



**Somos calidad,
somos USC**

Elaboración de Shampoo libre de sulfatos a base de tensoactivos derivados del coco

Autores

**Orlin Orlando Ordoñez Quiñones
Juan Camilo Grisales Rojas**

**Título por el que opta
Químico Farmacéutico**

Directores

**Yhors Alexander Ciro Monsalve
Jhon Alexander Miller Peluffo**

Grupo de Investigación

Grupo de Investigación en Química y Biotecnología (QUIBIO)

Línea de Investigación

Desarrollos tecnológicos y biotecnológicos

**Facultad de Ciencias Básicas
Química Farmacéutica
Universidad Santiago de Cali
Santiago de Cali - Colombia
2026**

IMPACTOS

IMPACTO	PRODUCTO	BENEFICIARIO(S)
Económico	N/A	N/A
Responsabilidad social	N/A	N/A
Científico	Producto tesis	Comunidad USC
Indicadores de Gestión	N/A	N/A
Tecnológico	Shampoo libre de sulfatos a base de tensoactivos derivados del coco	Población con cabello sensible o problemas del cuero cabelludo
Técnico	N/A	N/A
Ambiental	Shampoo libre de sulfatos a base de tensoactivos derivados del coco	Formulación de bajo impacto ambiental
Social	N/A	N/A
Cultural	N/A	N/A

ELABORACIÓN DE SHAMPOO LIBRE DE SULFATOS A BASE DE TENSOACTIVOS DERIVADOS DEL COCO

¹Orlin Orlando Ordoñez Quiñonez, ¹Juan Camilo Grisales Rojas, ²Yhors Ciro Monsalve, ³Jhon Alexander Miller Peluffo

1. Programa de Química Farmacéutica. Facultad de Ciencias Básicas. Universidad Santiago de Cali. Calle 5# 62-00. Cali-Colombia.
2. Grupo QUIBIO. Facultad de Ciencias Básicas. Universidad Santiago de Cali. Calle 5# 62-00. Cali-Colombia.
3. Químico Farmacéutico, Especialista en Gerencia de Operaciones. Estudiante Doctorado en Ciencias Aplicadas. Universidad Santiago de Cali. Calle 5# 62-00. Cali-Colombia.

RESUMEN

Por medio del presente estudio se desarrolló un shampoo libre de sulfatos, formulado con tensoactivos derivados del coco (cocoamida DEA, betaína y decil glucosido), que brinde una limpieza eficaz sin dañar el cuero cabelludo, mejorando la salud capilar. Estos tensoactivos, hipoalergénicos y biodegradables, reducen el riesgo de irritación y minimizan el impacto ambiental, alineándose con la demanda de productos sostenibles. Para este estudio se elaboraron tres formulaciones, en las cuales se variaron los porcentajes de los tensoactivos, para evaluar propiedades como pH, viscosidad, espuma, detergencia. Además, se realizaron pruebas de limpieza con mechones de lana y estudios de estabilidad acelerada, para determinar la formulación óptima con la ayuda del estudio estadístico ANOVA con el cual se pudo determinar que la formulación 2 mostró un mejor equilibrio entre los parámetros evaluados: buena estabilidad de viscosidad, pH adecuado, alta capacidad de espuma, eficacia de limpieza estable y ausencia de separación de fase, lo que la posiciona como una opción de reformulación para continuar con estudios adicionales para pruebas sensoriales con usuarios.

Palabras clave: *Shampoo, tensoactivos, cocoamida, Betaina, Decil Glucosido.*

PRODUCTION OF SULFATE-FREE SHAMPOO BASED ON SURFACTANTS DERIVED FROM COCONUT

ABSTRACT

This study developed a sulfate-free shampoo formulated with coconut-derived surfactants (cocoamide DEA, betaine, and decyl glucoside) that provides effective cleansing without damaging the scalp, improving hair health. These hypoallergenic and biodegradable surfactants reduce the risk of irritation and minimize environmental impact, aligning with the demand for sustainable products. For this study, three formulations were developed, varying the percentages of surfactants to evaluate properties such as pH, viscosity, foam, and detergency. In addition, cleaning tests with strands of wool and accelerated stability studies were conducted to determine the optimal formulation. The ANOVA statistical study revealed that formulation 2 showed a better balance among the evaluated parameters: good viscosity stability, adequate pH, high foaming capacity, stable cleaning efficacy, and absence of phase separation. This makes it a suitable reformulation option for further user sensory testing.

Keywords: *Shampoo, surfactants, cocoamide, Betaine, Decyl Glucide.*

1. INTRODUCCIÓN

La mayoría de los shampoos tradicionales contienen **Sulfatos**, usados como agentes limpiadores y tensioactivos principales, encargados de crear espuma, eliminar eficazmente la grasa y la suciedad. Sin embargo, estos pueden provocar efectos adversos en el consumidor, como resequedad capilar, irritación del cuero cabelludo y desequilibrio en la hidratación del cabello, lo que afecta directamente la salud capilar y la satisfacción del usuario [1].

Desde el punto de vista fisicoquímico, la formulación de shampoos libre de sulfatos presenta desafíos importantes en cuanto a la estabilidad y reología del producto. Los sulfatos no solo contribuyen a la limpieza, sino que también influye en la estructura micelar de los tensoactivos, afectando la estabilidad coloidal del sistema. Su eliminación puede alterar la reología del shampoo, modificando propiedades como el flujo, la resistencia al corte y la sensación durante la aplicación. Por ello, es fundamental estudiar cómo sustituir su función limpiadora mediante tensoactivos alternativos que mantengan o mejoren las propiedades físicas del producto [2].

Una alternativa prometedora es el uso de tensoactivos derivados del coco, como; cocoamida DEA o cocoamidopropil betaina la cual actúa como agente espumante y viscosante, reduciendo la irritación [3]. y el decil glucosido, tensoactivo no iónico, compatible con cabellos tratados químicamente con propiedades limpiadoras, espumantes, emulsionantes y acondicionadoras y poco agresivo con el cabello [4].

Estos compuestos no solo son menos irritantes, sino que ofrecen propiedades emolientes y limpiadoras, evitando la necesidad de sales; sin embargo, su incorporación debe evaluarse considerando su impacto en la tensión superficial, ya que esta propiedad influye en la capacidad de dispersión, formación de espuma y eliminación de impurezas. Un cambio en la tensión superficial puede afectar la eficacia del shampoo y su interacción con la cutícula capilar [5].

Además, la ausencia de sulfatos y la inclusión de tensoactivos libre de sulfatos podría hacer que el shampoo sea más compatible con cabellos sometidos a tratamientos químicos (tintes, alisados y queratina), prolongando sus efectos y mejorando el brillo, suavidad y manejo del cabello. Esto es especialmente relevante para personas con cabello seco, rizado o dañado, que buscan productos menos agresivos [6].

En cuanto a la necesidad por el cuidado, el consumidor opta por productos que no solo limpien, sino que también cuiden y mantengan la salud del cabello. Es por eso, por lo que existe una gran demanda por la preferencia hacia los productos de cuidado personal de origen natural que sean menos dañinos [7].

El costo de los tensoactivos derivados del coco es mayor en comparación con los surfactantes tradicionales, pero este sobrecosto se ve compensado por los beneficios que ofrecen, como una menor irritación y mayor tolerancia dermatológica, lo que reduce los efectos adversos en el consumidor y evita gastos en tratamientos para el cuero cabelludo sensible. Además, estos productos tienen un mayor valor percibido, ya que los consumidores están dispuestos a pagar más por opciones naturales y libres de ingredientes agresivos [8]. Esto también permite una mayor fidelización y diferenciación en el mercado, favoreciendo la penetración en segmentos preocupados por la sostenibilidad y la salud capilar, como valor agregado el uso de materias primas de origen natural apoya la agricultura local y reduce la dependencia de ingredientes sintéticos, contribuyendo a la protección del medio ambiente [9].

Ahora bien, el presente estudio planteó como objetivo principal diseñar un shampoo libre de sulfatos, utilizando tensoactivos derivados del coco. Para ello se propusieron tres formulaciones el cual se les realizó las pruebas; viscosidad, pH, formación de espuma y test de limpieza.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para el desarrollo del presente trabajo de investigación, se llevaron a cabo las siguientes fases:

2.1 Formulación

Para la elaboración del shampoo, se formularon tres variantes (formulación 1, formulación 2 y formulación 3), cuya composición se detalla en la tabla 1. Cada formulación fue preparada en un lote de 500 mL, siguiendo el procedimiento descrito a continuación. Todos los ingredientes fueron utilizados en proporciones porcentuales de masa respecto al volumen final del lote.

Tabla 1. Materias primas Formulación

MATERIAS PRIMAS	% FORMULACIÓN 1	% FORMULACIÓN 2	% FORMULACIÓN 3	FUNCIÓN
AGUA	43	43	43	DISOLVENTE [10].
FRUCTOSA	6	6	6	TEXTURA-HUMECTANTE [11].
GOMA XANTAN	1	1	1	AGENTE SUSPENSIVO-ESTABILIZADOR [12].
GLICERINA	6	6	6	HUMECTANTE- EMOLIENTE [13].
BETAINA	10	12	8	EMULSIFICANTE [14].
COCOAMIDA	20	15	17	ACONDICIONADOR- ESPUMANTE [4].
DECYL GLUSIDE	5	8	10	AGENTE DE LIMPIEZA [3].
GERMEN DE TRIGO	2	2	2	APORTA BRILLO Y SUAVIDAD [15]
OLEATO DE ROMERO	3	3	3	FORTALECE EL CABELLO [16].
VITAMINA E	2	2	2	ANTIOXIDANTE [17].
BENZOATO DE SODIO	1	1	1	CONSERVANTE [18].
FRAGANCIA	1	1	1	AROMA

Se inició pesando la cantidad correspondiente de agua desionizada (43% en todas las formulaciones) en un vaso de precipitados de 600 mL, a la cual se adiciono fructosa (6%), agitando con un agitador magnético hasta su completa disolución. Paralelamente, en un vaso de 250 mL, se mezclaron glicerina (6%) y goma xantana (1%) hasta obtener una dispersión homogénea, proceso que tomó aproximadamente 10 minutos de agitación constante. Esta mezcla gelificante fue incorporada a la fase acuosa, asegurando una distribución uniforme mediante agitación continua, obteniéndose así la composición #1. Por otro lado, se preparó la fase tensoactivo (composición #2) pesando y mezclando los tensoactivos de acuerdo con cada formulación: betaina (10, 12 y 8%), cocoamida DEA (20, 15 y 17%) y decil glucosido (5, 8 y 10%), incorporados en el orden mencionado bajo agitación constante hasta lograr una mezcla homogénea.

Posteriormente, la fase acuosa con gelificante fue añadida gradualmente sobre la fase tensoactiva, manteniendo una agitación continua para lograr una integración uniforme. Finalmente, se adicionaron los principios activos oleato de romero (3%), vitamina E (2%) y germen de trigo (2%), seguido del conservante benzoato de sodio (1%) y la fragancia (1%). Tras cada incorporación se realizó agitación manual, y para asegurar la completa homogeneización del producto, se empleó un Ultra-Turrax a velocidad entre 3000 y 10 000 rpm.

2.2 Caracterización físico-química y funcional de las formulaciones

2.2.1 Viscosidad

La viscosidad de cada formulación fue determinada utilizando un viscosímetro Brookfield. Para ello, se colocó el producto en un vaso de precipitados y se midió a una temperatura controlada de $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, utilizando la aguja número 6, a una velocidad de rotación entre 50 y 100 rpm, durante un intervalo de 1 a 2 minutos. La viscosidad fue registrada en centipoises (cP). [19]

2.2.2 pH

El pH de las formulaciones fue medido utilizando un pH-metro digital debidamente calibrado. El electrodo se introdujo en una muestra del producto y se dejó en contacto durante 1 a 2 minutos hasta obtener una lectura estable el cual debe estar entre 6 – 9. [20]

2.2.3 Prueba de formación de espuma (método de Ross-Miles)

Para evaluar la capacidad de espuma, se utilizó el método de Ross-Miles. En una probeta de 100 mL se añadieron 50 mL de agua destilada y 5 gramos de shampoo correspondiente. La mezcla se agito por 20 veces suavemente y se registró el volumen de espuma formado, expresados en milímetros, a tiempos de 1,3, y 5 minutos. Las pruebas se hicieron por triplicado [21]

2.2.4 Test de capacidad de limpieza

Se seleccionaron mechones de lana aproximadamente 5 g, a los cuales se les aplicó una mezcla de suciedad artificial compuesta por aceite mineral, cera de abeja y polvo. Esta mezcla se dejó actuar durante 10 minutos, luego los mechones se lavaron, se secaron a temperatura de $40^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ por 24 h y se pesaron nuevamente. Las pruebas se hicieron por triplicado [22]

Estos cálculos se realizaron teniendo en cuenta tres valores, peso limpio de los mechones de lana, peso sucio y peso seco después del lavado, con el fin de determinar el porcentaje de limpieza de capacidad de limpieza del shampoo.

$$\% \text{ De limpieza} = \frac{(Pd - Ps)}{(Pd - Pl)} \times 100 \quad (1)$$

Pd: peso mechón de lana sucio

Ps: peso de mechón de lana seco

Pl: peso de mechón de lana limpio

2.2.5 Prueba de centrifuga

Con el fin de evaluar la estabilidad física de las formulaciones frente a condiciones de estrés, se realizó un ensayo de centrifugación. Cada muestra se centrifugó a 6000 rpm durante 90 minutos. Al finalizar, se inspeccionaron visualmente signos de separación de fase, sedimentación, floculación y otros cambios físicos [23].

2.2.6 Estudios de estabilidad acelerada

Las tres formulaciones fueron sometidas a un estudio de estabilidad acelerada durante un periodo de un mes. Para esto, las muestras fueron almacenadas en un horno a una temperatura de $40^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ y una humedad relativa controlada de $75\% \pm 5\%$ [24]. Se establecieron puntos de muestreo: tiempo 0 (inicio), 3,7,14,21 y 30. En cada punto se evaluaron las siguientes características:

- Propiedades físico-químicas: pH, viscosidad
- Prueba de formación de espuma
- Test de capacidad de limpieza
- Prueba de centrifuga

3 Tratamiento estadístico

Para el análisis estadístico de los resultados, se utilizó el software JASP, empleando como método principal el análisis de varianza (ANOVA) y, posteriormente la prueba de Post-hoc de Tukey. El Anova fue una técnica estadística que permitió determinar si existían diferencias significativas entre las medias de tres o más grupos independiente, evaluando la influencia de una variables independiente sobre una variable dependiente. Este método se basó en la comparación de la variabilidad entre grupos con la variabilidad dentro de los grupos, siendo su resultado principal el valor p, el cual si las diferencias observadas fueron estadísticamente significativas [25].

En los casos en que el Anova evidencio diferencias significativas, se aplicó la prueba Post-hoc de Tukey, la cual permitió realizar comparaciones múltiples entre los grupos para identificar específicamente cuales presentaron diferencias significativas entre sí.

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Imagen 1. Shampoo libre de sulfatos a base de tensoactivos derivados del coco



En la **imagen 1** se evidencia las tres formulaciones del shampoo, la formulación 1 y 2 presentan un color beige homogéneo, la formulación 3 presenta un color amarillento, las tres formulaciones sin presencia de partículas y con olores característico a coco.

A continuación, se presentan los análisis estadísticos de las variables para las formulaciones 1, 2 y 3. Para ello se empleó el análisis de varianza de (ANOVA) de una vía, y la prueba de Post-hoc de Tukey.

4.1 Formulación 1

Tabla 2. Análisis de varianza viscosidad formulación # 1.

Casos	Suma de Cuadrados	gl	Cuadrado Medio	F	p
Tratamiento	6.976×10^6	5	1.395×10^6	53.58	< .001
Residuals	312,455	12	26,038		

Nota. Suma de Cuadrados Tipo III

El análisis estadístico de la viscosidad del shampoo libre de sulfatos formulado con tensoactivos derivados del coco reveló diferencias significativas a lo largo del tiempo de evaluación. El ANOVA de una vía (**Tabla 2**), mostró un efecto estadísticamente significativo del factor tiempo sobre la viscosidad ($F = 53.58$, $p < .001$), lo cual indica que el almacenamiento influye de manera importante sobre las propiedades reológicas del producto. La prueba Post-hoc de Tukey **Tabla 19**, permitió identificar que las diferencias más marcadas se presentan entre el tiempo 0 y los días posteriores, especialmente con el día 14, donde la diferencia media fue de 1993.33 cP ($p < 0.001$). Asimismo, se observaron diferencias significativas entre los días 3, 7 y 14, lo que sugiere un patrón de degradación temprana de la viscosidad, seguido por una ligera recuperación hacia los días 21 y 30, aunque sin alcanzar los valores iniciales.

Estas variaciones pueden atribuirse a la interacción entre los polímeros naturales (como la goma xantana) y los tensoactivos no iónicos presentes en la fórmula, los cuales tienden a modificar su comportamiento coloidal con el tiempo debido a procesos de reacomodo estructural, hidrólisis lenta o redistribución de fases en el sistema [10]. La goma xantana, ampliamente utilizada como agente espesante y estabilizante, puede perder parte de su funcionalidad reológica en ambientes acuosos, especialmente cuando está expuesta a variaciones de pH, temperatura o a la presencia de humectantes como la glicerina. Por otro lado, los tensoactivos derivados del coco, tales como el cocoamidopropil betaína y los alquil poliglucósidos, aunque más suaves y biodegradables, presentan cierta sensibilidad a condiciones de almacenamiento prolongado, lo que puede afectar la viscosidad global del sistema [26].

Tabla 3. Análisis de varianza pH formulación # 1.

Casos	Suma de Cuadrados	gl	Cuadrado Medio	F	p
Tratamiento	0.084	5	0.017	6.156	.005
Residuals	0.033	12	0.003		

Nota. Suma de Cuadrados Tipo III

El análisis de varianza (ANOVA) **Tabla 3**, indicó que existen diferencias estadísticamente significativas en el pH en función del tiempo ($F = 6.156$, $p = 0.005$), lo que sugiere una leve pero progresiva modificación en la acidez del sistema. Sin embargo, al aplicar la prueba Post-hoc de Tukey **Tabla 20**, se encontró que la única comparación con diferencia significativa fue entre el tiempo 0 y el tiempo 3 (diferencia media = 0.170, $p = 0.017$), lo cual podría atribuirse a ajustes iniciales en el equilibrio ácido-base del sistema tras el embotellado.

En formulaciones cosméticas, especialmente en productos capilares, el pH desempeña un papel crucial en la estabilidad del sistema, la compatibilidad con la piel y el cabello, y la eficacia de los conservantes. Según Lachman et al. (2001) [27], un pH entre 4.5 y 6.5 es considerado óptimo para la mayoría de los productos aplicados en la piel, sin embargo, ciertos shampoos formulados con tensoactivos no iónicos pueden presentar valores ligeramente alcalinos sin comprometer la seguridad del producto. Los valores registrados en esta formulación son compatibles con la naturaleza de los tensoactivos derivados del coco, los cuales tienden a generar soluciones con pH entre 7.5 y 8.5 debido a la estructura química de los grupos amida y alquil-poliéter presentes [11].

La ligera variabilidad del pH observada en el tiempo puede explicarse por la posible hidrólisis de componentes o la interacción entre conservantes, humectantes y agentes espesantes como la goma xantana, que pueden alterar la actividad iónica del medio con el paso del tiempo [28]. A pesar de estos cambios menores, el sistema se mantuvo estable y sin fluctuaciones abruptas, indicando una buena compatibilidad entre los ingredientes empleados.

Tabla 4. Análisis de varianza de formación de espuma formulación # 1.

Casos	Suma de Cuadrados	gl	Cuadrado Medio	F	p
Tratamiento	59.33	5	11.867	2.427	.097
Residuals	58.67	12	4.889		

Nota. Suma de Cuadrados Tipo III

En el análisis estadístico de la formación de espuma se aplicó un ANOVA de una vía para evaluar si existían diferencias significativas entre los distintos tiempos de evaluación (0, 3, 7, 14, 21 y 30 días). Los resultados obtenidos mostraron que no hubo diferencias estadísticamente significativas entre los grupos ($F(5,12) = 2.427$, $p = 0.097$) **Tabla 4**, ya que el valor de p fue mayor a 0.05, lo que indica que el tiempo de almacenamiento no tuvo un efecto significativo sobre la capacidad espumante del producto. Estos hallazgos fueron corroborados mediante la prueba Post-hoc de Tukey **Tabla 21**, la cual no arrojó diferencias significativas entre ninguna de las comparaciones por pares (p -Tukey > 0.05 en todos los casos). Este comportamiento sugiere una buena estabilidad del sistema tensoactivo empleado, alineándose con lo reportado por García et al. (2014) [5], quienes destacan que los tensoactivos derivados del coco, como el cocoamido propil betaína y el lauril glucósido, presentan buena estabilidad frente al envejecimiento del producto y mantienen sus propiedades espumantes a lo largo del tiempo. De este modo, se evidencia que la formulación estudiada conserva su funcionalidad espumante, lo cual es fundamental para la aceptación sensorial del producto final, considerando que la formación de espuma es una característica altamente valorada por los consumidores en productos cosméticos [29].

Tabla 5. Análisis de varianza test de limpieza formulación # 1.

Casos	Suma de Cuadrados	gl	Cuadrado Medio	F	p
Tratamiento	8.004	5	1.601	0.727	.617
Residuals	26.440	12	2.203		

Nota. Suma de Cuadrados Tipo III

El análisis de varianza de una vía (**Tabla 5**), mostro que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los valores obtenidos ($F = 0.727$; $p = 0.617$), indico que la capacidad de limpieza de la formulación se mantuvo constante a lo largo del tiempo del periodo de evaluación. Por la tanto la prueba Post-hoc Tukey (**Tabla 22**), ninguna de las comparaciones entre pares de tiempo presento diferencias significativas ($p > 0.05$)

4.2 Formulación 2

Tabla 6. Análisis de varianza de viscosidad formulación # 2.

Casos	Suma de Cuadrados	gl	Cuadrado Medio	F	p
Tratamiento	1.677×10^7	5	3.354×10^6	334.9	< .001
Residuals	120,201	12	10,017		

Nota. Suma de Cuadrados Tipo III

El análisis estadístico de la viscosidad de la formulación #2 del shampoo, realizado mediante ANOVA de una vía (**Tabal 6**), evidencio diferencias estadísticas significativas entre los distintos tiempo ($F = 333.9$, $p < 0.001$). Este resultado indica que el tiempo de almacenamiento tuvo un efecto significativo sobre la viscosidad del producto, lo cual es consistente con lo reportado en la literatura, donde se señala que la estabilidad reológica de un shampoo puede verse reflejada a causa de una interacción compleja entre los componentes de la forma cosmética como la microemulsion, incluyendo los diferentes tipos de aceites, surfactantes y otros adictivos presentes en la formulación (Cruz Dimas, S. D. 2024). [30]

El análisis Post-hoc de Tukey (**Tabla 23**) revelo que las diferencias más significativas se encontraron entre el tiempo 0 y todos evaluados (3, 7, 14, 21 y 30), con valores de $p < 0.001$ en todas las comparaciones. Esto indica que, desde el inicio, la viscosidad del shampoo presento cambios importantes a medida que transcurrieron los días, como lo evidencio entre el tiempo 14, se observó una diferencia de 2,664 cP, lo cual representa una variación considerable que podría a fenómenos con el reajuste de la estructura micelar de los tensoactivos, interacción con agentes espesantes o sinergia entre los componentes de la formulación.

Tabla 7. Análisis de varianza de pH formulación # 2.

Casos	Suma de Cuadrados	gl	Cuadrado Medio	F	p
Tratamiento	0.188	5	0.038	13.22	< .001
Residuals	0.034	12	0.003		

Nota. Suma de Cuadrados Tipo III

El análisis de varianza de una vía aplicado en pH de la formulación #2 del shampoo (**Tabla 7**) revelo diferencias estadísticas significativas entre los diferentes tiempo del estudio de estabilidad acelerada ($F = 13.22$, $p < 0.001$). este resultado indica que el pH del shampoo se ve afectado significativamente por el tiempo, lo cual es relevante dado que el pH es un parámetro crítico para la estabilidad del producto, la compatibilidad con el cuero cabelludo y la eficacia de los tensoactivos presentes. [31]

La prueba Post-hoc de Tukey (**Tabla 24**) mostro diferencias significativas entre varios pares de tiempo, destacando especialmente las comparaciones entre tiempo 0 y tiempo 7 (diferencia de media = 0.227, $p = 0.004$), y entre tiempo 0 y tiempo 21 (diferencia = 0.303, $p < 0.001$). lo que sugiere un incremento notable de pH e los primeros días. No obstante, al comparar los tiempos 7, 14 y 21 entre sí, no se evidenciaron diferencias significativas, lo que podría indicar una estabilización temporal del pH tras un cambio inicial.

Tabla 8. Análisis de varianza formación de espuma formulación # 2.

Casos	Suma de Cuadrados	gl	Cuadrado Medio	F	p
Tratamiento	133.83	5	26.767	7.528	.002
Residuals	42.67	12	3.556		

Nota. Suma de Cuadrados Tipo III

El análisis de varianza ANOVA de una vía aplicado a los datos de formación de espuma de la formulación #2 (**Tabla 8**) reveló diferencias estadísticamente significativas entre los distintos tiempos de almacenamiento ($F = 7.528$, $p = 0.002$). Este resultado indica que el tiempo influye de manera significativa en la capacidad de espuma del shampoo, un atributo crucial para la aceptación sensorial por parte del consumidor, ya que la espuma se asocia comúnmente con limpieza. [32]

La prueba Post-hoc de Tukey (Tabla 25), muestra que la mayor diferencia significativa se da entre el tiempo 0 y en tiempo 3 (diferencia = -7.667 mL, $p < 0.001$), lo que indica una disminución en la formación de espuma. Sin embargo, a partir del tiempo 7 especialmente en el tiempo 14, se observó un incremento en la formación de espuma, alcanzando un valor máximo, antes de disminuir levemente hacia el tiempo 30. Estas oscilaciones podrían deberse a cambios en la estructura micelar de los tensoactivos con el paso del tiempo, posible proceso de hidrólisis o intercambios con otros componentes como conservantes o espesantes.

Tabla 9. Análisis de varianza test de limpieza formulación # 2.

Casos	Suma de Cuadrados	gl	Cuadrado Medio	F	p
Tratamiento	1.712	5	0.342	2.370	.102
Residuals	1.733	12	0.144		

Nota. Suma de Cuadrados Tipo III

El análisis estadístico del test de limpieza de la formulación #2 a lo largo del tiempo, mostró variaciones en los valores de limpieza en diferentes puntos temporales (0, 3, 7, 14, 21, 30). Para evaluar si estas diferencias eran estadísticamente significativas, se realizó un análisis de varianza de una vía, cuyos resultados se prestan en la (**Tabla 9**).

El ANOVA indicó que no existían diferencias estadísticas significativas entre los tiempos evaluados ($F = 2.370$, $p = 0.102$), ya que el valor p es superior al umbral de significancia ($\alpha = 0.05$). Este resultado sugiere que el desempeño del test de limpieza de la formulación #2 se mantuvo relativamente constante a lo largo del tiempo.

Asimismo, se aplicó la prueba Post-hoc de Tukey (**Tabla 26**) para explorar posibles diferencias entre pares específicos de tiempos. Ninguna de las comparaciones presentó un valor p ajustado (p Tukey) menor a 0.05, lo que refuerza la conclusión de que no existen diferencias significativas en la efectividad de test de limpieza entre los distintos momentos del estudio. Las diferencias de medidas entre tiempos oscilan entre 0.067 y 0.933, pero todas estas diferencias carecen de significancia estadística.

4.3 Formulación 3

Tabla 10. Análisis de varianza viscosidad formulación # 3.

Casos	Suma de Cuadrados	gl	Cuadrado Medio	F	p
Tratamiento	1.497×10^6	5	299,495	23.92	< .001
Residuals	150,253	12	12,521		

Nota. Suma de Cuadrados Tipo III

En la formulación #3 el análisis de varianza (ANOVA) reveló diferencias estadísticamente significativas en la viscosidad entre los diferentes tiempos de evaluación ($F(5,12) = 23.92, p < .001$) **Tabla 10**, lo que indica que al menos un grupo difiere de los demás. Los contrastes Post-hoc de Tukey (**Tabla 27**), mostraron que la viscosidad en el tiempo 0 fue significativamente mayor en comparación con todos los demás tiempos ($p < .05$), lo que sugiere una reducción inicial marcada en la viscosidad durante los primeros días del experimento. Esta disminución podría atribuirse a procesos de degradación o cambios estructurales en el material, como se ha observado en estudios previos sobre la evolución de propiedades reológicas en sistemas complejos. Por otro lado, las diferencias entre los tiempos posteriores (ej. tiempo 3 vs. tiempo 21) no fueron significativas en algunos casos ($p > .05$), lo que indica una posible estabilización de la viscosidad después del período inicial. Estos hallazgos son consistentes con la hipótesis de que ciertos materiales alcanzan un equilibrio reológico después de un tiempo crítico.

Tabla 11. Análisis de varianza pH formulación # 3.

Casos	Suma de Cuadrados	gl	Cuadrado Medio	F	p
Tratamiento	0.108	5	0.022	1.884	.171
Residuals	0.138	12	0.011		

Nota. Suma de Cuadrados Tipo III

El análisis de varianza (ANOVA) no mostró diferencias estadísticamente significativas en los valores de pH entre los diferentes tiempos de evaluación ($F(5,12) = 1.884, p = .171$) **tabla 11**, lo que sugiere que el pH se mantuvo estable a lo largo del experimento. Esta estabilidad podría indicar que el sistema estudiado posee una capacidad amortiguadora efectiva, resistiendo cambios significativos a pesar de posibles fluctuaciones ambientales o procesos internos. Los contrastes Post-hoc de Tukey (**Tabla 28**), confirmaron la ausencia de diferencias significativas entre los tiempos ($p > .05$ en todas las comparaciones), reforzando la homogeneidad del pH durante el período experimental. La baja desviación típica en la mayoría de los tiempos (ej., 0.023 en tiempo 3) respalda la precisión de las mediciones, mientras que valores ligeramente más altos (ej., 0.165 en tiempo 30) podrían atribuirse a heterogeneidad muestral o a factores externos no controlados.

Tabla 12. Análisis de varianza formación de espuma formulación # 3.

Casos	Suma de Cuadrados	gl	Cuadrado Medio	F	p
Tratamiento	249.33	5	49.867	20.87	< .001
Residuals	28.67	12	2.389		

Nota. Suma de Cuadrados Tipo III

El análisis de varianza (ANOVA) **Tabla 12**, reveló diferencias estadísticamente significativas en la formación de espuma entre los diferentes tiempos evaluados ($F(5,12) = 20.87, p < .001$), indicando variaciones temporales importantes en esta propiedad. Los análisis Post-hoc de Tukey (**Tabla 29**), mostraron que el tiempo 3 presentó valores significativamente menores (81.67) comparado con el tiempo 0 (88.00, $p = .003$) y especialmente con el tiempo 14 (94.33, $p < .001$), sugiriendo un patrón de disminución inicial seguido de una recuperación y posterior incremento máximo a los 14 días. Estos resultados podrían explicarse por procesos de maduración o reorganización estructural del sistema, donde inicialmente se produce una pérdida de capacidad espumante que luego se recupera y supera los valores iniciales. La estabilización observada después del día 14 (valores entre 89.33-89.67 en días 21 y 30) sin diferencias significativas entre ellos ($p > .05$) sugiere el establecimiento de un equilibrio en las propiedades espumantes del sistema. La baja variabilidad intra-grupo (desviaciones típicas entre 0.000-2.517) indica consistencia en las mediciones, mientras que las diferencias inter-grupos destacan la importancia del factor temporal en la evaluación de propiedades espumantes.

Tabla 13. Análisis de varianza test de limpieza formulación # 3.

Casos	Suma de Cuadrados	gl	Cuadrado Medio	F	p
Tratamiento	0.476	5	0.095	0.314	.895
Residuals	3.640	12	0.303		

Nota. Suma de Cuadrados Tipo III

El análisis estadístico (**Tabla 13**), reveló que no existen diferencias significativas en la eficacia de limpieza entre los diferentes tiempos evaluados ($p > .05$ en todas las comparaciones Post-hoc) **Tabla 30**, lo que indica una notable estabilidad en el desempeño del producto a lo largo del periodo de estudio. Las medias oscilaron entre 98.80 (Tiempo 21) y 99.27 (Tiempo 0), con desviaciones típicas mínimas (0.265-0.794), demostrando no solo consistencia temporal sino también alta reproducibilidad en los resultados. Esta estabilidad podría atribuirse a la formulación equilibrada del producto, que mantiene sus propiedades activas durante el almacenamiento. La ligera variación observada (ej., diferencia máxima de 0.467 entre Tiempo 0 y Tiempo 21) carece de significancia estadística y práctica, respaldando que el producto cumple con los estándares de calidad incluso después de 30 días., La eficacia de limpieza se mantuvo constante gracias a la protección de los tensioactivos contra la degradación. La ausencia de diferencias significativas refuerza la confiabilidad del producto para su uso en condiciones reales, donde la estabilidad temporal es un requisito crítico.

4.4 Análisis entre las tres formulaciones

El análisis estadístico permitió comparar la viscosidad entre las formulaciones. En la tabla 25, se observa que la formulación 1 presentó la mayor viscosidad (4522 cP), seguida por la formulación 2 (3653 cP), mientras que la formulación 3 mostró la menor viscosidad (2669 cP). Esta diferencia sugiere que la composición específica de los tensoactivos y aditivos en cada formulación influye significativamente en la consistencia final del producto, siendo la formulación 1 la más densa y la formulación 3 la más fluida.

Tabla 14. Análisis de varianza de viscosidad para las tres formulaciones.

Casos	Suma de Cuadrados	gl	Cuadrado Medio	F	p
Tratamiento	1.031×10^7	2	5.157×10^6	9.193	.002
Residuals	8.415×10^6	15	561,001		

Nota. Suma de Cuadrados Tipo III

El análisis de varianza de ANOVA, mostrado en la **Tabla 14**, evidencia diferencias estadísticamente significativas entre las tres formulaciones ($F = 9.13$; $p = 0.002$). este resultado indica que los cambios en los componentes de las formulaciones afectan de manera significativa la viscosidad del shampoo. Por tanto, no se puede asumir que todas las formulaciones tienen un comportamiento viscoso similar, lo que valida la necesidad de un análisis Post-hoc para identificar entre que formulaciones existen diferencias específicas.

La prueba Post- hoc Tukey (**Tabla 31**) reveló que hay diferencias significativas en la viscosidad entre la formulación 1 y 3 ($p = 0.004$) y entre la formulación 2 y la 3 ($p = 0.021$). sin embargo, no se encontraron diferencias significativas entre la formulación 1 y la 2 ($p = 0.144$). estos hallazgos sugieren que la formulación 3, que presenta menor viscosidad, difiere sustancialmente de las otras dos.

El análisis estadístico descriptivo (Tabla 28) revela que las tres formulaciones evaluadas presentan valores distintos. La formulación 2 mostró el pH más bajo (8.073), seguido por la formulación 3 (8.445) y la formulación 1 (8.479). a pesar de que todo de que todas se mantiene dentro de un rango aceptable.

Tabla 15. Análisis de varianza de pH para las tres formulaciones.

Casos	Suma de Cuadrados	gl	Cuadrado Medio	F	p
Tratamiento	0.610	2	0.305	36.15	< .001
Residuals	0.127	15	0.008		

Nota. Suma de Cuadrados Tipo III

El ANOVA de una vía o factor (**Tabla 15**) muestra que existen diferencias estadísticamente significativa en el pH entre las tres formulaciones. El estadístico F fue de 36.15 con un valor $p > 0.001$, lo cual indica que, al menos una de las formulaciones difiere significativamente de las otras en cuanto a su nivel de pH. Esto sugiere que las variaciones en la composición de los tensoactivos derivados del coco si influye directamente sobre el pH final del producto.

La prueba Post-hoc de Tukey (**Tabla 32**). Los resultados indican que entre la formulación 1 y la formulación 2, hay una diferencia significativa de 0.407 unidades de pH ($p < 0.001$), entre la formulación 3 y la formulación 2, también se presentó una diferencia significativa de 0.372. ($p < 0.001$). por lo contrario, la diferencia entre la formulación 1 y la 3 no fue significativa ($p = 0.796$). esto puede deberse a la composición específica de los tensoactivos o la interacción con otros ingredientes que pueden tener un efecto que puede regular el pH.

El análisis de formación de espuma durante el tiempo entre las formulaciones del shampoo (**Tabla 33**), muestra que la media de formación de espuma fue más alta en la formulación 2 (88.50), seguida por las formulación 3 (88.33) y finalmente la formulación 1(85.67). sin embargo, estas diferencias, aunque visible en las medias, no resultaron estadísticamente significativas según los análisis posteriores.

Tabla 16. Análisis de varianza de formación de espuma para las tres formulaciones.

Casos	Suma de Cuadrados	gl	Cuadrado Medio	F	p
Tratamiento	30.33	2	15.17	1.515	.252
Residuals	150.17	15	10.01		

Nota. Suma de Cuadrados Tipo III

El análisis de varianza ANOVA de un vía (**Tabla 16**) se aplicó para determinar si las diferencias observadas entre las medias eran estadísticamente significativas. El resultado del estadístico F fue 1.515 con un valor de $p = 0.252$, lo cual supera el umbral convencional de significancia ($p < 0.05$). esto indica que no existen diferencias estadísticamente significativas en la formación de espuma entre las tres formulaciones del shampoo.

Para completar este análisis, se realizó la prueba de Post-hoc de Tukey (**Tabla 34**), que permite evaluar comparaciones por pares entre las formulaciones. Ninguna de las comparaciones arrojó valores de p significativo. La diferencia de media más notables se presentó entre la formulación 1 y la formulación 2 (-2.833), sin embargo, su valor p (0.296) no permite concluir que esta diferencias sean significativas desde el punto de vista estadístico.

Al comparar las tres formulaciones del shampoo mediante el test de limpieza, los resultados descritos en la (**Tabla 35**) muestra que todas las formulaciones presentan valores muy cercanos entre sí. La formulación 2 reporta la media más alta (99.17), seguida por la formulación 1 (98.98) y la formulación 3 (99.00)

Tabla 17. Análisis de varianza de test de limpieza para las tres formulaciones.

Casos	Suma de Cuadrados	gl	Cuadrado Medio	F	p
Tratamiento	0.123	2	0.062	0.624	.549
Residuals	1.482	15	0.099		

Nota. Suma de Cuadrados Tipo III

Para establecer estas diferencias medias son estadísticamente significativas, se aplicó un análisis de varianza de un factor (**Tabla 17**). El resultado obtenido $F = 0.624$ y $p = 0.549$, indican que no

existen diferencias significativas entre las tres formulaciones en cuanto al desempeño de test de limpieza.

La prueba Post-hoc de Tukey (**Tabla 36**), la cual compara las diferencias de mediadas por pares. Ninguna de las comparaciones muestra significancia estadística ($p > 0.05$), lo que confirma que las diferencias entre las formulaciones son leves y no significativas.

Tabla 18. Análisis de varianza de la prueba centrifuga para las tres formulaciones.

ANOVA - Centrifuga

Casos	Suma de Cuadrados	gl	Cuadrado Medio	F	p
Tratamiento	6.722	2	3.361	1.000	.422
Residuals	20.167	6	3.361		

Nota. Suma de Cuadrados Tipo III

En el análisis de varianza (ANOVA) **Tabla 18**, para la prueba de centrifuga, se obtuvo un valor $p = 0.422$, superior al nivel de significancia convencional ($\alpha = 0.05$). esto indica que no existen diferencias estadísticamente significativas entre las formulaciones evaluadas en cuanto a su comportamiento frente a las separaciones de fases durante la centrifuga. El estadístico F (1.000) sugiere que la variabilidad entre los tratamientos es similar a la viabilidad entre cada grupo, por lo que los cambios en la composición de las formulaciones no influyeron de manera significativa en las estabilidad física media mediante esta técnica.

5 CONCLUSIONES

Las comparaciones entre las formulaciones demostraron que la composición específica influye significativamente sobre la viscosidad y el pH. La formulación 1 presentó la mayor viscosidad, mientras que la 3 fue la más fluida, lo cual se correlaciona con diferencia en los espesantes y proporciones de surfactantes. Así mismo, el pH de la formulación 2 fue significativamente menor que el de las otras dos, quizás por diferencias en los sistemas tensoactivos o en la concentración de ingredientes con efecto amortiguador.

Aunque la estabilidad del pH durante el estudio se observaron variaciones estadísticas significativas en algunas formulaciones, todas las muestras se mantuvieron dentro de un rango aceptable (6.0-9.0), lo que indica buena estabilidad en términos de acidez/alcalinidad.

El test de limpieza reveló que no existen diferencias estadísticamente significativas en la eficacia entre los distintos tiempos de almacenamiento, ni entre las tres formulaciones, lo que sugiere que el desempeño del producto como agente limpiador se mantiene y refuerza la hipótesis de la formulación de un shampoo libre de sulfatos a base de tensoactivos derivados del coco.

En términos globales, la formulación 2 mostró un mejor equilibrio entre los parámetros evaluados: buena estabilidad de viscosidad, pH adecuado, alta capacidad de espuma, eficacia de limpieza estable y ausencia de separación de fase, lo que la posiciona como una opción de reformulación para continuar con estudios adicionales para pruebas sensoriales con usuarios.

A partir de los resultados obtenidos se consideró que para futuras reformulación se complementen con evaluaciones sensoriales con paneles de consumidores para determinar la aceptación del producto en condiciones reales, también realizar pruebas microbiológicas que confirmen la seguridad del shampoo durante su vida útil.

6 AGRADECIMIENTOS

Agradezco profundamente a dios por darme la fortaleza y sabiduría para culminar esta etapa. A mi familia, por su amor incondicional y constante apoyo. A mis docentes y asesores, por compartir sus conocimientos y guiarme a lo largo de este proceso. A mis compañeros y amigos, por su compañía y palabras de aliento en los momentos más difíciles

7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1]. Paris, L. (2020, octubre 16). Shampoo Sin Sal, Descubrí Todos Sus Beneficios. L'Oréal
- [2]. Lochhead, RY (2017). Ciencias Físicas Básicas para la Formulación de. Ciencia y Tecnología Cosmética: Principios Teóricos y Aplicaciones ,39.
- [3]. Pacheco López, C. (2010). Estudio para la realización de preparados espumosos.
- [4]. Glucosido de Coco tensoactivo (DECYL GLUCOSIDE). (s/f). NATURCHEMICAL. Recuperado el 30 de marzo de 2025, de <https://naturchemical.online/products/glucosido-de-coco>
- [5]. Rosen, M. J., & Kunjappu, J. T. (2012). Surfactants and interfacial phenomena. John Wiley & Sons.
- [6]. Shampoo sin Sal: Beneficios y Desventajas. (s/f). NaturalHerbal. Recuperado el 14 de octubre de 2024, de https://tienda.naturalherbal.cl/shampoo-sin-sal-beneficios-y-desventajas?srlid=AfmBOoqtI8ZOXcPRrVaXqkK35r0Vg6kSkphMg8Ew71PIY6qqnq_n87jj
- [7]. Cervera, M. F., & Gómez, M. N. (2024). Desarrollo de champús sin sal para cabellos tratados y dañados. *Revista Cubana de Farmacia*, 56(3).
- [8]. Guzmán Marchant, R. A. (2012). Plan de negocios para una empresa de productos naturales para el cuidado personal.
- [9]. Faria, M. L., et al. (2011). Stability of xanthan gum in cosmetic formulations: Effect of preservatives and pH. *Journal of Applied Polymer Science*, 121(1), 348–355.
- [10]. Castillo-Arteaga, M. G. (2022). Agua, enlaces, propiedades, poder disolvente, contaminación. *Vida Científica Boletín Científico de la Escuela Preparatoria No. 4*, 10(20), 1-5.
- [11]. *CosIng - cosmetics - GROWTH - European commission*. (s/f). Europa.eu. Recuperado el 9 de agosto de 2025, de <https://ec.europa.eu/growth/tools-databases/cosing/details/33960>
- [12]. Singh., K. K. (2006). *Handbook of Pharmaceutical Excipients Fifth Edition* (P. J. S. A. S. C. O. Raymond C Rowe, Ed.). Pharmaceutical Press and American Pharmacists Association.
- [13]. Price., J. C. (2006). *Handbook of Pharmaceutical Excipients Fifth Edition* (PJSASCO. Raymond C Rowe, Ed.). Pharmaceutical Press and American Pharmacists Association.
- [14]. Rhein, L. (2007). Surfactant action on skin and hair: Cleansing and skin reactivity mechanisms. In *Handbook for cleaning/decontamination of surfaces* (pp. 305-369). Elsevier Science BV.
- [15]. *Proteína de Germen de Trigo*. (s/f). Haiku. Recuperado el 4 de abril de 2025, de <https://tiendahaiku.com/producto/proteina-de-germen-de-trigo/>
- [16]. Panahi, Y., Taghizadeh, M., Marzony, E. T., & Sahebkar, A. (2015). Rosemary oil vs minoxidil 2% for the treatment of androgenetic alopecia: a randomized comparative trial. *Skinmed*, 13(1), 15-21.
- [17]. Febles Fernández, C., Soto Febles, C., Saldaña Bernabeu, A., & García Triana, B. E. (2002). Funciones de la vitamina E: actualización. *Revista Cubana de Estomatología*, 39(1), 28-32.
- [18]. Owen., S. C. (2006). *Handbook of Pharmaceutical Excipients Fifth Edition* (PJSASCO. Raymond C Rowe, Ed.). Pharmaceutical Press and American Pharmacists Association.
- [19]. Cómo medir Viscosidad. (2022, julio 11). *Industrial Physics*. <https://industrialphysics.com/es/base-de-conocimientos/articulos/como-medir-viscosidad/>
- [20]. Galindo, I. S., & MOSQUEIRA, L. (2012). *Cosmetología para estética y belleza*. McGraw Hill.

- [21]. González, A., Barrios, F., Rodríguez, A., & Salager, J. L. (2008). Espumabilidad y estabilidad de la espuma generada por el licor negro tratado con el reactivo de fenton. *Ciencia e Ingeniería*, 30(1), 41-46.
- [22]. Madrigal, P. R., & Herrera, J. D. C. (2019). Tecnología De Elaboración De Jabón Líquido (Shampoo) a Nivel Laboratorio. Humanidades, Tecnol. y ciencia, del Inst. Politécnico Nac, 1-6.
- [23]. (S/f). Gov.co. Recuperado el 10 de agosto de 2025, de https://www.invima.gov.co/sites/default/files/atencion-al-ciudadano/responsabilidades-sanitarias/onudi_gu%C3%ADa_de_estabilidad.pdf
- [24]. (S/f). Gov.co. Recuperado el 27 de febrero de 2025, de https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/Resoluci%C3%B3n%20No.%203157%20de%202018.pdf
- [25]. Ortega, C. (2019, septiembre 7). "Anova: Qué es y cómo hacer un análisis de la varianza." ("Anova: Qué es y cómo hacer un análisis de la varianza - QuestionPro") QuestionPro. <https://www.questionpro.com/blog/es/anova/>
- [26]. Rosen, M. J., & Kunjappu, J. T. (2012). *Surfactants and Interfacial Phenomena* (4th ed.). Wiley.
- [27]. Lachman, L., Lieberman, H. A., & Kanig, J. L. (2001). *The Theory and Practice of Industrial Pharmacy* (3rd ed.). Lea & Febiger.
- [28]. Tadros, T. F. (2011). *Colloids in Cosmetics and Personal Care* (Vol. 3). Wiley-VCH.
- [29] García, M. A., Pérez, R., & López, L. (2014). Propiedades fisicoquímicas y estabilidad de formulaciones cosméticas con tensoactivos naturales. *Revista Colombiana de Ciencias Químico-Farmacéuticas*, 43(2), 125–133.
- [30] Desai, J. D., & Banat, I. M. (2008). Microbial production of surfactants and their commercial potential. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 61(1), 47–64.
- [31] (Cruz Dimas, S. D. (2024). Aplicaciones de la reología en el diseño de productos cosméticos).
- [32] Barel, A. O., Paye, M., & Maibach, H. I. (Eds.). (2014). *Handbook of cosmetic science and technology*. CRC press.
- [33] Rosen, M. J., & Kunjappu, J. T. (2012). *Surfactants and interfacial phenomena*. John Wiley & Sons.

ANEXOS

Tablas complementarias para el análisis y discusión de resultados.

Tabla 19. Comparaciones Post-hoc Tukey para comparar las viscosidades de la formulación # 1 entre cada par de tiempo.

		Diferencia de Medias	ET	gl	t	PTukey
Tiempo 0	Tiempo 3	1,332.00	131.8	12	10.110	< .001
	Tiempo 7	1,507.67	131.8	12	11.443	< .001
	Tiempo 14	1,993.33	131.8	12	15.129	< .001
	Tiempo 21	1,431.33	131.8	12	10.864	< .001
Tiempo 3	Tiempo 7	1,606.67	131.8	12	12.195	< .001
	Tiempo 14	175.67	131.8	12	1.333	.763
	Tiempo 21	661.33	131.8	12	5.020	.003
	Tiempo 30	99.33	131.8	12	0.754	.970
Tiempo 7	Tiempo 14	274.67	131.8	12	2.085	.355
	Tiempo 21	485.67	131.8	12	3.686	.029
	Tiempo 30	-76.33	131.8	12	-0.579	.991
	Tiempo 14	99.00	131.8	12	0.751	.971
Tiempo 14	Tiempo 21	-562.00	131.8	12	-4.266	.011
	Tiempo 30	-386.67	131.8	12	-2.935	.101
	Tiempo 21	175.33	131.8	12	1.331	.764

Nota. Valor P ajustado para comparar una familia de estimaciones de 6.

Tabla 20. Comparaciones Post-hoc Tukey para comparar pH de la formulación # 1 entre cada par de tiempo.

		Diferencia de Medias	ET	gl	t	PTukey
Tiempo 0	Tiempo 3	0.170	0.043	12	3.986	.017
	Tiempo 7	0.027	0.043	12	0.625	.987
	Tiempo 14	0.023	0.043	12	0.547	.993
	Tiempo 21	-0.010	0.043	12	-0.234	.000
Tiempo 3	Tiempo 7	-0.047	0.043	12	-1.094	.875
	Tiempo 14	-0.143	0.043	12	-3.361	.050
	Tiempo 21	-0.147	0.043	12	-3.439	.044
	Tiempo 30	-0.180	0.043	12	-4.221	.012
Tiempo 7	Tiempo 14	-0.217	0.043	12	-5.081	.003
	Tiempo 21	-0.003	0.043	12	-0.078	.000
	Tiempo 30	-0.037	0.043	12	-0.860	.949
	Tiempo 14	-0.073	0.043	12	-1.720	.545
Tiempo 14	Tiempo 21	-0.033	0.043	12	-0.782	.966
	Tiempo 30	-0.070	0.043	12	-1.641	.590
	Tiempo 21	-0.037	0.043	12	-0.860	.949

Nota. Valor P ajustado para comparar una familia de estimaciones de 6.

Tabla 21. Comparaciones Post-hoc Tukey para comparar formación de espuma de la formulación # 1 entre cada par de tiempo.

		Diferencia de Medias	ET	gl	t	PTukey
Tiempo 0	Tiempo 3	0.667	1.805	12	0.369	.999
	Tiempo 7	3.667	1.805	12	2.031	.380
	Tiempo 14	3.333	1.805	12	1.846	.475
	Tiempo 21	4.333	1.805	12	2.400	.230
	Tiempo 30	1.599×10^{-14}	1.805	12	8.856×10^{-15}	1.000
Tiempo 3	Tiempo 7	3.000	1.805	12	1.662	.578
	Tiempo 14	2.667	1.805	12	1.477	.684
	Tiempo 21	3.667	1.805	12	2.031	.380
	Tiempo 30	-0.667	1.805	12	-0.369	.999
Tiempo 7	Tiempo 14	-0.333	1.805	12	-0.185	.000
	Tiempo 21	0.667	1.805	12	0.369	.999
	Tiempo 30	-3.667	1.805	12	-2.031	.380
Tiempo 14	Tiempo 21	1.000	1.805	12	0.554	.992
	Tiempo 30	-3.333	1.805	12	-1.846	.475
	Tiempo 21	-4.333	1.805	12	-2.400	.230

Nota. Valor P ajustado para comparar una familia de estimaciones de 6.

Tabla 22. Comparaciones Post-hoc Tukey para comparar test de limpieza de la formulación # 1 entre cada par de tiempo.

		Diferencia de Medias	ET	gl	t	PTukey
Tiempo 0	Tiempo 3	1.600	1.212	12	1.320	.769
	Tiempo 7	-0.433	1.212	12	-0.358	.999
	Tiempo 14	-0.067	1.212	12	-0.055	.000
	Tiempo 21	-0.033	1.212	12	-0.028	.000
	Tiempo 30	-0.200	1.212	12	-0.165	.000
Tiempo 3	Tiempo 7	-2.033	1.212	12	-1.678	.569
	Tiempo 14	-1.667	1.212	12	-1.375	.740
	Tiempo 21	-1.633	1.212	12	-1.348	.755
	Tiempo 30	-1.800	1.212	12	-1.485	.679
Tiempo 7	Tiempo 14	0.367	1.212	12	0.303	.000
	Tiempo 21	0.400	1.212	12	0.330	.999
	Tiempo 30	0.233	1.212	12	0.193	.000
Tiempo 14	Tiempo 21	0.033	1.212	12	0.028	.000
	Tiempo 30	-0.133	1.212	12	-0.110	.000
Tiempo 21	Tiempo 30	-0.167	1.212	12	-0.138	.000

Nota. Valor P ajustado para comparar una familia de estimaciones de 6.

Tabla 23. Comparaciones Post-hoc Tukey para comparar viscosidad de la formulación # 2 entre cada par de tiempo.

		Diferencia de Medias	ET	gl	t	PTukey
Tiempo 0	Tiempo 3	2,609.000	81.72	12	31.927	< .001
	Tiempo 7	2,565.000	81.72	12	31.388	< .001
	Tiempo 14	2,640.333	81.72	12	32.310	< .001
	Tiempo 21	2,644.000	81.72	12	32.355	< .001
	Tiempo 30	2,467.667	81.72	12	30.197	< .001
Tiempo 3	Tiempo 7	-44.000	81.72	12	-0.538	.993
	Tiempo 14	31.333	81.72	12	0.383	.999
	Tiempo 21	35.000	81.72	12	0.428	.998
	Tiempo 30	-141.333	81.72	12	-1.730	.539
Tiempo 7	Tiempo 14	75.333	81.72	12	0.922	.933
	Tiempo 21	79.000	81.72	12	0.967	.920
	Tiempo 30	-97.333	81.72	12	-1.191	.833
Tiempo 14	Tiempo 21	3.667	81.72	12	0.045	.000
	Tiempo 30	-172.667	81.72	12	-2.113	.342
Tiempo 21	Tiempo 30	-176.333	81.72	12	-2.158	.323

Nota. Valor P ajustado para comparar una familia de estimaciones de 6.

Tabla 24. Comparaciones Post-hoc Tukey para comparar pH de la formulación # 2 entre cada par de tiempo.

		Diferencia de Medias	ET	gl	t	PTukey
Tiempo 0	Tiempo 3	0.153	0.044	12	3.525	.038
	Tiempo 7	0.227	0.044	12	5.210	.002
	Tiempo 14	0.230	0.044	12	5.287	.002
	Tiempo 21	0.303	0.044	12	6.973	< .001
	Tiempo 30	0.290	0.044	12	6.666	< .001
Tiempo 3	Tiempo 7	0.073	0.044	12	1.686	.564
	Tiempo 14	0.077	0.044	12	1.762	.521
	Tiempo 21	0.150	0.044	12	3.448	.043
	Tiempo 30	0.137	0.044	12	3.141	.072
Tiempo 7	Tiempo 14	0.003	0.044	12	0.077	.000
	Tiempo 21	0.077	0.044	12	1.762	.521
	Tiempo 30	0.063	0.044	12	1.456	.696
Tiempo 14	Tiempo 21	0.073	0.044	12	1.686	.564
	Tiempo 30	0.060	0.044	12	1.379	.738
Tiempo 21	Tiempo 30	-0.013	0.044	12	-0.306	.000

Nota. Valor P ajustado para comparar una familia de estimaciones de 6.

Tabla 25. Comparaciones Post-hoc Tukey para comparar formación de espuma de la formulación # 2 entre cada par de tiempo.

		Diferencia de Medias	ET	gl	t	PTukey
Tiempo 0	Tiempo 3	-7.667	1.540	12	-4.980	.003
	Tiempo 7	-3.333	1.540	12	-2.165	.320
	Tiempo 14	-1.000	1.540	12	-0.650	.984
	Tiempo 21	-6.333	1.540	12	-4.114	.014
	Tiempo 30	-4.667	1.540	12	-3.031	.086
Tiempo 3	Tiempo 7	4.333	1.540	12	2.815	.122
	Tiempo 14	6.667	1.540	12	4.330	.010
	Tiempo 21	1.333	1.540	12	0.866	.948
	Tiempo 30	3.000	1.540	12	1.949	.421
Tiempo 7	Tiempo 14	2.333	1.540	12	1.516	.662
	Tiempo 21	-3.000	1.540	12	-1.949	.421
	Tiempo 30	-1.333	1.540	12	-0.866	.948
Tiempo 14	Tiempo 21	-5.333	1.540	12	-3.464	.042
	Tiempo 30	-3.667	1.540	12	-2.382	.236
Tiempo 21	Tiempo 30	1.667	1.540	12	1.083	.879

Nota. Valor P ajustado para comparar una familia de estimaciones de 6.

Tabla 26. Comparaciones Post-hoc Tukey para comparar test de limpieza de la formulación # 2 entre cada par de tiempo.

		Diferencia de Medias	ET	gl	t	PTukey
Tiempo 0	Tiempo 3	0.100	0.310	12	0.322	.999
	Tiempo 7	0.400	0.310	12	1.289	.786
	Tiempo 14	0.567	0.310	12	1.826	.486
	Tiempo 21	0.500	0.310	12	1.611	.607
	Tiempo 30	0.933	0.310	12	3.008	.089
Tiempo 3	Tiempo 7	0.300	0.310	12	0.967	.920
	Tiempo 14	0.467	0.310	12	1.504	.669
	Tiempo 21	0.400	0.310	12	1.289	.786
	Tiempo 30	0.833	0.310	12	2.685	.150
Tiempo 7	Tiempo 14	0.167	0.310	12	0.537	.993
	Tiempo 21	0.100	0.310	12	0.322	.999
	Tiempo 30	0.533	0.310	12	1.719	.546
Tiempo 14	Tiempo 21	-0.067	0.310	12	-0.215	.000
	Tiempo 30	0.367	0.310	12	1.182	.837
Tiempo 21	Tiempo 30	0.433	0.310	12	1.396	.729

Nota. Valor P ajustado para comparar una familia de estimaciones de 6.

Tabla 27. Comparaciones Post-hoc Tukey para comparar viscosidad de la formulación # 3 entre cada par de tiempo.

		Diferencia de Medias	ET	gl	t	PTukey
Tiempo 0	Tiempo 3	917.000	91.36	12	10.037	< .001
	Tiempo 7	464.333	91.36	12	5.082	.003
	Tiempo 14	497.333	91.36	12	5.443	.002
	Tiempo 21	772.333	91.36	12	8.453	< .001
	Tiempo 30	457.667	91.36	12	5.009	.003
Tiempo 3	Tiempo 7	-452.667	91.36	12	-4.955	.003
	Tiempo 14	-419.667	91.36	12	-4.593	.006
	Tiempo 21	-144.667	91.36	12	-1.583	.623
	Tiempo 30	-459.333	91.36	12	-5.028	.003
Tiempo 7	Tiempo 14	33.000	91.36	12	0.361	.999
	Tiempo 21	308.000	91.36	12	3.371	.049
	Tiempo 30	-6.667	91.36	12	-0.073	.000
Tiempo 14	Tiempo 21	275.000	91.36	12	3.010	.089
	Tiempo 30	-39.667	91.36	12	-0.434	.998
Tiempo 21	Tiempo 30	-314.667	91.36	12	-3.444	.043

Nota. Valor P ajustado para comparar una familia de estimaciones de 6.

Tabla 28. Comparaciones Post-hoc Tukey para comparar pH de la formulación # 3 entre cada par de tiempo.

		Diferencia de Medias	ET	gl	t	PTukey
Tiempo 0	Tiempo 3	0.140	0.087	12	1.600	.613
	Tiempo 7	-0.060	0.087	12	-0.686	.980
	Tiempo 14	0.027	0.087	12	0.305	.000
	Tiempo 21	-0.020	0.087	12	-0.229	.000
Tiempo 3	Tiempo 30	0.143	0.087	12	1.639	.591
	Tiempo 7	-0.200	0.087	12	-2.286	.271
	Tiempo 14	-0.113	0.087	12	-1.296	.782
	Tiempo 21	-0.160	0.087	12	-1.829	.484
Tiempo 7	Tiempo 30	0.003	0.087	12	0.038	.000
	Tiempo 14	0.087	0.087	12	0.991	.912
	Tiempo 21	0.040	0.087	12	0.457	.997
	Tiempo 30	0.203	0.087	12	2.324	.256
Tiempo 14	Tiempo 21	-0.047	0.087	12	-0.533	.994
	Tiempo 30	0.117	0.087	12	1.334	.762
Tiempo 21	Tiempo 30	0.163	0.087	12	1.867	.464

Nota. Valor P ajustado para comparar una familia de estimaciones de 6.

Tabla 29. Comparaciones Post-hoc Tukey para comparar formación de espuma de la formulación # 3 entre cada par de tiempo.

		Diferencia de Medias	ET	gl	t	PTukey
Tiempo 0	Tiempo 3	6.333	1.262	12	5.019	.003
	Tiempo 7	-1.000	1.262	12	-0.792	.964
	Tiempo 14	-6.333	1.262	12	-5.019	.003
	Tiempo 21	-1.667	1.262	12	-1.321	.769
	Tiempo 30	-1.333	1.262	12	-1.057	.889
Tiempo 3	Tiempo 7	-7.333	1.262	12	-5.811	< .001
	Tiempo 14	-12.667	1.262	12	-10.037	< .001
	Tiempo 21	-8.000	1.262	12	-6.339	< .001
	Tiempo 30	-7.667	1.262	12	-6.075	< .001
Tiempo 7	Tiempo 14	-5.333	1.262	12	-4.226	.012
	Tiempo 21	-0.667	1.262	12	-0.528	.994
	Tiempo 30	-0.333	1.262	12	-0.264	.000
Tiempo 14	Tiempo 21	4.667	1.262	12	3.698	.028
	Tiempo 30	5.000	1.262	12	3.962	.018
Tiempo 21	Tiempo 30	0.333	1.262	12	0.264	.000

Nota. Valor P ajustado para comparar una familia de estimaciones de 6.

Tabla 30. Comparaciones Post-hoc Tukey para comparar test de limpieza de la formulación # 3 entre cada par de tiempo.

		Diferencia de Medias	ET	gl	t	PTukey
Tiempo 0	Tiempo 3	0.233	0.450	12	0.519	.994
	Tiempo 7	0.300	0.450	12	0.667	.982
	Tiempo 14	0.367	0.450	12	0.815	.959
	Tiempo 21	0.467	0.450	12	1.038	.896
	Tiempo 30	0.067	0.450	12	0.148	.000
Tiempo 3	Tiempo 7	0.067	0.450	12	0.148	.000
	Tiempo 14	0.133	0.450	12	0.296	.000
	Tiempo 21	0.233	0.450	12	0.519	.994
	Tiempo 30	-0.167	0.450	12	-0.371	.999
Tiempo 7	Tiempo 14	0.067	0.450	12	0.148	.000
	Tiempo 21	0.167	0.450	12	0.371	.999
	Tiempo 30	-0.233	0.450	12	-0.519	.994
Tiempo 14	Tiempo 21	0.100	0.450	12	0.222	.000
	Tiempo 30	-0.300	0.450	12	-0.667	.982
Tiempo 21	Tiempo 30	-0.400	0.450	12	-0.889	.942

Nota. Valor P ajustado para comparar una familia de estimaciones de 6.

Tabla 31. Comparaciones Post-hoc Tukey para comparar la viscosidad entre las tres formulaciones.

		Diferencia de Medias	ET	gl	t	PTukey
formulacion 1	formulacion 2	869.0	432.4	15	2.010	.144
	formulacion 3	1,853.0	432.4	15	4.285	.002
formulacion 2	formulacion 3	984.0	432.4	15	2.275	.091

Nota. Valor P ajustado para comparar una familia de estimaciones de 3.

Tabla 32. Comparaciones Post-hoc Tukey para comparar el pH entre las tres formulaciones

		Diferencia de Medias	ET	gl	t	PTukey
Formulacion 1	Formulacion 2	0.407	0.053	15	7.667	< .001
	Formulacion 3	0.034	0.053	15	0.649	.796
Formulacion 2	Formulacion 3	-0.372	0.053	15	-7.018	< .001

Nota. Valor P ajustado para comparar una familia de estimaciones de 3.

Tabla 33. Análisis estadístico descriptivo de formación de espuma para las tres formulaciones del shampoo durante el tiempo

	Formación de espuma		
	formulacion 1	formulacion 2	formulacion 3
Válido	6	6	6
Ausente	0	0	0
Media	85.67	88.50	88.33
Desviación típica	2.251	2.739	4.179
Mínimo	83.00	85.00	81.00
Máximo	88.00	92.00	94.00

Tabla 34. Comparaciones Post-hoc Tukey para comparar formación de espuma entre las tres formulaciones.

		Diferencia de Medias	ET	gl	t	PTukey
formulacion 1	formulacion 2	-2.833	1.827	15	-1.551	.296
	formulacion 3	-2.667	1.827	15	-1.460	.337
formulacion 2	formulacion 3	0.167	1.827	15	0.091	.995

Nota. Valor P ajustado para comparar una familia de estimaciones de 3.

Tabla 35. Análisis estadístico descriptivo de test de limpieza para las tres formulaciones del shampoo durante el tiempo

	Test de limpieza		
	formulacion 1	formulacion 2	formulacion 3
Válido	6	6	6
Ausente	0	0	0
Media	98.98	99.17	99.00
Desviación típica	0.371	0.361	0.167
Mínimo	98.30	98.60	98.80
Máximo	99.30	99.60	99.20

Tabla 36. Comparaciones Post-hoc Tukey para comparar test de limpieza entre las tres formulaciones.

		Diferencia de Medias	ET	gl	t	PTukey
formulacion 1	formulacion 2	-0.183	0.181	15	-1.010	.582
	formulacion 3	-0.017	0.181	15	-0.092	.995
formulacion 2	formulacion 3	0.167	0.181	15	0.919	.637

Nota. Valor P ajustado para comparar una familia de estimaciones de 3.