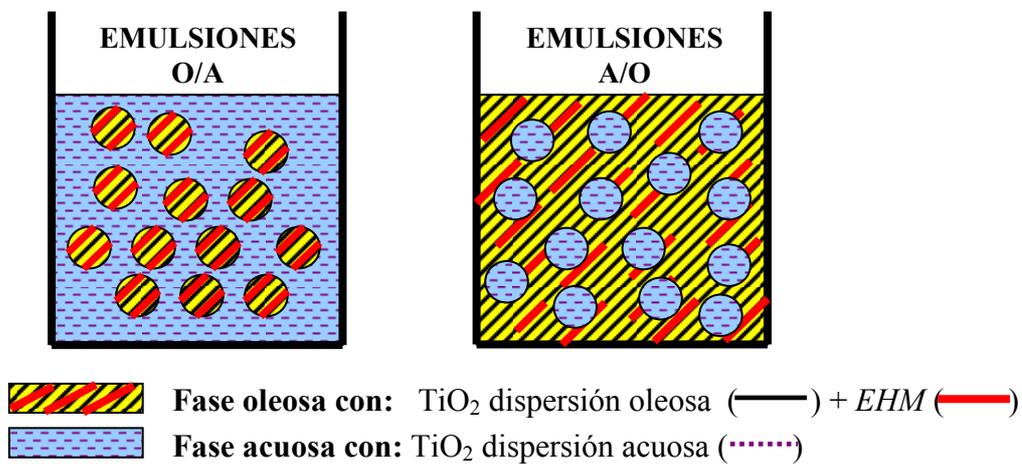


Fig. 2.1: Ubicación teórica de los diferentes filtros solares en las emulsiones O/A y A/O estudiadas.



Fig. 3.1: Resultado del ensayo de estabilidad acelerada a 40 °C durante 24 h para una muestra de la emulsión 1 (A/O).

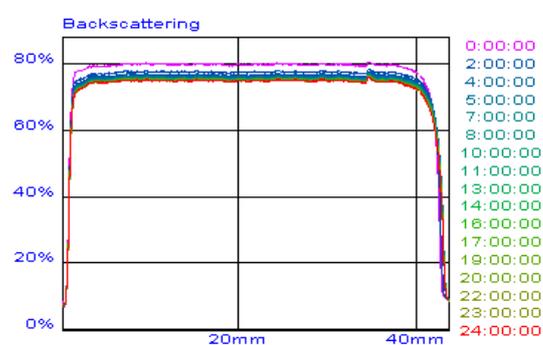


Fig. 3.2: Resultado del ensayo de estabilidad acelerada a 40 °C durante 24 h para una muestra de la emulsión 3 (O/A).

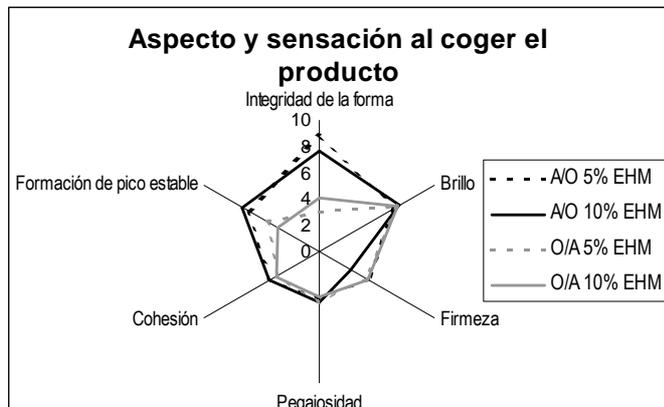


Figura 3.3: Evaluación de los atributos sensoriales de las 4 cremas a la salida del envase y al cogerlas entre los dedos.

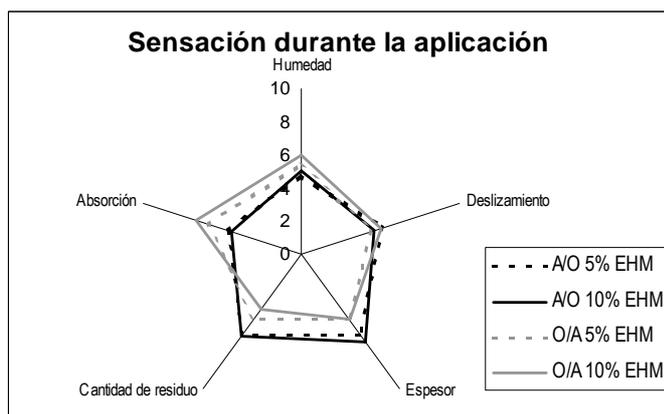


Figura 3.4: Evaluación de los atributos sensoriales de las 4 cremas durante su aplicación cutánea.

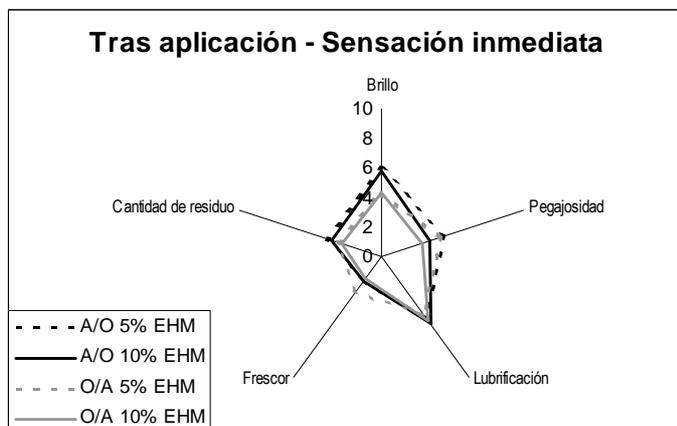


Figura 3.5: Evaluación de los atributos sensoriales de las 4 cremas tras su aplicación cutánea.

