

Saponins from *Chenopodium quinoa* Willd. as natural surfactants for cleaners from used cooking oil: physical extraction, afrosymmetric quantification and evaluation

Andrea Fernanda Zorrilla-Mendoza¹ ; Gerson José Márquez² 

^{1,2}Universidad Tecnológica del Perú, Perú, U19207264@utp.edu.pe, gmarquez@utp.edu.pe

Abstract– This study evaluated the use of saponins from *Chenopodium quinoa* Willd. to formulate natural cleaners from used cooking oil (UCO). The objective was to extract saponins from three quinoa varieties (Real, Sajama Blanca, and Blanca de Juli), quantify them using the standard afrosymmetric method, and evaluate the stability and pH of the cleaners made with UCO. The saponins were obtained by physical extraction (scarification with 600-grit sandpaper), achieving yields of 9.2–11.8 mg of extract/g of quinoa. Saponin quantification was performed using the afrosymmetric method, estimating contents of 2.4852% for Blanca de Juli, 0.0953% for Real, and 0.0060% for Sajama Blanca, which allowed for the selection of Real and Blanca de Juli for formulation. The UCO was purified by washing with water, decantation, filtration with cotton/activated carbon, and deodorization with dried mandarin peels. Formulations with and without oil were prepared, and pH and stability were evaluated. The cleaners showed no phase separation after two weeks, exhibited good consistency, and the pH ranged from 4.36 to 5.92, amenable to adjustment with a mild buffer. Overall, the results confirm the technical feasibility of using quinoa saponins as natural surfactants to valorize ACU in cleaning formulations.

Keywords– Saponins, *Chenopodium quinoa* Willd., Natural surfactants, Used cooking oil, Biodegradable cleaners.

Saponinas de *Chenopodium quinoa* Willd. como tensioactivos naturales para limpiadores a partir de aceite de cocina usado: extracción física, cuantificación afrosimétrica y evaluación

Andrea Fernanda Zorrilla-Mendoza¹ ; Gerson José Márquez² 

^{1,2}Universidad Tecnológica del Perú, Perú, U19207264@utp.edu.pe, gmarquez@utp.edu.pe

Resumen– Este trabajo evaluó el aprovechamiento de saponinas de *Chenopodium quinoa* Willd. para formular limpiadores naturales a partir de aceite de cocina usado (ACU). El objetivo fue extraer saponinas de tres variedades de quinua (Real, Sajama Blanca y Blanca de Juli), cuantificarlas mediante el método afrosimétrico estándar y evaluar la estabilidad y pH de los limpiadores elaborados con ACU. Las saponinas se obtuvieron por extracción física (escarificado con lija grano 600), alcanzando rendimientos de 9.2–11.8 mg de extracto/g de quinua. Se realizó la cuantificación de las saponinas por el método afrosimétrico, estimándose contenidos de 2.4852 % para Blanca de Juli, 0.0953 % para Real y 0.0060 % para Sajama Blanca, lo que permitió seleccionar la Real y la Blanca de Juli para formulación. El ACU se purificó por lavado con agua, decantación, filtración con algodón/carbón activado y desodorización con cáscaras secas de mandarina. Se prepararon formulaciones con y sin aceite y se evaluaron pH y estabilidad. Los limpiadores no presentaron separación de fases tras dos semanas, mostraron buena consistencia; el pH se ubicó entre 4.36 y 5.92, susceptible de ajuste con un regulador suave. En conjunto, los resultados confirman la viabilidad técnica de usar saponinas de quinua como surfactantes naturales para valorizar ACU en formulaciones limpiadoras.

Palabras clave– Saponinas, *Chenopodium quinoa* Willd., Tensioactivos naturales, Aceite de cocina usado, Limpiadores biodegradables.

I. INTRODUCCIÓN

El aceite de cocina usado (ACU) constituye un residuo doméstico y comercial de alta generación que, cuando es eliminado de forma inadecuada (p. ej., vertido en lavabos o desagües), contribuye al deterioro de tuberías y al incremento de la carga contaminante en cuerpos de agua, con impactos sobre la calidad ambiental y los ecosistemas acuáticos. Frente a este problema, se ha promovido la valorización del ACU mediante rutas de aprovechamiento, entre ellas la fabricación de jabones como alternativa de gestión y reducción de residuos [1]–[3]. Sin embargo, aunque esta opción es ambientalmente atractiva, su implementación a escala artesanal suele enfrentarse a barreras técnicas y de seguridad asociadas al uso de reactivos cáusticos.

La elaboración convencional de jabones a partir de grasas y aceites se basa en la reacción de saponificación: la hidrólisis alcalina de ésteres que produce glicerina y sales de ácidos grasos (jabones), reacción esencial para conferir capacidad detergente por formación de micelas y reducción de la tensión superficial. Para ello se emplean bases fuertes como hidróxido

de sodio (NaOH) o hidróxido de potasio (KOH), y se requiere controlar parámetros como el índice de saponificación para dosificar el álcali en función de la composición del aceite. No obstante, tanto NaOH como KOH son sustancias altamente corrosivas; su contacto puede provocar lesiones graves en piel y ojos, y su manejo exige equipos de protección personal y protocolos estrictos de seguridad [4]. Esta problemática es especialmente relevante en iniciativas de reaprovechamiento del ACU basadas en producción artesanal, donde la reducción de riesgos químicos se vuelve un criterio determinante.

En este contexto, existe un interés creciente por sustituir o complementar tensioactivos y agentes de limpieza de origen sintético con alternativas vegetales biodegradables. Entre ellas destacan las saponinas, un grupo amplio de glucósidos presentes en numerosas especies vegetales, reconocidos por su capacidad de formar espuma estable y actuar como surfactantes naturales [5], [6]. Además de su actividad superficial, se han reportado múltiples propiedades químicas y biológicas (p. ej., actividades antimicrobianas, antiinflamatorias o hemolíticas) que han impulsado su estudio en aplicaciones alimentarias, cosméticas y farmacéuticas [5], [7], [8]. Desde el punto de vista fisicoquímico, la capacidad de las saponinas para reducir la tensión superficial del agua y estabilizar espuma durante la agitación sustenta su potencial como agentes limpiadores en formulaciones domésticas [8], [9]. Incluso, se ha explorado su desempeño como surfactantes en procesos de recuperación mejorada de hidrocarburos, evidenciando su funcionalidad interfacial [10]. Estas características posicionan a las saponinas como candidatas para desarrollar limpiadores naturales, particularmente cuando se busca disminuir la dependencia de reactivos peligrosos en procesos artesanales.

La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) es una planta de origen sudamericano ampliamente reconocida por su valor nutricional y su capacidad de adaptación, pero también por contener saponinas triterpénicas concentradas principalmente en la capa externa de la semilla (episperma/pericarpio), asociadas al sabor amargo [7], [11], [12]. Se ha documentado una diversidad considerable de saponinas en esta especie, derivadas de sapogeninas como hederagenina y ácidos triterpénicos (p. ej., oleanólico), lo cual explica la variabilidad entre genotipos y variedades comerciales [12], [13]. En términos prácticos, el contenido de saponinas permite clasificar quinuas como “dulces” o “amargas”, y su remoción

suele ser necesaria para el consumo, generando residuos ricos en saponinas con potencial de valorización [7], [14], [15]. Esta condición convierte a la quinua en una fuente accesible de saponinas para aplicaciones no alimentarias, incluyendo el desarrollo de formulaciones de limpieza.

La obtención de saponinas puede realizarse mediante múltiples enfoques. Se han reportado técnicas asistidas (p. ej., ultrasonido) capaces de mejorar la extracción y la bioaccesibilidad de saponinas en matrices vegetales, aunque suelen requerir equipamiento especializado y condiciones controladas [16], [17]. En paralelo, existen estrategias más simples orientadas a reducir complejidad operativa. Particularmente, la extracción física por abrasión (escarificación) de la cubierta externa ha mostrado rendimientos relevantes de recuperación, dependientes de la variedad evaluada [14], [18]. Este tipo de extracción resulta atractiva para esquemas de aprovechamiento local por su bajo requerimiento tecnológico, alineándose con enfoques de sostenibilidad y seguridad operativa en entornos artesanales. En la presente investigación, se emplea la extracción física mediante abrasión controlada como ruta de obtención de saponinas a partir de tres variedades comerciales de quinua.

Tras la extracción, la cuantificación de saponinas es un paso crítico para estandarizar formulaciones y comparar materias primas. Si bien existen métodos instrumentales robustos (p. ej., HPLC o espectrometría de masas), su aplicación puede ser restrictiva por costos, condiciones analíticas y disponibilidad de estándares específicos [19]. Por ello, se han utilizado metodologías alternativas de menor complejidad, entre las cuales destaca el método afrosimétrico, basado en la relación entre concentración de saponinas y altura/estabilidad de espuma generada bajo agitación estandarizada [15]. Este método ha sido empleado para estimar umbrales sensoriales asociados a amargor y para comparar contenidos de saponinas entre variedades, con ajustes mediante curvas de calibración [14], [15]. Adicionalmente, se reconoce que la comparación entre estudios puede ser compleja por la ausencia de un método oficial único y por la influencia del procedimiento de extracción y del genotipo [18], [20]. En este trabajo, se adopta el enfoque afrosimétrico como estrategia de cuantificación accesible y reproducible para apoyar la formulación de limpiadores.

A partir de lo anterior, se identifica una oportunidad de investigación: aunque la literatura describe la elaboración de jabones desde ACU y la relevancia de la saponificación con hidróxidos [1], también evidencia riesgos inherentes al manejo de bases fuertes [4]; simultáneamente, se reporta el potencial surfactante de saponinas vegetales y su obtención desde quinua [5]–[7], [12]. Sin embargo, persiste la necesidad de evaluar, bajo condiciones controladas, la viabilidad técnica de emplear saponinas de *Chenopodium quinoa* Wild. como agentes limpiadores naturales en formulaciones basadas en ACU, priorizando rutas de extracción y cuantificación simples y seguras, y enfocándose en indicadores funcionales del

producto final (p. ej., formación/estabilidad de espuma y propiedades fisicoquímicas relevantes para limpieza).

En consecuencia, el objetivo general de esta investigación es extraer saponinas de tres variedades de quinua (Blanca de Juli, Sajama y Real) mediante un método físico de abrasión, cuantificarlas por el método afrosimétrico y evaluar su uso en la elaboración de limpiadores naturales formulados a partir de aceite de cocina usado. De manera general, el estudio comprende: (i) el acondicionamiento del ACU mediante etapas de purificación reportadas para este tipo de matriz; (ii) la obtención de fracciones ricas en saponinas por extracción física; (iii) la cuantificación afrosimétrica para estandarizar el contenido activo; y (iv) la elaboración y evaluación comparativa de formulaciones limpiadoras basadas en las saponinas obtenidas. Con ello, se busca aportar evidencia experimental sobre el aprovechamiento sostenible de saponinas de quinua como alternativa natural para el desarrollo de limpiadores a partir de un residuo lipídico de alta generación, reduciendo riesgos asociados a rutas artesanales tradicionales y fortaleciendo estrategias de valorización de residuos.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Materiales, Reactivos y Equipos

Se emplearon tres variedades comerciales de *Chenopodium quinoa* Willd.: Real, Sajama Blanca y Blanca de Juli. Para la extracción física se utilizó lija grano 600 y tamiz N° 50.

Para la cuantificación se empleó un estándar de saponinas (98 % de pureza) y tubos Falcon de 15 mL, siguiendo el enfoque afrosimétrico descrito por Koziol [15].

Para la purificación del aceite y elaboración de limpiadores se usaron agua destilada, carbón activado granulado, algodón, y cáscaras secas de mandarina, además de aceite esencial de eucalipto.

El pesado de insumos se realizó con una balanza analítica Mettler Toledo ME204 (± 0.1 mg), y el pH se midió con un pHmetro OHAUS Starter 3100M (± 0.01 pH).

B. Extracción Física de Saponinas

Para cada variedad de quinua se pesaron 100 g y se efectuó la extracción por escarificado manual con lija, durante 15 min. El material desprendido (polvillo rico en saponinas) se tamizó con malla N° 50, se recolectó y pesó para estimar el rendimiento de extracción (g de residuo obtenido / g de quinua).

C. Cuantificación por Método Afrosimétrico

La cuantificación se realizó mediante el método afrosimétrico estándar basado en Koziol [15]. Se preparó una curva de calibración con saponina estándar: se pesaron 1.1, 2.1, 3.0, 4.0 y 4.8 (± 0.1) mg y se añadieron a tubos Falcon de 15 mL con 5.0 (± 0.1) mL de agua destilada; los tubos se taparon y se agitaron vigorosamente por 30 s. La altura de espuma se midió con regla a los 30 s (T0) y 15 min (T1). El ciclo agitación–medición se repitió dos veces por

concentración, y con los valores de T1 se ajustó una regresión lineal del tipo $Y = aX + b$, donde $X = \text{mg de saponina en 5 mL}$ y $Y = \text{altura de espuma (mm)}$.

Para las saponinas extraídas de quinua, el mismo procedimiento se aplicó usando ~100.5 a 103.5 mg del extracto en 5 mL de agua; con cada variedad, el ensayo se realizó 3 veces.

La concentración equivalente de saponinas en la solución (X) se estimó sustituyendo la altura de espuma en la ecuación de calibración y luego se calculó el porcentaje de saponina en el extracto mediante:

$$Z = \frac{X}{W} \times 100 \quad (1)$$

donde Z es el porcentaje de saponinas en el extracto, X son los mg de saponinas equivalentes en 5 mL (por curva patrón) y W son los mg de extracto evaluados en 5 mL.

Con base en la estabilidad/altura de espuma, se seleccionaron Real y Blanca de Juli para formular limpiadores.

D. Purificación del Aceite de Cocina Usado

Se purificaron 385 g de aceite vegetal usado (empleado 2–3 veces en frituras). El lavado se realizó mezclando aceite:agua = 1:1, agitando 5 min y repitiendo el procedimiento dos veces. Luego se dejó decantar 1 h y se separó la fase acuosa. El aceite se filtró con un sistema casero usando algodón y carbón activado; finalmente se desodorizó con cáscaras secas de mandarina.

E. Formulación de los Limpiadores Naturales

Se prepararon 6 formulaciones (P1–P6) para cada especie seleccionada (Real y Blanca de Juli) en envases plásticos. Como se muestra en la Tabla I, las formulaciones P1–P3 incluyeron aceite purificado (~0.28–0.33 g) y 2 gotas de aceite esencial de eucalipto; las P4–P6 se prepararon sin aceite. Cada mezcla se agitó 1 min y se dejó en reposo a temperatura ambiente para su evaluación posterior.

TABLA I
MATRIZ DE FORMULACIONES EVALUADAS

Variedad	Formulación	Saponina (g)	Aceite purificado (g)	Agua (mL)	Aceite de Eucalipto
Real	P1	0.3000	0.3250	6	2 gotas
Real	P2	0.2540	0.3180	4	2 gotas
Real	P3	0.4038	0.3105	8	2 gotas
Real	P4	0.3026	—	6	—
Real	P5	0.4045	—	8	—
Real	P6	0.2512	—	4	—
Blanca de Juli	P1	0.3028	0.2936	6	2 gotas
Blanca de Juli	P2	0.2530	0.2781	4	2 gotas
Blanca de Juli	P3	0.4024	0.3124	8	2 gotas
Blanca de Juli	P4	0.3003	—	6	—
Blanca de Juli	P5	0.4055	—	8	—
Blanca de Juli	P6	0.2512	—	4	—

F. Evaluación de los Limpiadores Naturales

Se evaluó la estabilidad y el aspecto a partir de un registro visual y fotográfico a las 48 h y seguimiento de la estabilidad por 2 semanas (separación de fases, consistencia y olor). Además, se evaluó el pH de los limpiadores.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. Extracción Física de Saponinas

La extracción por escarificado manual (lija grano 600) y tamizado permitió obtener un “polvillo” de saponinas visible y recuperable para las tres variedades evaluadas, tal como se muestra en la Fig. 1.



Fig. 1 Saponinas extraídas por el método de extracción física a partir de quinoas (a) Real, (b) Sajama blanca y (c) Blanca de Juli.

En la Tabla II se presenta el rendimiento de cada extracto de saponinas por especie de quinoa. En términos de rendimiento másico respecto a 100 g de grano, la Blanca de Juli presentó la mayor masa recuperada (1.18 g), seguida de Sajama Blanca (0.94 g) y Real (0.92 g), equivalentes a 11.8, 9.4 y 9.2 mg de extracto/g de quinua, respectivamente.

TABLA II
RENDIMIENTO DEL EXTRACTO DE SAPONINAS POR ESPECIE

Especie	Cereal pesado (g)	Saponina obtenida (g)	(mg extracto/g quinua)	Rendimiento (%)
Real	100	0.92	9.2	0.92
Sajama Blanca	100	0.94	9.4	0.94
Blanca de Juli	100	1.18	11.8	1.18

En la literatura se ha reportado que la extracción y cuantificación de saponinas en quinoa puede arrojar valores en un rango amplio (p. ej., 3.29 a 49.27 mg/g) [19], lo cual depende del genotipo, método y condiciones de extracción/cuantificación. En este estudio, los valores obtenidos se ubican dentro de rangos reportados, pero deben interpretarse como rendimiento de “extracto” (polvillo recuperado) más que como “saponina pura”, porque el material puede incluir impurezas arrastradas del pericarpio (polvo, partículas externas, etc.), especialmente cuando el grano llega con contaminantes y la limpieza manual es limitada. Un punto crítico del proceso manual es su baja estandarización: la fuerza aplicada, la pérdida de abrasividad de la lija y la falta de uniformidad del escarificado afectan la reproducibilidad y pueden explicar diferencias entre especies y entre lotes. Por ello, para escalar o mejorar la precisión del rendimiento se debería usar una escarificadora mecánica.

B. Cuantificación de Saponinas por Método Afrosimétrico

1) Curva de calibración con saponina estándar:

La cuantificación se desarrolló por el método afrosimétrico basado en una curva patrón (espesor de espuma vs masa de saponina estándar) y la lectura del espesor a 15 min (T1), dado que este tiempo refleja mejor la estabilidad de la espuma. Como se observa en la Fig. 2, el estándar mostró una relación lineal descrita por $Y = 3.7298X + 16.311$, con $R^2 = 0.9676$, indicando una tendencia consistente, aunque con variabilidad atribuible a la operación de agitación y lectura.

2) Espuma generada por los extractos de quinoas y estimación del porcentaje de saponinas en los extractos:

Al aplicar el mismo procedimiento a los extractos de quinoa (ver Fig. 3), en los tres ensayos realizados se obtuvieron espesores diferenciados entre especies, tal como se muestra en la Tabla III. A partir de los valores de los espesores a T1, se calculó el porcentaje de saponinas en los extractos (Z) obteniendo los siguientes resultados: Blanca de Juli: 2.4852 % $\pm$ 0.4580 %; Real: 0.0953 % $\pm$ 0.2935 %; Sajama Blanca: 0.0060 % $\pm$ 0.2332 %.

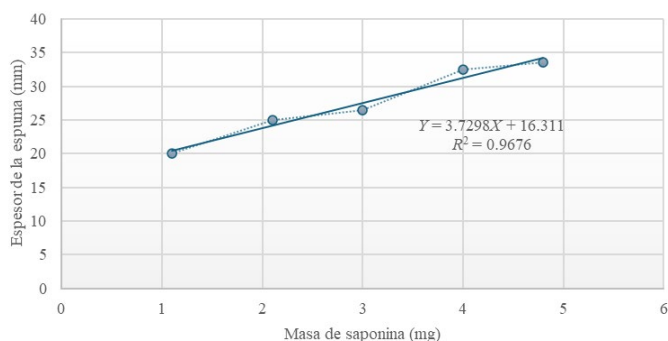


Fig. 2 Curva de calibración de las saponinas estándar.

TABLA III
ESPESOR DE ESPUMA DE EXTRACTOS DE QUINOA A T0 Y T1

Especie	Masa (mg)	Espesor a T0 (mm)	Espesor a T1 (mm)
Blanca de Juli	101.8	28	27
	100.5	27	23
	100.5	30	27
Real	101.8	19	15
	101.7	20	18
	100.5	19	17
Sajama	100.5	18	17
	103.5	17	15
	102.5	20	17

Es importante precisar que la afrosimetría no mide “saponina pura” de forma específica, sino una respuesta espumante que depende, además de la estructura química de la saponina, de sales, impurezas, agentes externos y la operación de agitación [15]; por eso la estabilidad/altura de espuma puede variar significativamente. En coherencia con ello, la Sajama Blanca presentó mayor variabilidad y menor fiabilidad visual por burbujas grandes y espuma menos estable, lo que dificultó la lectura e influyó para tomar la decisión metodológica de continuar con la quinoa Real y la Blanca de Juli para formular los limpiadores naturales.

Los resultados obtenidos coinciden con las propiedades de las quinoas que se han reportado en la literatura, donde indican que la Real se puede considerar como amarga, la Blanca de Juli como semidulce y la Sajama Blanca como dulce [21], por lo que su cantidad de saponinas es menor y escasa. En términos comparativos, se ha reportado que quinoas amargas pueden alcanzar espesores máximos de espuma del orden de 21–25 mm en pruebas afrosimétricas [13], lo cual es consistente con la magnitud observada para los extractos de mayor espuma en este estudio. Adicionalmente, la adopción del método afrosimétrico se sustenta en la propuesta clásica de Koziol para estimaciones rápidas de saponinas y umbrales de amargor, aunque el propio enfoque reconoce limitaciones operativas (agitación/tiempos) [15].

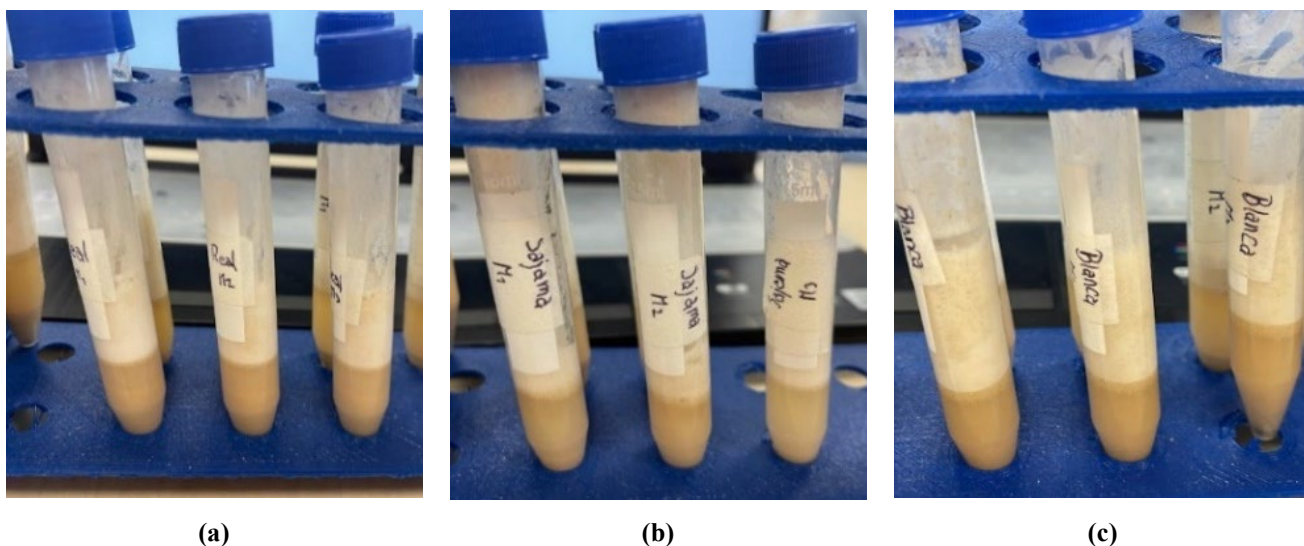


Fig. 3 Prueba de la espuma para las saponinas extraídas de 3 especies de quinoa: (a) Real, (b) Sajama blanca, (c) Blanca de Juli.

C. Purificación del Aceite Usado

Se purificaron 385 g de aceite vegetal, usado en frituras (2–3 veces), obteniéndose 355 g de aceite clarificado, lo que equivale a una recuperación aproximada de 92.2 % en masa. La mejora visual (clarificación) se evidencia en la Fig. 4, aunque persistió olor residual, motivando una segunda desodorización con carbón activado y mayor carga de cáscaras de frutas secas. Las pérdidas de masa se atribuyen a: (i) arrastre de aceite durante el lavado/decantación, (ii) retención en paredes de recipientes por trasvases sucesivos, y (iii) adsorción parcial durante filtración/desodorización. En conjunto, el proceso casero fue efectivo para remover impurezas visibles y aclarar el aceite, pero no restituye completamente propiedades sensoriales originales (aroma/color), lo cual es esperable en aceites sometidos a degradación térmica.

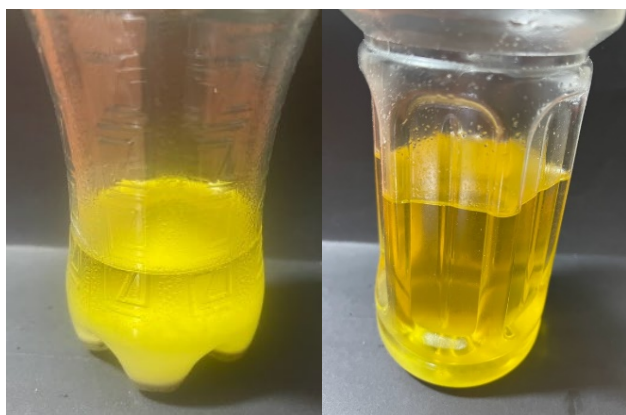


Fig. 4 Aceite vegetal usado sin purificar (izquierda) y purificado (derecha).

D. Elaboración y Estabilidad de los Limpiadores Naturales

En una etapa preliminar se observó que las formulaciones con aceite resultaron más consistentes, por lo que las pruebas

principales incluyeron formulaciones con y sin aceite, variando agua y masa de saponinas. Tal como se observa en las Fig. 5 y 6, a las 48 h las muestras con aceite (a, b, c) mantenían mejor consistencia y unión de fases que las formuladas sin aceite (d, e, f), tanto para Real como para Blanca de Juli. Este comportamiento se interpreta por el carácter anfifílico de las saponinas [7], reportado como base de su función como detergente/estabilizante natural. Además, la adición de aceite esencial de eucalipto ayudó a reducir el olor a aceite usado y aporta propiedades antimicrobianas reportadas para extractos/aceites esenciales de eucalipto [22], [23].

E. Evaluación de Estabilidad y pH de los Limpiadores Naturales

1) Estabilidad visual y propiedades sensoriales:

Tras 2 semanas, se observó que el aceite no se separó del agua en las formulaciones evaluadas y el olor a eucalipto prevaleció con una percepción agradable en manos; la presencia de aceite se asoció a mayor viscosidad/espesor. Este resultado respalda la viabilidad del enfoque de “limpiador natural” basado en la estabilización de una fase oleosa en un medio acuoso mediante saponinas.

2) pH:

Como se muestra en la Tabla IV, el pH de los limpiadores fue ácido (≈ 4.36 – 5.92), con variación por prueba y especie. Este pH ácido puede resultar aceptable para ciertos usos (p. ej., limpieza suave), pero no equivale a un “jabón” saponificado (que suele ser más alcalino). Diversos estudios reportan valores típicos de pH mayores para formulaciones cosméticas/textiles (p. ej., rangos alrededor de 6.9–8.10 en ciertos productos y hasta valores más altos en aplicaciones industriales), por lo que se plantea el ajuste con bicarbonato de sodio como regulador [24], [25].

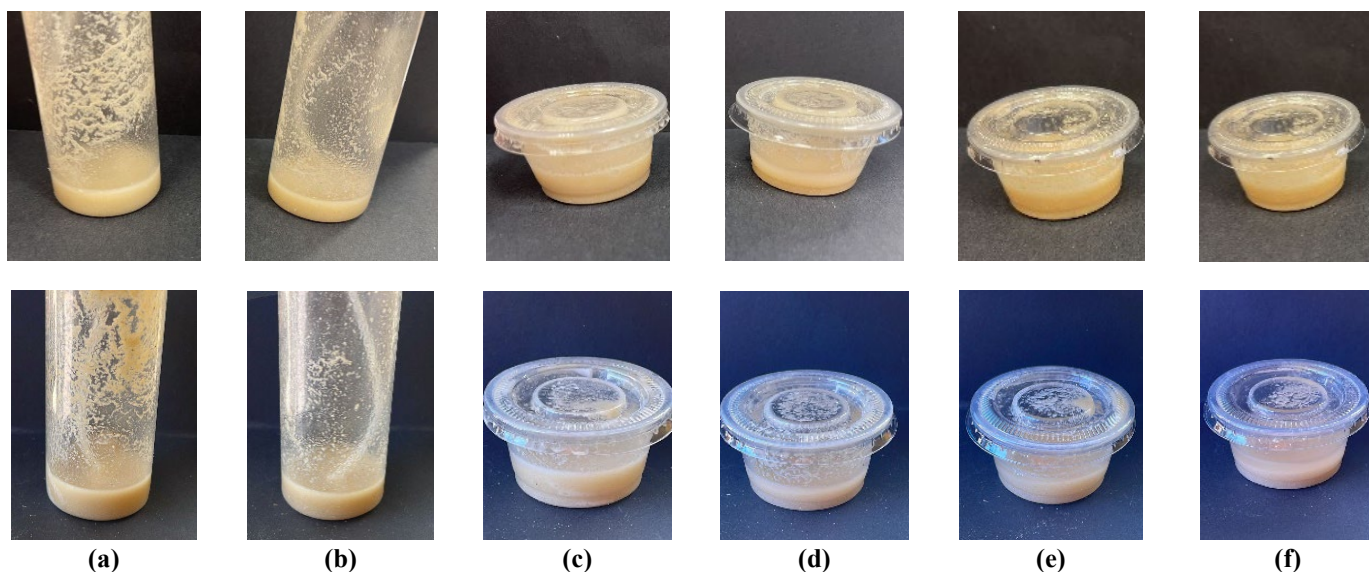


Fig. 5 Revisión visual de los limpiadores con las saponinas de la quinoa Real recién elaborados (parte superior) y luego de 48 horas (parte inferior). (a) Prueba 1, (b) Prueba 2, (c) Prueba 3, (d) Prueba 4, (e) Prueba 5, (f) Prueba 6.

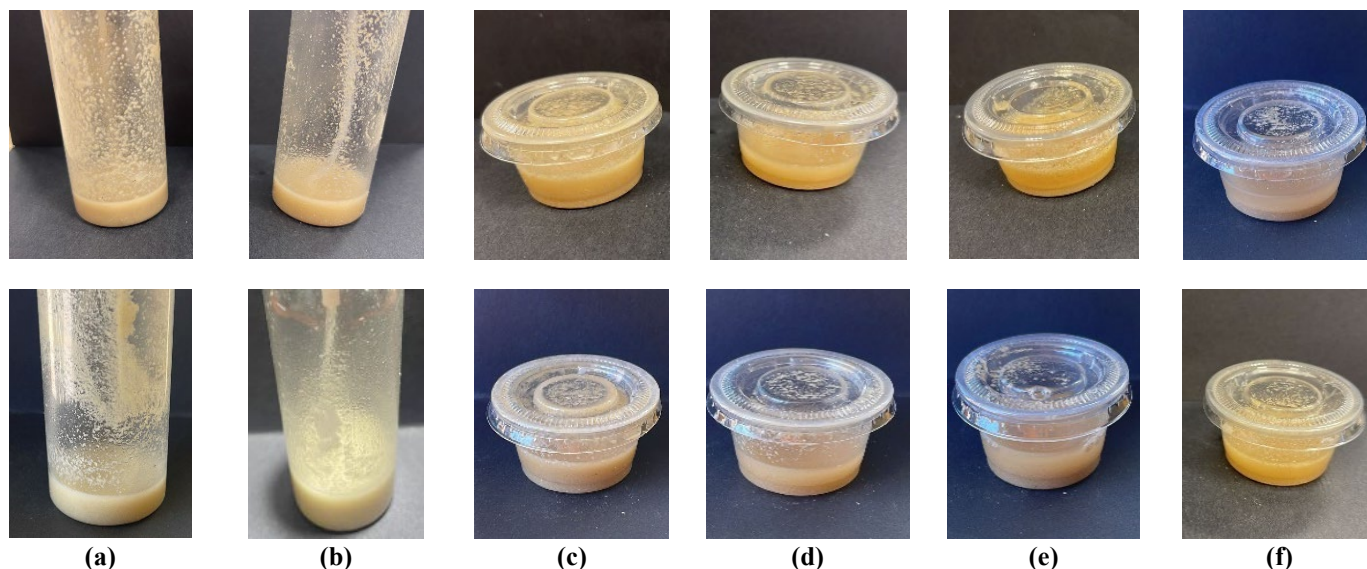


Fig. 6 Revisión visual de los limpiadores con las saponinas de la quinoa Blanca de Juli recién elaborados (parte superior) y luego de 48 horas (parte inferior). (a) Prueba 1, (b) Prueba 2, (c) Prueba 3, (d) Prueba 4, (e) Prueba 5, (f) Prueba 6.

TABLA IV
pH DE LIMPIADORES POR PRUEBA (P1–P6)

Especie de quinoa	P1	P2	P3	P4	P5	P6
Quinoa Real	5.67	5.92	5.86	5.66	5.80	4.56
Quinoa Blanca de Juli	5.44	4.36	5.54	5.41	5.60	4.62

IV. CONCLUSIONES

El estudio evidenció que las saponinas de *Chenopodium quinoa* Willd., especialmente de las variedades Real y Blanca de Juli, presentan una actividad surfactante capaz de

estabilizar mezclas aceite-agua y permitir la formulación de limpiadores naturales a partir de aceite de cocina usado, favoreciendo el reaprovechamiento de un residuo y la valorización de saponinas que normalmente se descartan por no aportar valor nutricional. La extracción física por escarificado generó rendimientos de extracto en el rango de 9.2–11.8 mg/g de quinua, y la cuantificación afrosimétrica permitió discriminar el contenido relativo de saponinas, identificando a Blanca de Juli y Real como variedades con mayor presencia (amargas) (2.4852 % y 0.0953 %, respectivamente) y a Sajama Blanca como variedad dulce con bajo contenido (0.0060 %). En las formulaciones, la agitación

resultó clave para obtener sistemas más homogéneos y consistentes. Tras dos semanas de seguimiento, no se observó separación de fases aceite/agua y la consistencia facilitó el lavado de telas sin dejar olores residuales; aunque el pH se ubicó por debajo de lo esperado para ciertos limpiadores artesanales, puede ajustarse mediante un regulador suave como bicarbonato de sodio.

REFERENCIAS

- [1] S. Félix, J. Araújo, A. M. Pires, and A. C. Sousa, "Soap production: A green perspective," *Waste Manag.*, vol. 66, pp. 190–195, 2017, doi: 10.1016/j.wasman.2017.04.036.
- [2] C. D. Mandolesi de Araújo, C. C. de Andrade, E. de Souza e Silva, and F. A. Dupas, "Biodiesel production from used cooking oil: A review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 27, pp. 445–452, 2013, doi: 10.1016/j.rser.2013.06.014.
- [3] W. Li *et al.*, "Product Soap from Waste Cooking Oil," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 510, no. 4, p. 042038, 2020, doi: 10.1088/1755-1315/510/4/042038.
- [4] J. Zawolo, K. A. Cohn, M. Kawah-Baysah, S. Weah-Chenoway, L. Gbozee, and A. M. Vinograd, "Qualitative assessment of caustic soda injury in Liberia," *Arch. Dis. Child.*, vol. 107, no. 5, pp. 441–443, 2022, doi: 10.1136/archdischild-2021-322895.
- [5] S. G. Sparg, M. E. Light, and J. van Staden, "Biological activities and distribution of plant saponins," *J. Ethnopharmacol.*, vol. 94, no. 2–3, pp. 219–243, 2004, doi: 10.1016/j.jep.2004.05.016.
- [6] J.-P. Vincken, L. Heng, A. de Groot, and H. Gruppen, "Saponins, classification and occurrence in the plant kingdom," *Phytochemistry*, vol. 68, no. 3, pp. 275–297, 2007, doi: 10.1016/j.phytochem.2006.10.008.
- [7] A. Ahumada, A. Ortega, D. Chito, and R. Benítez, "Saponinas de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.): un subproducto con alto potencial biológico," *Rev. Colomb. Ciencias Químico-Farmacéuticas*, vol. 45, no. 3, pp. 438–469, 2016, doi: 10.15446/reciquifa.v45n3.62043.
- [8] S. N. Butova, V. A. Salnikova, L. A. Ivanova, I. D. Schegoleva, and L. A. Churmasova, "Scientific substantiation and the release of saponins from plant raw material for food and cosmetic cream technology," *Int. J. Eng. Technol.*, vol. 7, no. 2.13, pp. 297–300, 2018, doi: 10.14419/ijet.v7i2.13.12687.
- [9] L. A. C. Souza, C. R. Spehar, and R. L. B. Santos, "Análise de imagem para determinação do teor de saponina em quinoa," *Pesqui. Agropecuária Bras.*, vol. 39, no. 4, pp. 397–401, 2004, doi: 10.1590/S0100-204X2004000400014.
- [10] A. B. Chhetri, K. C. Watts, M. S. Rahman, and M. R. Islam, "Soapnut Extract as a Natural Surfactant for Enhanced Oil Recovery," *Energy Sources, Part A Recover. Util. Environ. Eff.*, vol. 31, no. 20, pp. 1893–1903, 2009, doi: 10.1080/15567030802462622.
- [11] A. E. Bergesse, "Evaluation of wet de-bittering conditions of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.)," *Nutr. Clínica y Dietética Hosp.*, no. 1, pp. 107–114, 2019, doi: 10.12873/391bergesse.
- [12] K. El Hazzam *et al.*, "An Insight into Saponins from Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): A Review," *Molecules*, vol. 25, no. 5, p. 1059, 2020, doi: 10.3390/molecules25051059.
- [13] H. D. Mastebroek, H. Limburg, T. Gilles, and H. J. Marvin, "Occurrence of saponins in leaves and seeds of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.)," *J. Sci. Food Agric.*, vol. 80, no. 1, pp. 152–156, 2000, doi: 10.1002/(SICI)1097-0010(20000101)80:1<152::AID-JSFA503>3.0.CO;2-P.
- [14] M. Lozano, E. Ticona, C. Carrasco, Y. Flores, and G. R. Almanza, "Cuantificación De Saponinas En Residuos De Quinoa Real *Chenopodium quinoa* willd.," *Rev. Boliv. Química*, vol. 29, no. 2, pp. 131–138, 2012.
- [15] M. J. Koziol, "Afrosimetric estimation of threshold saponin concentration for bitterness in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.)," *J. Sci. Food Agric.*, vol. 54, no. 2, pp. 211–219, 1991, doi: 10.1002/jsfa.2740540206.
- [16] J. Navarro del Hierro, T. Herrera, M. R. García-Risco, T. Fornari, G. Reglero, and D. Martín, "Ultrasound-assisted extraction and bioaccessibility of saponins from edible seeds: quinoa, lentil, fenugreek, soybean and lupin," *Food Res. Int.*, vol. 109, pp. 440–447, 2018, doi: 10.1016/j.foodres.2018.04.058.
- [17] K. G. O. Bezerra, I. G. S. Silva, F. C. G. Almeida, R. D. Rufino, and L. A. Sarubbo, "Plant-derived biosurfactants: Extraction, characteristics and properties for application in cosmetics," *Biocatal. Agric. Biotechnol.*, vol. 34, p. 102036, 2021, doi: 10.1016/j.bcab.2021.102036.
- [18] M. S. Mora-Ocación, A. C. Morillo-Coronado, and E. H. Manjarres-Hernández, "Extraction and Quantification of Saponins in Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Genotypes from Colombia," *Int. J. Food Sci.*, vol. 2022, pp. 1–7, 2022, doi: 10.1155/2022/7287487.
- [19] M. Le Bot, J. Thibault, Q. Pottier, S. Boisard, and D. Guilet, "An accurate, cost-effective and simple colorimetric method for the quantification of total triterpenoid and steroidal saponins from plant materials," *Food Chem.*, vol. 383, p. 132597, 2022, doi: 10.1016/j.foodchem.2022.132597.
- [20] R. M. Torrez Irigoyen and S. Giner, "Extraction kinetics of saponins from quinoa seed (*Chenopodium quinoa* Willd.)," *Int. J. Food Stud.*, vol. 7, no. 2, pp. 76–88, 2018, doi: 10.7455/ijfs/7.2.2018.a7.
- [21] F. Fuentes, "Genetic Improvement of quinoa," *Agric. del Desierto*, vol. 4, pp. 71–89, 2008.
- [22] V. Aleksic Sabo and P. Knezevic, "Antimicrobial activity of Eucalyptus camaldulensis Dehn. plant extracts and essential oils: A review," *Ind. Crops Prod.*, vol. 132, pp. 413–429, 2019, doi: 10.1016/j.indcrop.2019.02.051.
- [23] N. Puvača *et al.*, "Antimicrobial Activity of Selected Essential Oils against Selected Pathogenic Bacteria: In Vitro Study," *Antibiotics*, vol. 10, no. 5, p. 546, 2021, doi: 10.3390/antibiotics10050546.
- [24] M. Almukainzi, L. Alotaibi, A. Abdulwahab, N. Albukhary, and A. M. El Mahdy, "Quality and safety investigation of commonly used topical cosmetic preparations," *Sci. Rep.*, vol. 12, no. 1, p. 18299, 2022, doi: 10.1038/s41598-022-21771-7.
- [25] C. Siqueira de Azevedo Sá *et al.*, "Characterization of a natural surfactant from an essential oil from neem (*Azadirachta indica* A. Juss) for textile industry applications," *Text. Res. J.*, vol. 92, no. 15–16, pp. 2643–2650, 2022, doi: 10.1177/00405175211007518.