

Validación de la capacidad espumante de la saponina de quinua para extintores sostenibles en el marco de la economía circular

Validation of the Foaming Capacity of Quinoa Saponin for Sustainable Fire Extinguishers within the Circular Economy Framework

Jorge Iver Vicente Ycuña^(a), Omar Rodolfo Nina Yucra^(a), Delice Lizabeth Campos Rocha^(a), Alison Geraldine Pérez Vicente^(a), Jhoselin Achocalla Sena^(a)

^(a) Carrera de Ingeniería Industrial, Facultad Nacional de Ingeniería, Universidad Técnica de Oruro, Oruro-Bolivia.

Autor de correspondencia: jorge.vicente@doc.uto.edu.bo

Vol. 05, Issue 01 (2026): January-June
DOI: 10.53591/easi.V3i2.3281
ISSN 2953-6634
ISSN Print: 3073-1526
Submitted: April 04, 2026
Revised: June 11, 2026
Accepted: June 24, 2026

Engineering and Applied
Sciences in Industry
University of Guayaquil. Ecuador
Frequency/Year: 2
Web:
revistas.ug.edu.ec/index.php/easi
Email:
easi-publication.industrial@ug.edu.ec

How to cite this article:

Vicente, J., et al. (2026). Validación de la capacidad espumante de la saponina de quinua para extintores sostenibles en el marco de la economía circular. *EASI: Engineering and Applied Sciences in Industry*, 5(1), 63-71.
<https://doi.org/10.53591/easi.V3i2.3281>

Articles in journal repositories are freely open in digital form. Authors can reproduce and distribute the work on any non-commercial site and grant the journal the right of first publication with the work simultaneously licensed under a CC BY-NC-ND 4.0.

Resumen. La quinua es uno de los principales productos exportados por Bolivia, producida en el altiplano de Oruro; su proceso genera mermas como la saponina, un residuo agroindustrial con propiedades tensioactivas y biodegradables que representa la mitad del total. El objetivo de este estudio es validar experimental y estadísticamente su capacidad espumante mediante el Método de Ross-Miles (ASTM D1173) para viabilizar su potencial en extintores sostenibles. Se realizaron pruebas con una relación 1:10, registrando la altura de la espuma en función del tiempo y una tasa de decaimiento de 0,002 a 0,003, lo que demuestra una estabilidad moderada y una capacidad espumante aceptable. Se concluye que la capacidad espumante de la saponina es satisfactoria frente a los tensioactivos químicos de extintores convencionales, constituyéndose en una alternativa viable de sustitución que minimiza la contaminación ambiental y los riesgos a la salud dentro de la seguridad industrial sostenible y la valorización de residuos.

Palabras clave: Saponina de quinua, Biosurfactante natural, Método Ross-Miles / ASTM D1173, Extintores sostenibles, Residuos agroindustriales.

Abstract. Quinoa is one of the main products exported by Bolivia, produced in the highlands of the Department of Oruro; its processing generates wastes such as saponin, an agro-industrial residue with surfactant and biodegradable properties that accounts for half of the total byproduct. The objective of this study is to experimentally and statistically validate its foaming capacity using the Ross-Miles Method (ASTM D1173) to establish its potential viability in sustainable fire extinguishers. Experimental tests were conducted at a 1:10 ratio, recording foam height as a function of time and yielding a decay rate of 0.002 to 0.003, which demonstrates moderate stability and an acceptable foaming capacity. It is concluded that the foaming capacity of quinoa saponin is satisfactory compared to the chemical surfactants used in conventional fire extinguishers, making it a viable substitution alternative that minimizes environmental pollution and health risks within the framework of sustainable industrial safety and agro-industrial waste valorization.

Keywords: Quinoa saponin, Natural biosurfactant, Ross-Miles method / ASTM D1173, Sustainable fire extinguishers, Agro-industrial waste.

1. INTRODUCCIÓN

La economía circular es fundamental en la contribución para alcanzar los objetivos de desarrollo sostenible; en particular, el ODS 12 producción y consumo responsable, el ODS 9 industria, innovación e infraestructura y el ODS 13 acción por el clima, estos objetivos conllevan relación directa con la presente investigación y, en consecuencia, aprovechar los residuos generados por la industria y sociedad en conjunto contribuyendo en el cumplimiento de las metas e indicadores de los objetivos de desarrollo sostenible aprobados por la Asamblea General de las Naciones Unidas. La economía circular constituye además un marco de modelos de negocio y políticas públicas orientadas a la sostenibilidad (Ellen MacArthur Foundation, 2024). En ese contexto, en la prevención de incendios una de las preocupaciones es el uso de agentes químicos nocivos para el medio ambiente y la salud de la población, puesto que las regulaciones internacionales son estrictas y rigurosas debido los efectos adversos como el cambio climático y en el caso de la población provoca irritación en la piel, alergias, alteraciones en el sistema respiratorio, toxicidad por ingestión y hasta el desarrollo indirecto de cáncer.

Los extintores son dispositivos empleados para controlar incendios, se categoriza de acuerdo con la norma NFPA 10 en: Clase A (materiales sólidos combustibles como madera y papel), Clase B (líquidos y gases inflamables), Clase C (equipos eléctricos energizados), Clase D (metales combustibles) y Clase K (aceites y grasas en cocinas) (National Fire Protection Association [NFPA], 2024). Cada extintor contiene un agente químico sintético de acuerdo al tipo de material combustible implicado en el incendio; no obstante, independiente al tipo de agente que contiene el extintor cada uno presenta un riesgo significativo al medio ambiente y a la salud de la población. La quinua es un superalimento sostenible dado el alto valor nutricional y la capacidad de adaptarse a condiciones extremas, reconocido a nivel mundial como un grano andino ancestral. (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2023) Actualmente, de acuerdo con los datos del Instituto Boliviano de Comercio Exterior para la gestión 2024 las exportaciones de quinua representan 29.807.111 en kilos brutos y 84.551.425 en dólares estadounidenses (Instituto Boliviano de Comercio Exterior, 2025).

En particular, la industria de la quinua conlleva un proceso productivo consolidado tras la experiencia y particularidad desarrollada como uno de los países pioneros en la exportación de quinua a nivel mundial. El proceso productivo comprende el escarificado, lavado, secado, clasificado y envasado; en cada una de ellas se genera merma que tiene como destino desechar acorde a los procedimientos establecidos o donar a los productores con el fin de permeabilizar el suelo como abono y controlar determinadas plagas que afectan a los cultivos. Entre las mermas se genera saponina, pajillas, piedrecillas, heces y otras impurezas, constituyendo el 10% del total de materia prima que ingresa al proceso productivo. En promedio la mitad del total de la merma es saponina en polvo extraído por la fricción entre los granos al interior del equipo de escarificado, provocando un desprendimiento de polvo de la capa externa del grano. La saponina de quinua es un metabolito secundario de origen vegetal caracterizado por el sabor amargo, se clasifica como un glicósido triterpenoide o esteroide que presenta una estructura anfipática, compuesta por una parte hidrofóbica (aglicona) y una hidrofílica (cadena glucídica) que le confiere la capacidad de reducir la tensión superficial de los líquidos y formar espumas estables (Gómez-Caravaca et al., 2011).

La actividad surfactante de la saponina de quinua se compara con la de tensioactivos sintéticos como el lauril sulfato de sodio (SDS), pero con menor impacto ambiental debido a su biodegradabilidad (García Bustos et al., 2024). Adicionalmente, estudios recientes confirman su estabilidad en rangos de pH (2–10) y temperaturas hasta 80°C (García Bustos et al., 2024), y su desempeño comparable al de surfactantes sintéticos convencionales, lo que respalda la potencial viabilidad técnica como ingrediente en formulaciones para extintores ecológicos, en línea con la tendencia global hacia agentes extintores libres de compuestos sintéticos contaminantes (Jahura et al., 2024).

Por lo tanto, la preocupación surge debido a que los extintores convencionales utilizan agentes químicos sintéticos que generan un nivel elevado de contaminación en el medio ambiente tanto en los suelos y en las fuentes de agua, y paralelamente propicia un riesgo notable en la salud de la población; estos agentes químicos son derivados del petróleo lo que implica que es un recurso no renovable con una alta incidencia en la huella de carbono y cambio climático. En contraste, los biosurfactantes de origen natural presentan biodegradabilidad, baja toxicidad y producción a partir de fuentes renovables como ventajas frente a los surfactantes sintéticos convencionales (Nasser et al., 2024). Por otro lado, la saponina de quinua es una merma que representa una cantidad considerable desaprovechada puesto que se desecha o se obsequia a los productores, prescindiendo la utilización como materia prima o ingrediente para nuevos productos o subproductos; al mismo tiempo, cabe señalar que los estudios técnicos y económicos que validen en específico la capacidad espumante de la saponina de quinua en sistemas contra incendios son limitados, lo que

significa que no existen procedimientos estandarizados siendo una necesidad apremiante la contribución con el desarrollo de alternativas sostenibles desde la perspectiva técnica, ambiental y económica con base en los principios de la economía circular y en consecuencia, contribuir con los objetivos de desarrollo sostenible.

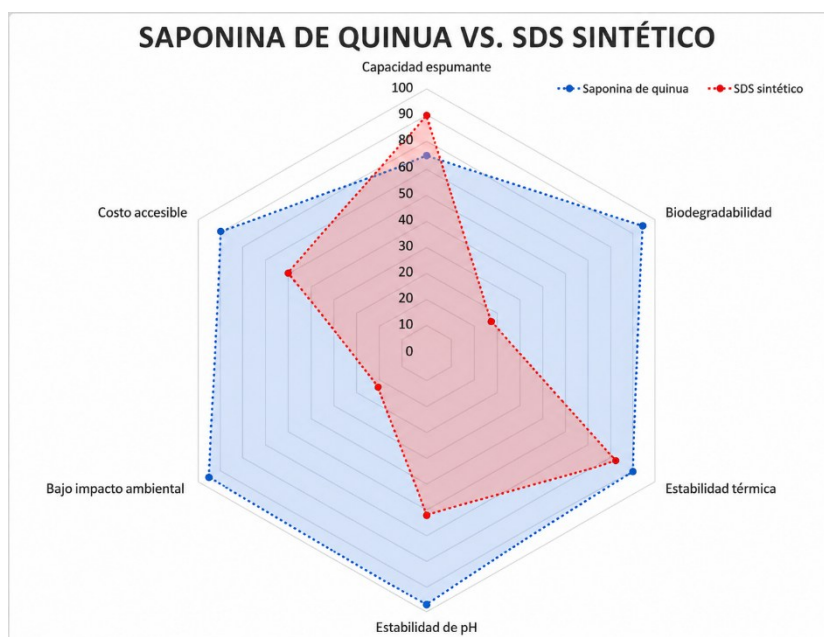


Figura 1. Comparación multidimensional: Saponina de Quinua Real vs. SDS sintético

En la figura 1 se muestra la comparación multidimensional tipo radar que permite evaluar el criterio de capacidad espumante, biodegradabilidad, estabilidad térmica, estabilidad de pH, bajo impacto ambiental y costo accesible entre la saponina de quinua y el SDS sintético; donde se concluye que la saponina de quinua es un biosurfactante competitivo en reemplazo a productos contaminantes. En tal sentido, con la presente investigación se pretende validar la capacidad espumante de la saponina de quinua para obtener extintores sostenibles enmarcado en los principios de la economía circular; promoviendo la revalorización de subproductos considerados como merma o desperdicio en la industria alimentaria generando valor en el producto obtenido bajo la premisa de la innovación, optimización y sostenibilidad industrial.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La Sociedad Americana de Pruebas y Materiales (ASTM, 2023) publica la norma técnica ASTM D1173 (American Society for Testing and Materials) que lleva por título “Método de Prueba Estándar para las Propiedades Espumantes de Agentes Tensioactivos” desarrollada por John Ross y George Miles en los laboratorios de American Cyanamid Company revisada el año 2023, hoy en día es conocida por el método de Ross-Miles. Esta norma explica el procedimiento para determinar y evaluar la capacidad espumante calculada por medio del porcentaje de retención y la tasa de decaimiento de la espuma en el tiempo, aplicado a tensoactivos acuosos de origen sintético y/o natural bajo el control de las condiciones ambientales de temperatura y humedad relativa.

Los materiales requeridos para la práctica experimental son los siguientes:

- Tubo de vidrio graduado (Altura 30 cm, diámetro 5 cm)
- Embudo de dispensación
- Cronómetro
- Regla graduada

Por otra parte, los reactivos que se utilizan para el desarrollo son los siguientes:

- Solución tensioactiva (Saponina de quinua)

- Agua destilada

La secuencia de pasos para el desarrollo del experimento; se describe, a continuación:

- Enjuagar el tubo y embudo con abundante agua destilada y proceder al secado para evitar la contaminación directa o cruzada.
- Preparar la solución tensoactiva y verter 50 mL de solución tensoactiva en el tubo graduado (Relación 1:10).
- Cargar 200 mL de la misma solución tensoactiva del embudo, la caída libre genera energía cinética que atrapa el aire y forma espuma.
- Registrar la altura máxima de la espuma en (mm) con una regla inmediatamente después de la caída libre.
- Anotar con una regla la altura de la espuma en intervalos de tiempo controlados a través de un cronómetro (1, 3, 5 y 10 minutos).
- Para realizar las pruebas de reproducibilidad se debe enjuagar y secar tres veces con agua destilada el tubo y el embudo.

Con cimiento en el método Ross-Miles, a partir de la hipótesis que la pérdida de altura de espuma es proporcional a la cantidad de espuma en un determinado tiempo; lo mencionado anteriormente se expresa en la siguiente ecuación diferencial (1):

$$\frac{dH}{dt} = -kH \quad (1)$$

Donde:

H_t = Altura de la espuma en el tiempo t (mm)

H_0 = Altura de la espuma en el tiempo inicial (mm)

k = Tasa de decaimiento de la espuma (min^{-1})

t = Tiempo transcurrido (min)

Matemáticamente, resolviendo la ecuación diferencial a través del método de separación por variables, se obtiene (2, 3 y 4):

$$\int \frac{1}{H} dH = -k \int dt \quad (2)$$

$$(H) = -kt + C \quad (3)$$

$$H_t = H_0 \times e^{-kt} \quad (4)$$

Finalmente, despejando k para obtener la tasa de decaimiento de la espuma (5):

$$k = -\frac{1}{t} \times \ln \left(\frac{H_t}{H_0} \right) \quad (5)$$

Los datos obtenidos en la práctica experimental se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 1. Datos de altura en función al tiempo

Nº prueba	Altura inicial	Altura 1 minuto	Altura 3 minutos	Altura 5 minutos	Altura 10 minutos
1	162	135	98	72	45
2	159	130	95	70	42
3	165	140	102	75	47
4	160	132	96	71	43
5	163	138	100	74	44

Fuente: Elaboración propia, (2025)

La tabla 1 muestra las 5 pruebas realizadas y la altura de la espuma dividido en intervalos de tiempos definidos para el desarrollo experimental. Cabe aclarar que la quinua como materia prima del cual se extrae la saponina pertenece a la zona intersalar, en el municipio de Salinas de Garci Mendoza ubicado en el departamento de Oruro-Bolivia.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A partir de los datos obtenidos del desarrollo experimental con base en la tabla 2 se valida estadísticamente los datos por medio del criterio de reproducibilidad el cual nos indica que las 5 pruebas realizadas reflejan una variación menor al 5% lo que significa una validación estadística satisfactoria del procedimiento experimental.

Tabla 2. Validación estadística del procedimiento

N° prueba	Altura inicial	Altura 1 minuto	Altura 3 minutos	Altura 5 minutos	Altura 10 minutos
Promedio	161,8	135,0	98,2	72,4	44,2
Desviación estándar	2,4	4,1	2,9	2,1	1,9
Porcentaje de Reproducibilidad	1,5%	3,1%	2,9%	2,9%	4,4%

Fuente: Elaboración propia, (2025)

La tabla 2 nos indica la dinámica de la estabilidad espumante de la saponina a lo largo del tiempo, donde la medida de tendencia central disminuye progresivamente a medida que transcurre el tiempo con un comportamiento de decaimiento lineal con pendiente negativa y al mismo tiempo una baja dispersión de los datos con respecto a la medida de tendencia central lo que nos indica alta precisión experimental. Por otra parte, el porcentaje de reproducibilidad refleja la consistencia aceptable del ensayo y la robustez metodológica del experimento.

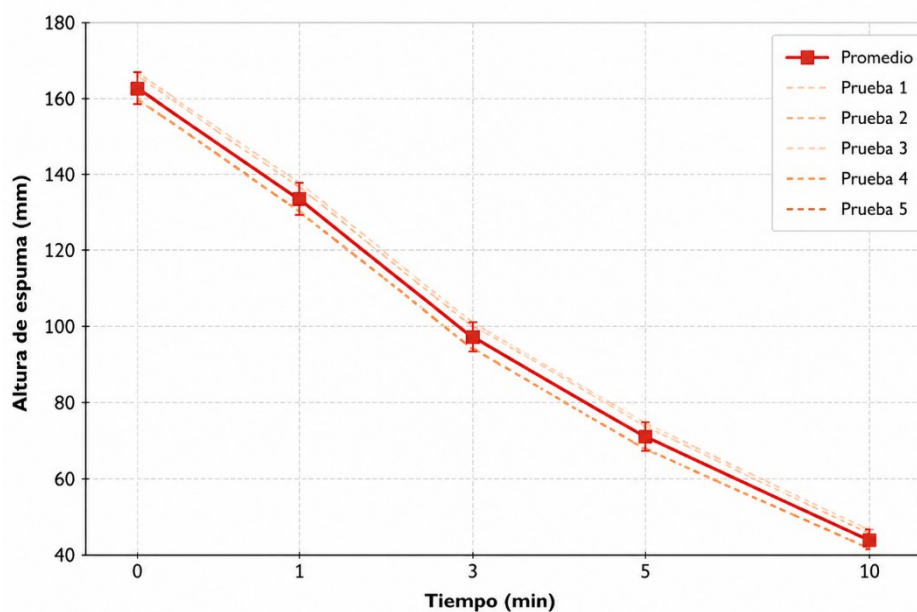


Figura 2. Decaimiento de la espuma en el tiempo (Método Ross-Miles–ASTM D1173)

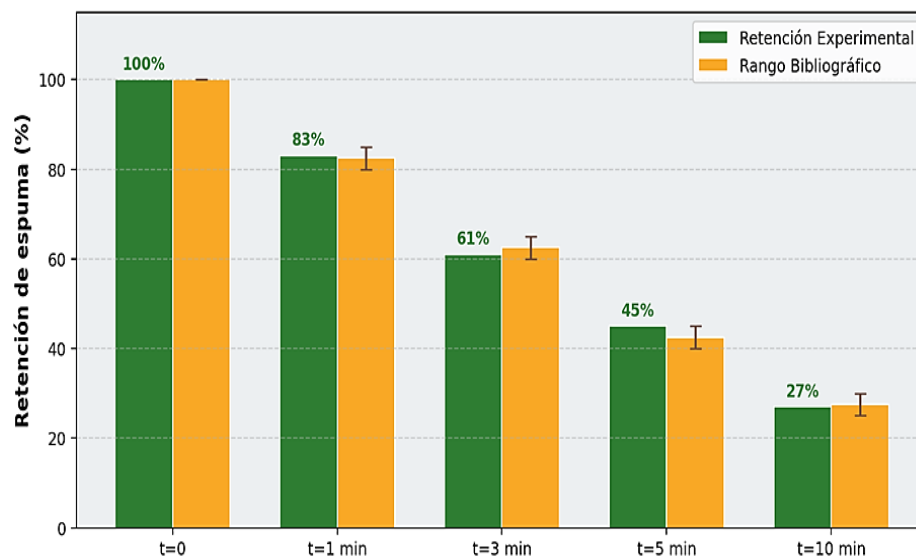
La figura 2 presenta se evidencia la disminución progresiva y con comportamiento lineal de la altura de la espuma, lo cual los resultados presentados demuestran el equilibrio entre la capacidad espumante de la saponina de quinua y la estabilidad temporal reflejando una alternativa viable y sostenible para el desarrollo de aplicaciones garantizando buen desempeño técnico acorde a un fin establecido. Con el fin de determinar la retención experimental, comparar con la retención bibliográfica y calcular la tasa de decaimiento, se presenta la siguiente tabla:

Tabla 3. Comparación entre la retención experimental y bibliográfica

N° prueba	Altura inicial	Altura 1 minuto	Altura 3 minutos	Altura 5 minutos	Altura 10 minutos
Retención experimental	100%	83%	61%	45%	27%
Retención bibliográfica	100%	80-85%	60-65%	40-45%	25-30%
Tasa de decaimiento	-	- 0,003	- 0,002	- 0,002	- 0,002

Fuente: Elaboración propia, (2025)

La tabla 3 nos refleja que el resultado del porcentaje de retención experimental para cada intervalo de tiempo se encuentra en el rango permisible del porcentaje de retención bibliográfica de acuerdo con estudios preliminares, de modo que se valida satisfactoriamente la práctica experimental. En cuanto a la tasa de decaimiento la estabilidad de la espuma de la saponina de quinua presenta un comportamiento moderadamente estable, lo que evidencia el sustento experimental preliminar del empleo de saponina de quinua para sistemas sostenibles de prevención de incendios.

**Figura 3.** Retención de espuma experimental vs. Bibliográfica

La figura 3 se presenta la evolución de retención de la espuma en función del tiempo observando la disminución progresiva de la espuma de saponina de quinua conforme a la prueba experimental, por lo que la cinética de las espumas refiere a una estabilidad moderada. Por tanto, los resultados obtenidos en la presente investigación muestran que la saponina de quinua alcanzó una retención de espuma del 45% a los 5 minutos, con una tasa de decaimiento entre 0,002 y 0,003 min^{-1} , lo que indica una estabilidad gradual, controlada y estable. Estos hallazgos guardan estrecha correspondencia con investigaciones previas desarrolladas con saponinas de origen vegetal y biosurfactantes naturales evaluados mediante métodos estandarizados.

En primera instancia, Espinoza et al. (2021) evaluaron la estabilidad espumante de saponina de quinua (*Chenopodium quinua* Willd.) extraída mediante ultrasonido, empleando condiciones optimizadas de 70% de etanol, 59% de amplitud y 12 minutos de exposición. Sus resultados reportaron que el 87,54% de la espuma inicial se conservó a los 5 minutos, catalogando la espuma como altamente estable. Si bien este porcentaje de retención a los 5 minutos es superior al 45% registrado en el presente estudio, la diferencia se explica por las condiciones de extracción: el uso de ultrasonido y etanol favorece la obtención de fracciones saponínicas más purificadas con mayor actividad

tensoactiva, en tanto que el presente experimento emplea saponina en polvo sin purificación adicional, lo que representa una ventaja desde la perspectiva de la economía circular al minimizar costos de procesamiento. En ambos casos se confirma que la saponina de quinua posee capacidad espumante funcional y aplicabilidad industrial (Espinoza et al., 2021).

Por otra parte, García et al. (2024) investigaron las propiedades tensioactivas, emulsificantes y detergentes de saponinas extraídas de residuos de quinua, obteniendo un extracto con 42% de pureza mediante cavitación hidrodinámica y tecnología de membranas. El estudio determinó una concentración micelar crítica (CMC) de 1,2 g/L, con reducción de la tensión superficial de 72,0 a 50,0 mN/m. Además, evaluaron la estabilidad del extracto frente a rangos de temperatura (30–90 °C), pH (2–12) y salinidad (10.000–150.000 ppm NaCl), reportando que las condiciones óptimas para maximizar el índice de emulsificación fueron un pH de 9,05, temperatura de 66 °C y salinidad de 10.000 ppm. Estos resultados son coherentes con los del presente estudio en cuanto a la naturaleza anfipática de la saponina y su capacidad de reducir la tensión superficial, lo que sustenta la viabilidad del uso de saponina de residuos agroindustriales de quinua como sustituto a tensioactivos sintéticos en sistemas de espuma para extinción de incendios (García et al., 2024).

Cabe señalar, Koroleva et al. (2020) realizaron un estudio comparativo de propiedades superficiales y espumantes de extractos ricos en saponinas provenientes de 58 especies vegetales, entre ellas *Chenopodium quinoa*. Mediante mediciones de reología dilatacional superficial, determinaron que los extractos de quinua presentan capas de adsorción con alta elasticidad superficial, con un módulo de elasticidad dilatacional (E') superior a 100 mN/m en varias especies, siendo esta característica típica de los biosurfactantes. Los autores reportaron que, de los 58 extractos evaluados, solo 32 lograron sostener la espuma por más de 1 minuto y 11 de ellos mantuvieron espumas estables durante al menos 10 minutos, destacando la quinua entre las especies con mayor potencial espumante. Este resultado es concordante con el comportamiento observado en la presente investigación, donde la saponina de quinua sostuvo valores de retención del 27% incluso a los 10 minutos, lo que respalda el potencial de la saponina de quinua para la evaluación en sistemas de prevención de incendios (Koroleva et al., 2020).

En conjunto, las tres investigaciones mencionadas refuerzan la validez de los resultados obtenidos en la presente investigación. La capacidad espumante de la saponina de quinua, evaluada mediante el Método Ross-Miles (ASTM D1173), es consistente con los rangos reportados en la bibliografía especializada y confirma su potencial como sustituto natural para el diseño de extintores sostenibles. La naturaleza biodegradable, la estabilidad moderada y la procedencia como residuo agroindustrial del proceso de beneficiado de quinua posicionan a este compuesto como un componente potencial viable bajo el enfoque circular, contribuyendo al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Finalmente, es importante señalar que la presente investigación se enmarca en la validación de la propiedad espumante de la saponina de quinua mediante el Método Ross-Miles (ASTM D1173), excluyendo las pruebas funcionales en un extintor basado en normativa relacionada a la aplicación específica de incendios.

CONCLUSIONES

De acuerdo con los objetivos y resultados, se obtienen las siguientes conclusiones:

- El porcentaje de retención de la saponina de quinua es aceptable para cada intervalo de tiempo establecido dado que se encuentra en el rango permisible con sustento en la revisión en la bibliográfica y la tasa de decaimiento entre 0,002 a 0,003 lo que indica una estabilidad de espuma en el tiempo moderadamente estable; con base a ello, es satisfactoria la validación experimental y estadística de la capacidad espumante de la saponina con el fin de constituirse en una alternativa viable técnica, ambiental y economía para el diseño y desarrollo de extintores sostenibles.
- No obstante, la alta amplitud de utilización de la saponina de quinua es diversa, por ejemplo, colorantes naturales, coadyuvante de vacunas, alimento animal, inhibidor de gases tóxicos, entre otros. Cabe denotar que la presente investigación valida la propiedad tensoactiva natural de la saponina de quinua, por lo que es viable reemplazar al tensoactivo sintético en el marco de la economía circular; en el contexto específico referente a la prevención de incendios los extintores convencionales al utilizar saponina de quinua en reemplazo constituye extintores sostenibles minimizando la contaminación en el medio ambiente y los efectos adversos que generan a la salud de la población en general.

- Se debe definir un segmento específico para la aplicación del extintor sostenible debido al aislamiento del oxígeno por la generación de espuma y la estabilidad que presenta a lo largo del tiempo resulta aconsejable sofocar el fuego clase A dada la particularidad de los tipos de materiales de esta clase en particular. Por otra parte, para ampliar la aplicación al resto de las clases de fuego como la clase B y clase C se debe complementar con aditivos naturales para mantener el enfoque basado en los principios de la economía circular, siendo fundamental la adición para incrementar el rendimiento del extintor como, por ejemplo: arcillas naturales, aceites vegetales, extractos de aloe vera, entre otros.
- En la actualidad las tendencias modernas y corrientes disruptivas se armonizan a los objetivos de desarrollo sostenible, lo que implica replantear los lineamientos y directrices de la seguridad industrial tradicional a un enfoque innovador basado en la economía circular y sostenibilidad; lo que conlleva promover e impulsar sistemas de prevención de incendios sostenibles, ecológicos y responsables con el bienestar de la sociedad.
- Es menester enfatizar la valorización de residuos agroindustriales generando cadenas de suministros circulares, en efecto, permite minimizar la contaminación al medio ambiente considerando la viabilidad técnica y económica del residuo como opción natural para el diseño y desarrollo de nuevos productos o subproductos.
- Uno de los desafíos principales es concientizar a la población en general a nivel departamental y nacional con relación a los hábitos de consumo y uso de productos que cuenten con certificaciones sostenibles que contribuyan a la prevención del medio ambiente y a la salud de la población contribuyendo de manera modesta empero valiosa; entre ellos se cuenta con estándares como Forest Garden Products, Naturland, Regenerative Organic Certified, Rainforest Alliance, World Fair Trade Organization, entre otros.

Agradecimientos

En primer lugar, agradecer a Dios, a nuestras queridas familias, a los colegas docentes y a los estudiantes de la Carrera de Ingeniería Industrial de la Facultad Nacional de Ingeniería perteneciente a la Universidad Técnica de Oruro por el apoyo y motivación en el proceso de investigación e integración con la dinámica empresarial.

Declaración de Conflictos de Intereses

Los autores declaran que no existen posibles conflictos de interés en relación con la investigación, autoría y/o publicación de este artículo.

REFERENCIAS

- American Society for Testing and Materials. (2023). *ASTM D1173-23: Standard test method for foaming properties of surface-active agents*. ASTM International. <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/astm/6c901dc3-0583-4df8-81f7-45c4b8270dea/astm-d1173-23?srsltid=AfmBOorMMI8UztEVKGcR5mhdKk09pMRGqQXvrZuPEZt7XKyfD9T7YzuH>
- Ellen MacArthur Foundation. (2024). *Annual impact report 2024*. <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/annual-impact-report-2024>
- Espinoza C. R., Jaime Ruiz C. A., Flores Ramos O. P., Quispe Solano M. A., Hinostroza Quiñonez G., Saavedra Mallma N. E. (2021). *Optimization of the ultrasound-assisted extraction of saponins from quinoa (Chenopodium quinoa Willd) using response surface methodology*. Acta Sci. Pol. Technol. Aliment. <https://doi.org/10.17306/J.AFS.0859>
- FAO. (2023). *Quinoa: Producción, comercialización y oportunidades para la innovación sostenible*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Recuperado de <https://www.fao.org/quinoa>
- García-Bustos, K. A., Sánchez-Muñoz, S., da Silva, S. S., Flores-Alarcón, M. A. D., dos Santos, J. C., Colina-Andrade, G. J., & Terán-Hilares, R. (2024). Saponin molecules from quinoa residues: Exploring their surfactant, emulsifying, and detergent properties. *Molecules*. <https://doi.org/10.3390/molecules29204928>
- Gómez-Caravaca, A. M., Segura-Carretero, A., & Fernández-Gutiérrez, A. (2011). *Simultaneous determination of phenolic compounds and saponins in quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) by a liquid chromatography–diode*

- array detection–electrospray ionization–time-of-flight mass spectrometry methodology*. Journal of Agricultural and Food Chemistry. <https://doi.org/10.1021/jf202224j>
- Instituto Boliviano de Comercio Exterior. (2025). *Cifras del comercio exterior boliviano 2024*. <https://ibce.org.bo/images/publicaciones/CE-326-Cifras-Comercio-Exterior-Boliviano-2024.pdf>
- Instituto Boliviano de Comercio Exterior. (2024). *Granos altoandinos: Una alternativa para seguridad alimentaria*. Recuperado de <https://ibce.org.bo/images/publicaciones/CE-325-Granos-Altoandinos-Una-alternativa-seguridad-alimentaria.pdf>
- Jahura, F. T., Mazumder, N. S., Hossain, M. T., Kasebi, A., Girase, A., & Ormond, R. B. (2024). *Exploring the prospects and challenges of fluorine-free firefighting foams (F3) as alternatives to aqueous film-forming foams (AFFF): A review*. ACS Omega. <https://doi.org/10.1021/acsomega.4c03673>
- Koroleva, M. Y., Yurtov, E. V., & Smirnova, N. A. (2020). *Surface and foaming properties of saponin extracts from 58 plant species*. Current Opinion in Colloid & Interface Science. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2020.102145>
- García-Bustos, K. A., Sánchez-Muñoz, S., da Silva, S. S., Flores-Alarcón, M. A. D., dos Santos, J. C., Colina-Andrade, G. J., & Terán-Hilares, R. (2024). *Surfactant, emulsifying and detergent properties of saponins extracted from quinoa residues*. Molecules. <https://doi.org/10.3390/molecules29204928>
- Nasser, M., Sharma, M., & Kaur, G. (2024). *Advances in the production of biosurfactants as green ingredients in home and personal care products*. Frontiers in Chemistry. <https://doi.org/10.3389/fchem.2024.1382547>
- National Fire Protection Association. (2024). *NFPA 10: Standard for portable fire extinguishers*. <https://www.nfpa.org/product/nfpa-10-standard/p0010code>
- Swisscontact. (2024). *El libro de la quinua 2024*. https://www.swisscontact.org/_Resources/Persistent/e/7/9/f/e79f3a6052f9820bd13a3aa5ec1fd7742369edf1/EL-LIBRO-DE-LA-QUINUA-2024.pdf