

Formulación sostenible de productos de limpieza para emprendimientos comunitarios: materias primas, tecnologías de producción y criterios de calidad

Sustainable Formulation of Cleaning Products for Community-Based Enterprises: Raw Materials, Production Technologies, and Quality Criteria

RESUMEN

La formulación sostenible de productos de limpieza representa una alternativa para integrar eficiencia funcional, calidad técnica y criterios de sostenibilidad en procesos productivos de pequeña escala. El objetivo de este estudio fue desarrollar y optimizar formulaciones de detergente líquido para ropa, lavavajillas, limpiador multipropósito y limpiador de pisos mediante un diseño experimental de mezclas restringido. La investigación se desarrolló bajo un paradigma positivista, enfoque cuantitativo y diseño experimental aplicado. Para cada categoría de producto se evaluaron combinaciones de tres componentes funcionales, considerando como variables de respuesta el pH, la viscosidad, la eficiencia de limpieza, la estabilidad y la proporción de materias primas renovables. Los datos fueron analizados mediante modelos de mezcla, análisis de varianza y optimización multirrespuesta. En el escenario de resultados simulados, los modelos de eficiencia de limpieza presentaron coeficientes de determinación superiores a 0,90 y significancia estadística inferior a 0,05. El lavavajillas alcanzó la mayor eficiencia de limpieza predicha (98,69 %), mientras que el limpiador de pisos presentó la mayor deseabilidad global (0,864) y la mayor proporción de materias primas renovables (63,17 %). Los resultados simulados permitieron rechazar la hipótesis nula y respaldaron la hipótesis alternativa, evidenciando que las proporciones e interacciones entre los componentes influyen significativamente en el comportamiento de las formulaciones. Se concluye que el diseño de mezclas y la optimización multirrespuesta constituyen herramientas metodológicas adecuadas para desarrollar productos de limpieza con equilibrio entre desempeño, estabilidad, sostenibilidad composicional y potencial de transferencia hacia emprendimientos comunitarios.

PALABRAS CLAVE: formulación sostenible, productos de limpieza, diseño de mezclas, optimización multirrespuesta, emprendimientos comunitarios.

ABSTRACT

The sustainable formulation of cleaning products offers an alternative for integrating functional efficiency, technical quality, and sustainability criteria into small-scale production processes. The objective of this study was to develop and optimize formulations for liquid laundry detergent, dishwashing detergent, multipurpose cleaner, and floor cleaner using a restricted mixture experimental design. The research was conducted under a positivist paradigm, using a quantitative approach and an applied experimental design. For each product category, combinations of three functional components were evaluated, considering pH, viscosity, cleaning efficiency, stability, and the proportion of renewable raw materials as response variables. The data were analyzed using mixture models, analysis of variance, and multiobjective optimization. In the simulated results scenario, the cleaning efficiency models exhibited coefficients of determination greater than 0.90 and statistical significance less than 0.05. The dishwasher achieved the highest predicted cleaning efficiency (98.69%), while the floor cleaner exhibited the highest overall desirability (0.864) and the highest proportion of renewable raw materials (63.17%). The simulated results allowed us to reject the null hypothesis and supported the alternative hypothesis, demonstrating that the proportions and interactions among the components significantly influence the behavior of the formulations. It is concluded that mixture design and multiobjective optimization are appropriate methodological tools for developing cleaning products that strike a balance between performance, stability, compositional sustainability, and potential for transfer to community-based enterprises.

KEYWORDS: sustainable formulation, cleaning products, mixture design, multiobjective optimization, community-based enterprises.

TRANSFORMACIÓN DIGITAL Y CONOCIMIENTO

Recepción: 30/07/2026

Aceptación: 08/08/2026

Publicación: 31/12/2026

AUTOR/ES

 **Susana Elizabeth Blacio Toro**

 **Katty Alexandra Gadway Yambay**

 **Wilson Patricio León Cueva**

 **Martha Ileana Porras Fernández**

 sublato@yahoo.es

 barevalo5@indoamerica.edu.ec

 wleon@utmachala.edu.ec

 mporras@utmachala.edu.ec

 Universidad Técnica de Machala

 Universidad Técnica de Machala

 Universidad Técnica de Machala

 Universidad Técnica de Machala

 Machala – Ecuador

 Machala – Ecuador

 Machala – Ecuador

 Machala – Ecuador

CITACIÓN:

Blacio, S. Gadway, K. León, W. & (2026). Formulación sostenible de productos de limpieza para emprendimientos comunitarios: materias primas, tecnologías de producción y criterios de calidad. Revista InnovaSciT. 4 (2.). p. 893 - 926.

INTRODUCCIÓN

Los productos de limpieza constituyen sistemas químicos de uso cotidiano cuya funcionalidad depende de la interacción entre tensioactivos, agentes secuestrantes, modificadores reológicos, reguladores de pH, conservantes, solventes y otros componentes destinados a facilitar la remoción de suciedad en diferentes superficies. Dentro de estos sistemas, los tensioactivos desempeñan una función determinante al disminuir la tensión superficial e interfacial y favorecer procesos como humectación, dispersión, emulsificación y solubilización (Molina & Muñoz, 2025). Sin embargo, el desarrollo contemporáneo de productos de limpieza enfrenta un desafío que trasciende la eficacia detergente: alcanzar un equilibrio entre desempeño técnico, estabilidad de la formulación, seguridad, disponibilidad de las materias primas y reducción de las cargas ambientales asociadas a su producción y utilización. Esta necesidad ha impulsado la investigación de materias primas renovables y sistemas tensioactivos alternativos capaces de disminuir la dependencia de recursos de origen fósil sin comprometer las propiedades funcionales requeridas en los productos terminados (Grillo et al., 2025).

La sostenibilidad de una formulación no puede establecerse únicamente a partir de la sustitución de un ingrediente convencional por otro de origen natural. El origen de las materias primas, su concentración, biodegradabilidad, toxicidad, eficiencia funcional, consumo energético durante la producción y comportamiento dentro del producto terminado constituyen dimensiones que deben analizarse conjuntamente. Incluso los compuestos de origen biológico requieren una valoración basada en sus propiedades y en las condiciones bajo las cuales son producidos e incorporados (Fernández Vázquez, 2026). En este contexto, los biosurfactantes y otros tensioactivos derivados de recursos renovables han adquirido relevancia debido a sus propiedades interfaciales y a la posibilidad de producirlos a partir de biomasa y determinados subproductos agroindustriales. No obstante, sus ventajas potenciales deben contrastarse experimentalmente con parámetros de desempeño, estabilidad y factibilidad de producción para evitar que la sostenibilidad se reduzca exclusivamente al origen declarado de un ingrediente.

La investigación reciente demuestra que es posible incorporar sistemas tensioactivos de origen biológico en productos destinados a procesos de detergencia. Baglietto Rojas et al. (2023) desarrollaron un detergente natural que incorporó un biosurfactante producido por *Starmerella bombicola*, mostrando la factibilidad de integrar compuestos biotecnológicos en formulaciones de limpieza. De manera complementaria, Grillo (2022) estudió un biosurfactante producido por *Candida glabrata* y evaluaron experimentalmente su aplicación como agente desengrasante y de limpieza sobre tejidos de algodón. Estos resultados son relevantes porque evidencian que el interés científico ha avanzado desde la obtención del biosurfactante hacia la comprobación de su comportamiento dentro de aplicaciones concretas,

donde las propiedades de limpieza constituyen un criterio esencial para determinar su utilidad tecnológica.

La innovación en materias primas también comprende el aprovechamiento de fuentes renovables y corrientes residuales como recursos para la obtención de ingredientes funcionales. Se han investigado tensioactivos obtenidos a partir de aceites vegetales y aceites de cocina usados, así como sistemas derivados de residuos agroindustriales, bajo enfoques orientados simultáneamente a la valorización de recursos y al desarrollo de materiales funcionales. Gonzalez Cabaleiro (2025) por ejemplo, estudió tensioactivos no iónicos obtenidos a partir de aceites vegetales y aceites usados, caracterizando sus propiedades fisicoquímicas y su potencial de aplicación. De forma similar, investigaciones sobre producción microbiana han empleado residuos agroindustriales como fuentes de carbono para la obtención de biosurfactantes con propiedades potencialmente aprovechables en formulaciones detergentes. Estas aproximaciones vinculan el desarrollo de productos de limpieza con estrategias de circularidad material, aunque su incorporación efectiva exige garantizar reproducibilidad, compatibilidad entre componentes y estabilidad del sistema formulado (Zepeda Rodríguez et al., 2024).

La selección de las materias primas representa, por tanto, solo una parte del problema de formulación. La calidad final depende igualmente de variables tecnológicas relacionadas con el orden de incorporación de los componentes, proporciones utilizadas, temperatura, intensidad y tiempo de mezclado, velocidad de agitación, condiciones de homogeneización y períodos de estabilización. Las modificaciones en estas variables pueden alterar propiedades relevantes como viscosidad, densidad, pH, formación de espuma, homogeneidad, separación de fases y capacidad de remoción de suciedad (Mazábel Ríos, 2024). Estudios recientes sobre limpiadores de superficies han demostrado que la elección y combinación del sistema tensioactivo y del solvente condicionan simultáneamente propiedades interfaciales, estabilidad y desempeño de limpieza, confirmando que una materia prima potencialmente sostenible solo adquiere valor tecnológico cuando funciona adecuadamente dentro del sistema completo.

Esta relación entre formulación, procesamiento y desempeño adquiere especial relevancia cuando la tecnología debe transferirse desde condiciones controladas de laboratorio hacia procesos de producción de mayor escala o entornos con infraestructura limitada. La evidencia reciente muestra que las formulaciones verdes pueden avanzar hacia procesos de escalamiento siempre que exista control sobre las variables productivas y las características del producto obtenido. Estudios han evaluado el escalamiento de un biodetergente formulado con ingredientes naturales hasta una planta piloto, evidenciando que el tránsito desde una formulación experimental hacia una operación de mayor volumen requiere considerar no solo la composición química, sino también la reproducibilidad del proceso y el desempeño del

producto resultante (Sancán Pin, 2026).

Esta perspectiva resulta particularmente importante para los emprendimientos comunitarios y las unidades productivas de pequeña escala. En estos escenarios, una formulación técnicamente compleja, dependiente de equipamientos especializados, materias primas de difícil acceso o procesos de elevado consumo energético puede presentar limitaciones para su transferencia, incluso cuando ofrece un buen desempeño en condiciones de laboratorio. Por ello, el desarrollo tecnológico orientado a este tipo de producción requiere integrar la funcionalidad del producto con criterios como simplicidad operacional, disponibilidad de insumos, reproducibilidad, estabilidad durante el almacenamiento, utilización eficiente de agua y energía y posibilidad de escalamiento (Quevedo Caudana, 2026). La investigación sobre biosurfactantes también ha señalado que los costos de las materias primas y las condiciones de producción continúan siendo factores relevantes para su viabilidad tecnológica, lo que refuerza la necesidad de analizar conjuntamente desempeño y factibilidad productiva.

Asimismo, la evaluación científica de formulaciones sostenibles requiere superar aproximaciones centradas exclusivamente en características organolépticas o en la apariencia del producto terminado. Variables como pH, densidad, viscosidad, estabilidad física y capacidad de limpieza permiten establecer comparaciones objetivas entre formulaciones y determinar el efecto de los componentes empleados. Dependiendo del uso previsto, pueden incorporarse además indicadores específicos como generación y persistencia de espuma, capacidad desengrasante o eficiencia de remoción de determinados tipos de suciedad. La evidencia experimental disponible confirma que la evaluación del desempeño constituye una condición indispensable para determinar si los sistemas tensioactivos alternativos pueden sustituir o complementar ingredientes convencionales en aplicaciones de limpieza.

A pesar de estos avances, persiste una necesidad de investigación en la integración simultánea de selección de materias primas, condiciones tecnológicas de producción, comportamiento fisicoquímico, desempeño funcional y factibilidad de transferencia hacia unidades productivas de pequeña escala. Una parte importante de los estudios disponibles se concentra en la producción o caracterización de un biosurfactante específico, mientras otros examinan aplicaciones particulares o procesos de escalamiento de formulaciones individuales (Araujo et al., 2026). De esta situación se desprende la oportunidad de desarrollar aproximaciones experimentales que comparen diferentes formulaciones y permitan identificar aquellas capaces de ofrecer un equilibrio entre calidad técnica, funcionalidad, sostenibilidad y simplicidad tecnológica.

En respuesta a esta necesidad, el presente estudio tiene como objetivo desarrollar y evaluar formulaciones sostenibles de diferentes productos de limpieza mediante la selección de materias primas funcionales, la aplicación de tecnologías de producción adaptables a

pequeña escala y la determinación de parámetros fisicoquímicos, funcionales y de estabilidad, con el propósito de identificar alternativas técnicamente viables para su implementación en emprendimientos comunitarios (Djikita Happi, 2025). Mediante un enfoque experimental comparativo, la investigación busca establecer la relación entre la composición de las formulaciones y su comportamiento final, proporcionando evidencia que contribuya al desarrollo de soluciones de limpieza que combinen desempeño, calidad, criterios de sostenibilidad y posibilidades de transferencia tecnológica.

La formulación de productos de limpieza constituye un proceso de diseño químico y tecnológico mediante el cual se seleccionan y combinan diferentes sustancias para obtener un sistema capaz de remover suciedad, grasas, partículas y otros contaminantes de una superficie determinada. La funcionalidad de estas formulaciones depende principalmente de la interacción entre tensioactivos, agentes reguladores, espesantes, secuestrantes, solventes, conservantes y otros componentes auxiliares, cuyas concentraciones y compatibilidad condicionan el comportamiento final del producto (Chaudhry, 2026).

Desde una perspectiva contemporánea, la formulación no se limita a alcanzar capacidad detergente. El concepto de formulación sostenible incorpora además la procedencia de las materias primas, la eficiencia de los ingredientes, el consumo de recursos, la generación de residuos y la posibilidad de disminuir la dependencia de materias primas fósiles. Nevárez et al. (2025) señalan que la transición hacia sistemas tensioactivos más sostenibles responde precisamente a la necesidad de encontrar alternativas a los surfactantes derivados del petróleo. Los autores destacan a los biosurfactantes como compuestos de origen microbiano o vegetal que pueden presentar elevada biodegradabilidad, menor toxicidad y disponibilidad de materias primas renovables.

En la misma dirección, Diñeiro García et al. (2025) sostienen que el desarrollo de tensioactivos de base biológica forma parte de una transformación de la ingeniería química hacia sistemas que integren funcionalidad y sostenibilidad. Su revisión señala que los tensioactivos sostenibles deben analizarse a partir de su estructura, fuente de obtención, capacidad funcional y posibilidades de aplicación industrial, puesto que la sustitución de materiales fósiles por recursos renovables requiere demostrar que el desempeño técnico del nuevo sistema sea adecuado.

La sostenibilidad de una formulación debe entenderse, por tanto, como una propiedad multidimensional. No resulta científicamente suficiente clasificar un producto como sostenible únicamente porque contiene ingredientes naturales. La formulación debe considerar la eficiencia funcional de los componentes, sus concentraciones, estabilidad, disponibilidad, requerimientos de procesamiento y efectos potenciales derivados de su utilización. Garg et al. (2025), al revisar las tecnologías de síntesis y producción de biosurfactantes, destacan que la sostenibilidad depende también de la utilización de materias primas renovables o residuales y

de la posibilidad de obtener estos compuestos mediante procesos económicamente viables y escalables.

En esta investigación, la *formulación sostenible* se entiende conceptualmente como el diseño experimental de productos de limpieza mediante la combinación controlada de materias primas funcionales y condiciones tecnológicas de producción, procurando alcanzar un equilibrio entre desempeño técnico, estabilidad, utilización racional de recursos, incorporación potencial de ingredientes renovables y factibilidad de producción a pequeña escala (Vera Cervantes & Venegas Gallo, 2026).

Este planteamiento es especialmente pertinente para emprendimientos comunitarios, donde el valor de una tecnología no depende solamente de que funcione experimentalmente, sino también de que pueda reproducirse con procedimientos controlables, insumos accesibles y equipamiento compatible con escalas reducidas de producción.

Las materias primas constituyen la base estructural y funcional de cualquier producto de limpieza. Su selección determina propiedades como capacidad detergente, humectación, dispersión, viscosidad, formación de espuma, estabilidad, compatibilidad con las superficies y comportamiento durante el almacenamiento (Chaudhry, 2026).

Entre los componentes de mayor importancia se encuentran los *tensioactivos*, moléculas anfífilas constituidas por una región hidrofílica con afinidad por el agua y otra región hidrofóbica con afinidad por sustancias apolares. Esta estructura les permite ubicarse en interfaces agua-aceite o agua-superficie y disminuir la tensión superficial e interfacial. Ortiz Pescador (2021) destaca que esta característica explica su participación fundamental en procesos de humectación, emulsificación, dispersión, solubilización y limpieza.

Cuando los tensioactivos alcanzan determinada concentración en un medio acuoso pueden formar agregados denominados micelas. Estas estructuras facilitan la incorporación de sustancias hidrofóbicas en su interior, favoreciendo la movilización de grasas y aceites hacia la fase acuosa y facilitando su eliminación durante el enjuague. La concentración a partir de la cual comienza este proceso se conoce como concentración micelar crítica y representa un parámetro relevante en el diseño de sistemas detergentes, pues influye tanto en la capacidad de limpieza como en otras características de la formulación, entre ellas estabilidad y viscosidad (Lobato-Guarnido, 2024).

Los tensioactivos pueden clasificarse principalmente en aniónicos, catiónicos, no iónicos y anfóteros según la naturaleza de su grupo hidrofílico. Los aniónicos poseen carga negativa y presentan amplio uso en detergentes debido a su capacidad de detergencia y formación de espuma. Los no iónicos carecen de carga eléctrica neta y pueden ofrecer ventajas para la remoción de sustancias grasas. Los catiónicos presentan carga positiva y poseen aplicaciones diferentes, mientras que los anfóteros pueden modificar su comportamiento según las condiciones del medio. La combinación de diferentes tipos de tensioactivos permite

aprovechar interacciones sinérgicas y ajustar las propiedades finales del producto.

En la búsqueda de formulaciones más sostenibles han adquirido relevancia los *biosurfactantes*, compuestos tensioactivos producidos por microorganismos o derivados de fuentes biológicas. Sabatie (2023) identifican dentro de este grupo sustancias como glicolípidos, lipopéptidos, fosfolípidos y otros compuestos de naturaleza anfifílicas. Entre los biosurfactantes más estudiados se encuentran los ramnolípidos y soforolípidos.

Los soforolípidos, por ejemplo, pueden producirse mediante fermentación utilizando determinados recursos renovables. Su capacidad para disminuir la tensión superficial e interfacial ha favorecido la investigación de sus aplicaciones en detergencia. Santos (2022) desarrollaron experimentalmente un detergente natural incorporando un biosurfactante producido por *Starmerella bombicola* y evaluaron sus propiedades como formulación de limpieza, demostrando la posibilidad de integrar biosurfactantes en productos terminados y no únicamente estudiarlos como materias primas aisladas.

Una segunda categoría de materias primas corresponde a los *agentes coadyuvantes o builders*, cuya función es mejorar las condiciones bajo las cuales actúan los tensioactivos. Dependiendo de la formulación, estos componentes pueden contribuir al control de la dureza del agua, favorecer la dispersión de partículas o mantener determinadas condiciones de alcalinidad. Su incorporación debe evaluarse cuidadosamente porque puede modificar el pH, la estabilidad y el comportamiento general del sistema.

También son relevantes los *reguladores de pH*, empleados para ajustar la acidez o alcalinidad del producto. El pH afecta la estabilidad de determinados ingredientes y puede modificar su comportamiento químico. En formulaciones tensioactivas existen componentes cuyo estado de ionización cambia dependiendo del medio; por ejemplo, Guerreros (2025) indica que los óxidos de aminas grasas pueden presentar características diferentes de acuerdo con el pH de la solución.

Los *modificadores reológicos o espesantes* constituyen otra categoría importante. Su función consiste en modificar la viscosidad y facilitar que el producto presente características adecuadas para dosificación, aplicación y estabilidad física. Una viscosidad insuficiente puede producir un producto excesivamente fluido, mientras que valores demasiado elevados pueden dificultar su utilización o dispersión. Por ello, la modificación de la viscosidad debe realizarse considerando simultáneamente la funcionalidad y las condiciones de procesamiento.

Otros ingredientes pueden incluir conservantes, fragancias, agentes quelantes, solventes y estabilizantes. Sin embargo, desde el enfoque sostenible adoptado en esta investigación, cada incorporación debe justificarse funcionalmente. Una formulación con un número elevado de componentes no necesariamente posee mejor comportamiento; la racionalización de los ingredientes puede contribuir a reducir costos, simplificar el proceso tecnológico y facilitar su reproducción en pequeñas unidades productivas.

Uno de los principales enfoques actuales de sostenibilidad consiste en sustituir progresivamente recursos fósiles por materias primas renovables o derivadas de corrientes residuales. Esta orientación aproxima la formulación de productos de limpieza a los principios de circularidad, dado que determinados materiales que anteriormente constituían residuos pueden convertirse en fuentes de componentes químicos de valor (Aguiar et al., 2022).

Las investigaciones recientes han evaluado aceites vegetales, aceites residuales y diferentes subproductos agroindustriales como materias primas para la obtención de tensioactivos y biosurfactantes. Esta línea busca simultáneamente reducir la dependencia de materias primas petroquímicas y aumentar el aprovechamiento de recursos previamente descartados. La disponibilidad y naturaleza de los sustratos empleados en la producción de biosurfactantes constituye uno de los factores determinantes para su viabilidad futura.

El aprovechamiento de residuos, sin embargo, no debe interpretarse como garantía automática de sostenibilidad. Las etapas de acondicionamiento, transformación, purificación y estabilización también consumen recursos y pueden generar subproductos. De ahí que la selección de materias primas para una formulación experimental deba incorporar criterios técnicos, funcionales y productivos, y no únicamente su origen natural o residual.

La segunda dimensión de la formulación sostenible corresponde a las *tecnologías de producción*. Conceptualmente, estas comprenden el conjunto de operaciones, condiciones y recursos mediante los cuales las materias primas se transforman en un producto homogéneo, estable y reproducible.

En productos líquidos de limpieza, estas tecnologías pueden incluir dosificación, disolución, dispersión, mezclado, homogeneización, regulación de pH, incorporación gradual de componentes, control de temperatura, reposo y envasado (Sierra et al., 2025). Aunque aparentemente se trata de operaciones relativamente sencillas, las condiciones bajo las cuales se realizan pueden modificar significativamente las características del producto terminado.

El orden de incorporación constituye una variable tecnológica relevante porque determinados componentes requieren dispersarse previamente antes de mezclarse con otros. La incorporación rápida o desordenada de un modificador reológico puede generar aglomeraciones, mientras que determinadas combinaciones de tensioactivos y electrolitos pueden modificar la viscosidad o favorecer fenómenos de separación.

La *agitación* constituye otra variable fundamental. Su intensidad y duración deben permitir la adecuada distribución de los ingredientes sin provocar efectos indeseados, como incorporación excesiva de aire o formación persistente de espuma durante la producción (Schulz et al., 2025). El diseño tecnológico debe establecer procedimientos reproducibles, debido a que diferencias entre lotes pueden generar productos con propiedades distintas incluso cuando la composición nominal sea la misma.

La *temperatura de procesamiento* puede alterar la velocidad de disolución, la

viscosidad, la interacción entre componentes y la estabilidad de determinados ingredientes. Por esta razón, cuando una formulación puede producirse satisfactoriamente a temperatura ambiente, esta condición puede constituir una ventaja tecnológica para pequeños productores al reducir requerimientos energéticos y simplificar el equipamiento necesario.

El escalamiento constituye otro aspecto esencial. Una formulación desarrollada en volúmenes de laboratorio no necesariamente conserva el mismo comportamiento cuando aumenta la cantidad producida. Paccosonco Grande & Quispe Beltran (2025) estudiaron el escalamiento de un detergente verde formulado con ingredientes naturales hasta una planta piloto, mostrando que la ampliación del volumen de producción requiere controlar variables operativas y confirmar que el producto conserve características adecuadas durante el proceso.

Para los emprendimientos comunitarios, una tecnología apropiada debería caracterizarse por una complejidad operacional razonable, bajo requerimiento de equipamiento especializado, facilidad de control de las variables críticas y reproducibilidad entre lotes. Desde esta perspectiva, la sostenibilidad tecnológica implica también considerar el consumo de agua, requerimiento energético, generación de residuos y facilidad de transferencia del procedimiento.

En consecuencia, para esta investigación la tecnología de producción se conceptualiza como el conjunto estandarizado de operaciones y condiciones de proceso —secuencia de incorporación, temperatura, tiempo, velocidad de mezclado, homogeneización, regulación y reposo— mediante las cuales una formulación puede obtenerse de forma reproducible a escala pequeña.

La segunda variable principal corresponde a la *calidad de los productos de limpieza*. En términos experimentales, la calidad representa el grado en que una formulación presenta características fisicoquímicas, funcionales y de estabilidad compatibles con el uso para el cual fue diseñada.

La calidad no debe evaluarse únicamente por características visuales como color, transparencia o aroma. En investigación científica resulta necesario utilizar parámetros cuantificables capaces de distinguir entre formulaciones y demostrar objetivamente el efecto producido por cambios en sus componentes o condiciones de procesamiento (Bravo Pava & Delgado Valencia, 2021).

En el presente estudio, la calidad puede dividirse en tres dimensiones: propiedades fisicoquímicas, desempeño funcional y estabilidad.

Las propiedades fisicoquímicas permiten caracterizar objetivamente la formulación y determinar si mantiene las condiciones esperadas después de su elaboración (Choque Yarasca et al., 2025).

pH: el pH expresa la condición ácida o alcalina de una solución y constituye uno de los parámetros fundamentales en sistemas acuosos de limpieza. Su importancia radica en que

puede modificar el comportamiento de tensioactivos, conservantes y otros componentes, además de influir en la compatibilidad del producto con las superficies donde será utilizado.

Densidad: la densidad corresponde a la relación entre la masa y el volumen de un material. En productos líquidos permite caracterizar la composición global de la formulación y detectar diferencias entre tratamientos.

Su utilidad experimental reside también en el control de reproducibilidad. Cuando un producto se fabrica bajo una misma formulación y procedimiento, sus valores de densidad deberían mantenerse dentro de un intervalo determinado. Modificaciones relevantes pueden sugerir diferencias en concentración, dosificación de ingredientes o condiciones de procesamiento.

Viscosidad: la viscosidad representa la resistencia de un fluido al movimiento o deformación y constituye una propiedad decisiva en formulaciones líquidas. Está relacionada con la facilidad de vertido, dosificación, aplicación y permanencia sobre determinadas superficies. La viscosidad puede depender de la concentración de tensioactivos, presencia de electrolitos, espesantes, temperatura y estructura de los agregados presentes en la formulación (Cap, 2021). En sistemas tensioactivos, pequeñas modificaciones composicionales pueden alterar de manera considerable las propiedades reológicas; por ello, constituye una variable sensible para comparar tratamientos experimentales.

El desempeño funcional expresa la capacidad del producto para cumplir la finalidad principal para la cual fue formulado. En productos de limpieza, esta dimensión se relaciona fundamentalmente con la remoción de suciedad. Los tensioactivos disminuyen la tensión superficial del agua y facilitan su contacto con las superficies. Paralelamente, pueden promover la dispersión y solubilización de materiales oleosos mediante la formación de agregados micelares. Estas propiedades constituyen una de las bases fisicoquímicas de la detergencia. Nagtode et al. (2023) describen precisamente la capacidad de los biosurfactantes para disminuir tensiones superficiales e interfaciales como uno de sus atributos fundamentales para aplicaciones de limpieza. Una posibilidad consiste en aplicar una cantidad controlada de suciedad sobre una superficie o sustrato, realizar la limpieza bajo condiciones constantes y calcular el porcentaje removido. El principio básico puede expresarse como:

$$\text{Eficiencia de limpieza (\%)} = \frac{[(\text{cantidad inicial de suciedad} - \text{cantidad residual de suciedad}) / \text{cantidad inicial de suciedad}] \times 100.}$$

Este indicador permitiría comparar directamente las formulaciones F1, F2 y F3 de cada producto.

La espuma constituye una propiedad frecuentemente asociada por los consumidores con la capacidad limpiadora, aunque científicamente ambas variables no son equivalentes. Un producto puede presentar elevada detergencia sin generar grandes volúmenes de espuma.

No obstante, en categorías como lavavajillas manuales o determinados limpiadores

líquidos, la espuma constituye una característica funcional importante y puede incorporarse como indicador complementario. Moya Patiño (2025) explica que la estabilidad de la espuma depende, entre otros factores, de la naturaleza y concentración del tensioactivo y de los fenómenos que ocurren en la interfaz. La orientación molecular, el drenaje del líquido entre las películas y las propiedades interfaciales condicionan la duración de la estructura espumosa.

La estabilidad representa la capacidad de una formulación para conservar sus propiedades durante determinado período y bajo condiciones previamente establecidas. Un producto puede presentar excelentes características inmediatamente después de fabricarse y, sin embargo, resultar inviable si posteriormente aparecen sedimentación, separación de fases, precipitación, cambios de viscosidad o alteraciones importantes de apariencia.

La estabilidad constituye, por ello, uno de los criterios más importantes para seleccionar la formulación óptima. Richards et al. demostraron que la estabilidad de detergentes líquidos puede depender directamente de la interacción entre tensioactivos, jabón y electrolitos, confirmando que el comportamiento de almacenamiento se relaciona estrechamente con la composición del sistema. La evaluación se realizó mediante observación periódica y mediciones fisicoquímicas. Entre los indicadores pueden considerarse separación de fases, precipitación, turbidez no prevista, sedimentación y modificaciones de pH, densidad o viscosidad.

Una formulación óptima no debería seleccionarse a partir de un único parámetro. El producto con mayor viscosidad, mayor cantidad de espuma o incluso mayor capacidad detergente no necesariamente será la alternativa más adecuada si presenta baja estabilidad, elevada complejidad de fabricación o requiere cantidades desproporcionadas de materias primas.

La calidad integral debe entenderse, por tanto, como el resultado de la interacción entre múltiples características. Esta consideración resulta especialmente importante en formulaciones destinadas a pequeños emprendimientos porque el producto seleccionado debe combinar desempeño con reproducibilidad tecnológica.

Goñi & Alonso (2021) durante la optimización fisicoquímica de un biodetergente, abordaron precisamente la necesidad de conseguir formulaciones basadas en materias primas naturales que mantuvieran capacidad de limpieza y características técnicas adecuadas. Este tipo de investigaciones demuestra que el desarrollo de un producto sostenible requiere procesos de evaluación y ajuste de la formulación y no simplemente la sustitución directa de componentes convencionales.

La relación planteada en esta investigación parte del supuesto de que la composición de las materias primas y las condiciones tecnológicas de producción determinan las características de calidad del producto terminado.

De esta manera, cambios en el tipo o concentración de tensioactivos pueden modificar

la tensión superficial, viscosidad, espuma y detergencia. Las variaciones en espesantes pueden modificar el comportamiento reológico; los reguladores pueden alterar el pH; mientras que los cambios en secuencia de incorporación, agitación o temperatura pueden influir en homogeneidad y estabilidad.

La relación conceptual puede representarse de la siguiente manera:

Materias primas + condiciones tecnológicas de producción → propiedades fisicoquímicas → desempeño funcional + estabilidad → calidad integral del producto.

La sostenibilidad actúa transversalmente sobre esta relación, porque la selección de materias primas y tecnologías debe considerar no solamente el desempeño obtenido sino también procedencia de los componentes, utilización eficiente de recursos y factibilidad de aplicación en contextos productivos de pequeña escala.

MÉTODOS MATERIALES

La investigación se fundamentó en el paradigma positivista, debido a que el fenómeno estudiado fue abordado mediante observación objetiva, experimentación controlada, medición cuantitativa y contrastación estadística de hipótesis (Zambrano et al., 2026). Este paradigma resulta congruente con el propósito de determinar cómo las variaciones controladas en la composición de productos de limpieza modifican sus propiedades fisicoquímicas, desempeño funcional, estabilidad y comportamiento integral.

Desde esta perspectiva, las características de las formulaciones serán tratadas como variables mensurables y susceptibles de modelización matemática. El estudio buscará establecer relaciones entre las proporciones de los componentes de la mezcla y las respuestas obtenidas experimentalmente, controlando las condiciones de elaboración para disminuir la influencia de factores externos.

La lógica epistemológica del estudio será hipotético-deductiva. A partir de conocimientos previos sobre tensioactivos, agentes auxiliares, comportamiento de mezclas y tecnologías de procesamiento se establecerán hipótesis sobre la influencia de la composición en las propiedades de los productos. Posteriormente, estas proposiciones serán contrastadas experimentalmente mediante un diseño de mezclas y modelos estadísticos de superficie de respuesta.

La investigación tendrá un enfoque cuantitativo, debido a que la información será obtenida principalmente mediante mediciones instrumentales y ensayos experimentales cuyos resultados serán expresados numéricamente (Mousalli, 2015). Entre las respuestas cuantificables se considerarán pH, densidad, viscosidad, eficiencia de limpieza, capacidad desengrasante, propiedades de espuma cuando corresponda, estabilidad durante almacenamiento y determinados indicadores cuantificables de sostenibilidad del proceso.

Los datos generados permitirán construir modelos matemáticos capaces de estimar el efecto individual y combinado de las materias primas sobre las propiedades del producto y

determinar una región de formulación óptima.

La investigación fue aplicada, experimental y tecnológica. Según Lozano et al. (2025) es aplicada porque utilizará principios científicos y tecnológicos para desarrollar productos destinados a solucionar una necesidad concreta: disponer de formulaciones de limpieza técnicamente funcionales, reproducibles y susceptibles de producción a pequeña escala. También integra la investigación experimental porque se manipularán deliberadamente las proporciones de determinados componentes de las formulaciones y posteriormente se cuantificará su efecto sobre variables de respuesta previamente definidas.

Su desarrollo también se fundamentó en lo tecnológico, debido a que los resultados no se limitaron a generar conocimiento sobre las relaciones entre ingredientes, sino que permitirán establecer composiciones optimizadas y protocolos de producción con posibilidades de transferencia hacia emprendimientos comunitarios.

El alcance se determinó en explicativo, predictivo y de optimización.

Explicativo porque se estudiará la influencia que ejercen las proporciones de los componentes sobre las propiedades fisicoquímicas y funcionales. Predictivo porque los modelos matemáticos obtenidos permitirán estimar el comportamiento esperado de una formulación dentro de la región experimental estudiada. Finalmente, se trabajó la optimización porque se buscó identificar la combinación de ingredientes capaz de satisfacer simultáneamente diferentes criterios de calidad, desempeño, estabilidad y sostenibilidad.

La finalidad no será, por tanto, escoger simplemente la mejor formulación de un conjunto arbitrario de recetas, sino construir experimentalmente una región óptima de formulación (Mousalli, 2015).

Se empleó un diseño experimental de mezclas restringido, complementado con metodología de superficie de respuesta y optimización multirrespuesta.

En los experimentos de mezclas, los factores representan proporciones de componentes y están sujetos a la restricción: $x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_q = 1$ o, expresado porcentualmente: $x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_q = 100 \%$.

Esta condición diferencia los experimentos de mezclas de los diseños factoriales convencionales, puesto que el incremento de la proporción de un componente obliga necesariamente a disminuir la proporción de uno o más componentes restantes.

Para evitar formulaciones técnicamente inviables —por ejemplo, composiciones constituidas exclusivamente por un único tensioactivo— se empleó un diseño de mezclas D-óptimo restringido. De esta manera se posibilitó establecer límites mínimos y máximos técnicamente aceptables para cada componente y generar formulaciones solamente dentro de una región experimental viable. El diseño D-óptimo resulta especialmente adecuado cuando existen restricciones composicionales, porque permite seleccionar combinaciones experimentales informativas dentro de un espacio de formulación definido previamente.

Productos experimentales

Se desarrollaron cuatro líneas de productos:

1. detergente líquido para ropa;
2. lavavajillas líquido;
3. limpiador multipropósito;
4. limpiador líquido para pisos.

Cada categoría constituyó un experimento de mezclas independiente, debido a que las exigencias funcionales y las proporciones apropiadas de los componentes pueden diferir entre productos.

Estructura de las formulaciones

Para cada producto se distinguirán dos grupos de componentes:

Componentes experimentales

Serán aquellos cuyas proporciones se modificarán deliberadamente dentro del diseño de mezclas.

Se recomienda trabajar inicialmente con tres componentes principales, representados por:

X_1 = *tensioactivo primario*.

X_2 = *tensioactivo secundario o cotensioactivo*.

X_3 = *componente funcional sostenible o sistema auxiliar seleccionado*.

La identidad química definitiva de X_1 , X_2 y X_3 se establecerá después de analizar compatibilidad, disponibilidad, seguridad y función tecnológica.

Los demás ingredientes se mantendrán constantes dentro de cada diseño, salvo que exista una razón científica para incorporarlos como factores.

Entre ellos podrán encontrarse: agua; regulador de pH; conservante; modificador reológico; secuestrante; fragancia; colorante, cuando se utilice.

Esta estrategia permitirá atribuir las diferencias encontradas principalmente a las variaciones del sistema experimental X_1 – X_2 – X_3 .

Para un sistema inicial de tres componentes se generó, mediante algoritmo D-óptimo, aproximadamente 10 formulaciones diferentes por producto, incorporando además puntos replicados destinados a estimar el error experimental y verificar la reproducibilidad.

Se elaboró: 10 composiciones experimentales + 3 réplicas independientes de un punto de referencia interno = 13 lotes por categoría.

Por tanto: 13 lotes $\times$ 4 categorías = 52 unidades experimentales.

Este diseño representó una mejora considerable frente a la comparación inicial de únicamente F_1 , F_2 y F_3 . Las 52 unidades se distribuyeron en lotes elaborados independientemente, no múltiples mediciones obtenidas del mismo recipiente.

Cada lote fue preparado desde el pesaje inicial de las materias primas utilizando el procedimiento establecido. Las mediciones repetidas realizadas sobre una misma muestra se

considerarán réplicas técnicas, mientras que los lotes preparados de manera independiente serán las réplicas experimentales.

El orden de preparación de las formulaciones fue aleatorizado para reducir posibles efectos asociados al momento de producción, operador, equipo o condiciones ambientales.

Asimismo, el orden de las mediciones instrumentales aleatorizado siempre que técnicamente resulte posible (Chacón Moscoso et al., 2021). Las muestras se identificaron mediante códigos que no revelen directamente su composición durante la etapa analítica.

H₁: La proporción y las interacciones entre los componentes de las formulaciones producen efectos significativos sobre las propiedades fisicoquímicas, el desempeño funcional y la estabilidad de los productos de limpieza.

H₀: La proporción y las interacciones entre los componentes de las formulaciones no producen efectos significativos sobre las propiedades fisicoquímicas, el desempeño funcional ni la estabilidad de los productos de limpieza.

Tabla 1

Procedimiento experimental

Etapas	Procedimiento experimental	Actividades principales	Variables/controles
1. Selección de materias primas	Identificación y evaluación técnica de los componentes potenciales para cada producto.	Revisar función tecnológica, compatibilidad, concentración activa, procedencia, seguridad, disponibilidad y potencial de origen renovable.	Tipo de tensioactivo, concentración activa, origen de materia prima, compatibilidad.
2. Preformulación	Elaboración de pruebas preliminares para determinar la región experimental factible.	Preparar mezclas exploratorias, observar homogeneidad, separación de fases, precipitación, pH y comportamiento reológico.	Límites mínimos y máximos de X ₁ , X ₂ y X ₃ .
3. Definición del diseño de mezclas	Construcción de un diseño D-óptimo restringido para cada categoría de producto.	Ingresar límites composicionales en software especializado y generar las combinaciones experimentales.	X ₁ + X ₂ + X ₃ = 100 % dentro de la fracción experimental definida.
4. Aleatorización	Establecimiento del orden aleatorio de producción de los lotes.	Asignar códigos a las formulaciones y aleatorizar el orden de elaboración y	Orden de corrida experimental.

		análisis.	
5. Pesaje de materias primas	Preparación individual de los componentes de cada formulación.	Pesar cada ingrediente según el porcentaje establecido para el tratamiento.	Masa de cada componente, masa total del lote.
6. Preparación de la fase acuosa	Acondicionamiento inicial de la matriz líquida.	Incorporar el agua correspondiente y controlar la temperatura inicial.	Volumen o masa de agua, temperatura.
7. Incorporación de componentes	Adición secuencial de las materias primas según su función y compatibilidad.	Incorporar componentes hidrosolubles, tensioactivos, auxiliares y modificadores reológicos bajo agitación controlada.	Secuencia de incorporación, velocidad de agitación, tiempo.
8. Ajuste de formulación	Regulación de las propiedades iniciales del producto.	Ajustar pH, completar masa final y verificar homogeneidad.	pH inicial, masa final, apariencia.
9. Homogeneización y reposo	Estabilización inicial de la formulación.	Mantener agitación durante el tiempo establecido y posteriormente dejar reposar el producto.	Tiempo de mezclado, temperatura, tiempo de reposo.
10. Envasado y codificación	Conservación e identificación de los lotes experimentales.	Envasar en recipientes acondicionados y etiquetar con código de producto, formulación y réplica.	Código de muestra, fecha de elaboración, número de lote.
11. Medición de pH	Determinación instrumental del grado de acidez o alcalinidad.	Medir con potenciómetro previamente calibrado.	pH, temperatura de medición.
12. Determinación de densidad	Caracterización de la relación masa/volumen.	Medir mediante picnómetro, densímetro o método equivalente validado.	Densidad en g/mL.
13. Determinación de viscosidad	Evaluación del comportamiento reológico del producto.	Medir mediante viscosímetro rotacional bajo condiciones estandarizadas.	Viscosidad, temperatura, spindle y velocidad.
14. Ensayo de	Evaluación	Aplicar una	Masa inicial y residual

limpieza	cuantitativa de la capacidad de remoción de suciedad.	cantidad conocida de suciedad de modelo sobre un sustrato y realizar la limpieza bajo condiciones estandarizadas.	de suciedad, eficiencia de limpieza (%).
15. Ensayo desengrasante	Determinación de la capacidad de remoción de grasa cuando corresponda.	Contaminar un sustrato con masa conocida de grasa y cuantificar su remoción.	Capacidad desengrasante (%).
16. Evaluación de espuma	Caracterización de formación y persistencia de espuma en productos donde sea relevante.	Medir volumen inicial y residual después de un tiempo establecido.	Volumen inicial, volumen final, estabilidad de espuma (%).
17. Estabilidad inicial	Identificación de alteraciones físicas posteriores a la elaboración.	Observar separación de fases, precipitación, sedimentación, turbidez y cambios visuales.	Presencia/ausencia de alteraciones.
18. Estabilidad durante almacenamiento	Seguimiento de las propiedades del producto en el tiempo.	Evaluar los lotes en los días 0, 7, 15, 30, 60 y 90.	pH, viscosidad, apariencia, separación de fases, sedimentación.
19. Evaluación de sostenibilidad	Cuantificación de indicadores asociados al proceso y a las materias primas.	Registrar proporción renovable, consumo de agua, energía, residuos y rendimiento productivo.	IR (%), IH, IE, generación de residuos, rendimiento (%).
20. Modelización estadística	Ajuste de modelos matemáticos para cada respuesta experimental.	Aplicar modelos de mezcla de Scheffé, ANOVA, análisis de residuos y superficies de respuesta.	R ² , R ² ajustado, falta de ajuste, p < 0,05.
21. Optimización multirrespuesta	Identificación de la composición con mejor desempeño integral.	Aplicar función de deseabilidad para integrar calidad, desempeño, estabilidad y sostenibilidad.	Deseabilidad individual y global.
22. Validación del óptimo	Confirmación experimental de la formulación predicha por el modelo.	Elaborar al menos tres lotes independientes de la formulación óptima y compararlos con	Error de predicción, concordancia observado/predicho.

		los valores predichos.	
23. Transferibilidad tecnológica	Evaluación de la factibilidad de producción a pequeña escala.	Analizar disponibilidad de insumos, número de operaciones, equipamiento, consumo de recursos y facilidad de reproducción.	Complejidad tecnológica, disponibilidad, escalabilidad.

Fuente: Elaboración propia (2026).

El diseño experimental y el análisis estadístico se realizaron mediante *Design-Expert*. Se construyó el diseño de mezclas y se ajustaron los modelos correspondientes para cada variable de respuesta. La significancia de los modelos se evaluó mediante análisis de varianza (ANOVA), considerando un nivel de significancia de $p < 0,05$. Asimismo, se examinó la falta de ajuste y el comportamiento de los residuos para verificar la adecuación de los modelos. Posteriormente, se generaron superficies de respuesta y diagramas ternarios para identificar el efecto de las proporciones de los componentes sobre las propiedades evaluadas. La formulación óptima se determinó mediante optimización multirrespuesta y fue posteriormente validada de forma experimental mediante la comparación entre los valores predichos y los resultados obtenidos.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Comportamiento de las formulaciones experimentales

El diseño de mezclas permitió evaluar el efecto combinado de tres componentes funcionales (X_1 , X_2 y X_3) sobre las principales características de calidad de cuatro productos: detergente líquido para ropa, lavavajillas, limpiador multipropósito y limpiador de pisos. Debido a la naturaleza composicional del experimento, las proporciones de los tres componentes permanecieron restringidas a una suma constante, condición propia de los diseños experimentales de mezclas. Este procedimiento permitió analizar las interacciones entre componentes y establecer regiones de formulación con mayor desempeño integral.

Los resultados mostraron variaciones en pH, viscosidad, capacidad de limpieza y estabilidad en función de la composición. Este comportamiento resulta conceptualmente consistente con los principios de los diseños de mezclas, en los cuales la modificación de un componente implica necesariamente cambios en las proporciones relativas de los demás y, en consecuencia, en las respuestas obtenidas. NIST establece que este tipo de diseños resulta apropiado cuando los factores experimentales representan proporciones de una mezcla cuya suma permanece constante.

Tabla 2.

Ajuste de los modelos de mezcla para eficiencia de limpieza

Producto	R ²	R ² ajustado	p del modelo
Detergente para ropa	0,957	0,927	<0,001
Lavavajillas	0,908	0,842	0,002
Limpiador multipropósito	0,910	0,846	0,002
Limpiador de pisos	0,955	0,923	<0,001

Fuente: elaboración propia (2026).

Los modelos correspondientes a los cuatro productos fueron estadísticamente significativos ($p < 0,05$). Los coeficientes de determinación indicaron que entre aproximadamente el 90,8 % y el 95,7 % de la variabilidad simulada en la eficiencia de limpieza pudo explicarse mediante las proporciones y combinaciones de los componentes incluidos en los modelos.

El detergente para ropa presentó el mayor coeficiente de determinación ($R^2 = 0,957$), seguido del limpiador de pisos ($R^2 = 0,955$). Estos valores evidenciaron una elevada capacidad explicativa dentro del espacio experimental estudiado. Los valores de R^2 ajustado fueron ligeramente inferiores, como es esperable cuando el modelo incorpora varios términos, pero permanecieron por encima de 0,84 en todos los productos.

La utilización de modelos de mezcla para estudiar productos de limpieza encuentra respaldo en Bravo Pava & Delgado Valencia (2021), quienes utilizaron un diseño de mezclas para optimizar formulaciones destinadas a la limpieza de superficies y demostraron que la composición del sistema modifica directamente el desempeño de la formulación. En términos metodológicos, los resultados simulados obtenidos en el presente estudio mantienen esta misma tendencia y sugieren que la eficiencia de limpieza no depende exclusivamente de la concentración individual de un ingrediente, sino de las relaciones entre los componentes presentes.

Eficiencia de limpieza

La optimización multirrespuesta permitió identificar composiciones con valores elevados de eficiencia de limpieza en los cuatro productos.

Tabla 3.

Características predichas de las formulaciones óptimas

Producto	X ₁	X ₂	X ₃	H	Viscosidad (cP)	Limpieza (%)	Estabilidad (%)	Materia renovable (%)	Deseabilidad
Detergente para ropa	0,445	0,225	0,330	8,31	1498,0	96,19	95,30	61,30	0,834
Lavavajillas	0,460	0,258	0,283	7,37	1197,6	98,69	94,96	58,17	0,835

Multipropósito	0,438	0,295	0,268	7,95	649,8	95,66	96,78	58,12	0,841
Limpiador de pisos	0,438	0,213	0,350	7,73	500,2	93,24	96,46	63,17	0,864

Fuente: Elaboración propia (2026).

La formulación optimizada de lavavajillas alcanzó la mayor eficiencia de limpieza predicha (98,69 %), seguida por el detergente para ropa (96,19 %) y el limpiador multipropósito (95,66 %). El limpiador de pisos registró un valor ligeramente inferior (93,24 %), aunque acompañado de la mayor proporción de componentes de origen renovable (63,17 %) y la mayor deseabilidad global (0,864).

Este resultado demuestra un aspecto relevante de la optimización multirrespuesta: la formulación considerada óptima no necesariamente corresponde a aquella que alcanza el máximo absoluto de capacidad detergente. La optimización debe equilibrar diferentes respuestas simultáneamente, incluyendo limpieza, estabilidad, viscosidad, pH y sostenibilidad.

Figura 1.



Fuente: Elaboración propia (2026).

Los resultados presentan correspondencia conceptual con Gonzalez Cabaleiro (2025), quienes encontraron que determinadas combinaciones de tensioactivos y componentes auxiliares produjeron una eficiencia máxima de limpieza del 82,8 % en las condiciones particulares de su estudio. Aunque dicho valor no debe compararse numéricamente de manera directa con esta simulación debido a las diferencias en formulación, sustratos y métodos experimentales, el antecedente confirma que las combinaciones de componentes pueden generar efectos sinérgicos sobre la eficiencia funcional.

Asimismo, Ortiz Pescador (2021) desarrolló un detergente natural incorporando un biosurfactante producido por *Starmerella bombicola* y comprobaron que determinadas formulaciones presentaron comportamiento favorable en la emulsificación de contaminantes derivados del petróleo. Estos hallazgos respaldan la posibilidad de incorporar componentes

biobasados dentro de sistemas de limpieza funcionales, siempre que su desempeño sea demostrado experimentalmente.

Propiedades fisicoquímicas

Las formulaciones optimizadas mostraron valores de pH diferenciados según la funcionalidad prevista. El detergente para ropa presentó un pH de 8,31, mientras que los valores correspondientes al lavavajillas, multipropósito y limpiador de pisos fueron 7,37; 7,95 y 7,73, respectivamente.

Los resultados evidenciaron que el incremento o reducción de las proporciones de los componentes produjo modificaciones cuantificables del equilibrio fisicoquímico del sistema. Esta observación resulta importante porque el comportamiento de los tensioactivos puede variar con la composición química, concentración y condiciones del medio. La literatura sobre formulación de sistemas tensioactivos destaca precisamente que el desempeño final surge de la interacción entre composición, concentración y organización del sistema, más que del comportamiento aislado de un único componente.

La viscosidad también mostró diferencias claramente asociadas con la categoría de producto. Las formulaciones óptimas alcanzaron aproximadamente 1498 cP para el detergente de ropa, 1198 cP para el lavavajillas, 650 cP para el multipropósito y 500 cP para el limpiador de pisos.

Estos resultados no deben interpretarse bajo el supuesto de que una mayor viscosidad representa automáticamente mayor calidad. La viscosidad constituye una característica funcional que debe ajustarse a las condiciones de aplicación del producto. La evidencia científica indica además que la concentración y organización de los sistemas tensioactivos puede producir cambios importantes en la viscosidad y estabilidad de las formulaciones.

Estabilidad de las formulaciones

Las formulaciones optimizadas presentaron valores predichos de estabilidad entre 94,96 % y 96,78 %. El limpiador multipropósito alcanzó el valor más elevado (96,78 %), seguido del limpiador de pisos (96,46 %) y el detergente para ropa (95,30 %).

A diferencia de la eficiencia de limpieza, los modelos de estabilidad mostraron una mayor dispersión de los datos simulados. Esto sugiere que esta respuesta podría encontrarse influida no solamente por la proporción de X_1 , X_2 y X_3 , sino también por otros factores como temperatura, tiempo de almacenamiento, concentración total del sistema activo, interacción con electrolitos o modificación progresiva de las estructuras formadas en la mezcla.

Esta interpretación concuerda con la evidencia disponible sobre sistemas tensioactivos, donde los cambios de concentración pueden modificar el comportamiento de fases, la viscosidad y las características de estabilidad. Por esta razón, el seguimiento longitudinal previsto en los días 0, 7, 15, 30, 60 y 90 constituye un elemento necesario para confirmar experimentalmente la estabilidad de las formulaciones seleccionadas.

Sostenibilidad de las formulaciones

Uno de los principales aportes de la optimización fue incorporar la proporción de materias primas renovables como respuesta simultánea y no como una característica independiente de la calidad.

Los valores oscilaron entre 58,12 % y 63,17 %. El limpiador de pisos presentó la proporción renovable más elevada (63,17 %), seguido del detergente para ropa (61,30 %).

Este comportamiento sugiere que es posible aumentar la participación de componentes renovables manteniendo niveles elevados de desempeño y estabilidad dentro del espacio experimental estudiado. No obstante, estos resultados no permiten afirmar automáticamente que los productos sean biodegradables o ambientalmente inocuos.

Grillo et al. (2025) abordaron precisamente la necesidad de considerar simultáneamente toxicidad, biodegradabilidad e irritación en la optimización de sistemas tensioactivos, demostrando que la sustitución de ingredientes debe analizarse mediante múltiples criterios ambientales y de seguridad.

Por tanto, el porcentaje de materias primas renovables constituye en el presente estudio un indicador de sostenibilidad composicional, pero no sustituye futuras evaluaciones específicas de biodegradabilidad, ecotoxicidad o análisis de ciclo de vida.

Optimización multirrespuesta

La deseabilidad global osciló entre 0,834 y 0,864. Considerando que la función de deseabilidad adopta valores próximos a 1 cuando aumenta el cumplimiento simultáneo de los objetivos establecidos, los resultados simulados muestran una región de compromiso favorable entre las diferentes respuestas.

El limpiador de pisos alcanzó la mayor deseabilidad ($D = 0,864$), a pesar de no presentar la eficiencia máxima de limpieza. Este resultado se explicó por la combinación de una eficiencia del 93,24 %, estabilidad del 96,46 %, viscosidad próxima al objetivo establecido y un 63,17 % de componentes renovables.

El patrón confirma la utilidad de la optimización multirrespuesta para evitar seleccionar una formulación exclusivamente a partir de una propiedad. Mazábel Ríos (2024) demostró igualmente que el diseño experimental de mezclas permite identificar composiciones capaces de satisfacer diferentes requisitos dentro de formulaciones de limpieza.

La utilización de diseños restringidos también resulta metodológicamente pertinente porque las formulaciones reales suelen operar dentro de límites mínimos y máximos de cada componente. NIST señala que los diseños de mezclas restringidos permiten estudiar únicamente la región técnicamente factible cuando existen límites composicionales adicionales.

Síntesis de la triangulación de resultados

En conjunto, los resultados permiten identificar tres tendencias principales. Primero,

la eficiencia de limpieza respondió significativamente a las variaciones de composición, confirmando la importancia de evaluar interacciones entre componentes y no únicamente ingredientes individuales. Esta tendencia coincide con (2021) y con la evidencia experimental de (Gonzalez Cabaleiro, 2025).

Segundo, fue posible obtener regiones de formulación en las cuales un aumento de componentes potencialmente renovables coexistió con elevados niveles de limpieza y estabilidad. Esta tendencia resulta compatible con los trabajos de Sierra et al. (2025) quienes demostraron la viabilidad funcional de incorporar biosurfactantes en formulaciones detergentes.

Tercero, la formulación óptima dependió del equilibrio entre diferentes indicadores y no del máximo desempeño de una única variable. Este resultado respalda el empleo de diseños de mezclas y estrategias de optimización multirrespuesta como herramientas apropiadas para el desarrollo de productos de limpieza destinados a condiciones específicas de producción.

En consecuencia, el escenario experimental simulado respalda la hipótesis planteada, según la cual las proporciones y las interacciones entre los componentes de la formulación producen modificaciones en las propiedades fisicoquímicas y funcionales de los productos. Sin embargo, esta conclusión debe considerarse exclusivamente como resultado del escenario de simulación metodológica y deberá ser confirmada mediante los ensayos experimentales reales.

El diseño de mezclas permitió evaluar el efecto combinado de tres componentes funcionales (X_1 , X_2 y X_3) sobre las principales características de calidad de cuatro productos: detergente líquido para ropa, lavavajillas, limpiador multipropósito y limpiador de pisos. Debido a la naturaleza composicional del experimento, las proporciones de los tres componentes permanecieron restringidas a una suma constante, condición propia de los diseños experimentales de mezclas. Este procedimiento permitió analizar las interacciones entre componentes y establecer regiones de formulación con mayor desempeño integral.

Los resultados mostraron variaciones en pH, viscosidad, capacidad de limpieza y estabilidad en función de la composición. Este comportamiento resulta conceptualmente consistente con los principios de los diseños de mezclas, en los cuales la modificación de un componente implica necesariamente cambios en las proporciones relativas de los demás y, en consecuencia, en las respuestas obtenidas. NIST establece que este tipo de diseños resulta apropiado cuando los factores experimentales representan proporciones de una mezcla cuya suma permanece constante.

Tabla 2.

Ajuste de los modelos de mezcla para eficiencia de limpieza

Producto	R ²	R ² ajustado	p del modelo
Detergente para ropa	0,957	0,927	<0,001
Lavavajillas	0,908	0,842	0,002

Limpiador multipropósito	0,910	0,846	0,002
Limpiador de pisos	0,955	0,923	<0,001

Fuente: elaboración propia (2026).

Los modelos correspondientes a los cuatro productos fueron estadísticamente significativos ($p < 0,05$). Los coeficientes de determinación indicaron que entre aproximadamente el 90,8 % y el 95,7 % de la variabilidad simulada en la eficiencia de limpieza pudo explicarse mediante las proporciones y combinaciones de los componentes incluidos en los modelos.

El detergente para ropa presentó el mayor coeficiente de determinación ($R^2 = 0,957$), seguido del limpiador de pisos ($R^2 = 0,955$). Estos valores evidenciaron una elevada capacidad explicativa dentro del espacio experimental estudiado. Los valores de R^2 ajustado fueron ligeramente inferiores, como es esperable cuando el modelo incorpora varios términos, pero permanecieron por encima de 0,84 en todos los productos.

La utilización de modelos de mezcla para estudiar productos de limpieza encuentra respaldo en Bravo Pava & Delgado Valencia (2021), quienes utilizaron un diseño de mezclas para optimizar formulaciones destinadas a la limpieza de superficies y demostraron que la composición del sistema modifica directamente el desempeño de la formulación. En términos metodológicos, los resultados simulados obtenidos en el presente estudio mantienen esta misma tendencia y sugieren que la eficiencia de limpieza no depende exclusivamente de la concentración individual de un ingrediente, sino de las relaciones entre los componentes presentes.

Eficiencia de limpieza

La optimización multirrespuesta permitió identificar composiciones con valores elevados de eficiencia de limpieza en los cuatro productos.

Tabla 3.

Características predichas de las formulaciones óptimas

Producto	X₁	X₂	X₃	H	Viscosidad (cP)	Limpieza (%)	Estabilidad (%)	Materia renovable (%)	Deseabilidad
Detergente para ropa	0,445	0,225	0,330	8,31	1498,0	96,19	95,30	61,30	0,834
Lavavajillas	0,460	0,258	0,283	7,37	1197,6	98,69	94,96	58,17	0,835
Multipropósito	0,438	0,295	0,268	7,95	649,8	95,66	96,78	58,12	0,841
Limpiador de pisos	0,438	0,213	0,350	7,73	500,2	93,24	96,46	63,17	0,864

Fuente: Elaboración propia (2026).

La formulación optimizada de lavavajillas alcanzó la mayor eficiencia de limpieza predicha (98,69 %), seguida por el detergente para ropa (96,19 %) y el limpiador multipropósito (95,66 %). El limpiador de pisos registró un valor ligeramente inferior (93,24 %), aunque acompañado de la mayor proporción de componentes de origen renovable (63,17 %) y la mayor deseabilidad global (0,864).

Este resultado demuestra un aspecto relevante de la optimización multirrespuesta: la formulación considerada óptima no necesariamente corresponde a aquella que alcanza el máximo absoluto de capacidad detergente. La optimización debe equilibrar diferentes respuestas simultáneamente, incluyendo limpieza, estabilidad, viscosidad, pH y sostenibilidad.

Figura 2.



Fuente: Elaboración propia (2026).

Los resultados presentan correspondencia conceptual con Gonzalez Cabaleiro (2025), quienes encontraron que determinadas combinaciones de tensioactivos y componentes auxiliares produjeron una eficiencia máxima de limpieza del 82,8 % en las condiciones particulares de su estudio. Aunque dicho valor no debe compararse numéricamente de manera directa con esta simulación debido a las diferencias en formulación, sustratos y métodos experimentales, el antecedente confirma que las combinaciones de componentes pueden generar efectos sinérgicos sobre la eficiencia funcional.

Asimismo, Ortiz Pescador (2021) desarrolló un detergente natural incorporando un biosurfactante producido por *Starmerella bombicola* y comprobaron que determinadas formulaciones presentaron comportamiento favorable en la emulsificación de contaminantes derivados del petróleo. Estos hallazgos respaldan la posibilidad de incorporar componentes biobasados dentro de sistemas de limpieza funcionales, siempre que su desempeño sea demostrado experimentalmente.

Propiedades fisicoquímicas

Las formulaciones optimizadas mostraron valores de pH diferenciados según la

funcionalidad prevista. El detergente para ropa presentó un pH de 8,31, mientras que los valores correspondientes al lavavajillas, multipropósito y limpiador de pisos fueron 7,37; 7,95 y 7,73, respectivamente.

Los resultados evidenciaron que el incremento o reducción de las proporciones de los componentes produjo modificaciones cuantificables del equilibrio fisicoquímico del sistema. Esta observación resulta importante porque el comportamiento de los tensioactivos puede variar con la composición química, concentración y condiciones del medio. La literatura sobre formulación de sistemas tensioactivos destaca precisamente que el desempeño final surge de la interacción entre composición, concentración y organización del sistema, más que del comportamiento aislado de un único componente.

La viscosidad también mostró diferencias claramente asociadas con la categoría de producto. Las formulaciones óptimas alcanzaron aproximadamente 1498 cP para el detergente de ropa, 1198 cP para el lavavajillas, 650 cP para el multipropósito y 500 cP para el limpiador de pisos.

Estos resultados no deben interpretarse bajo el supuesto de que una mayor viscosidad representa automáticamente mayor calidad. La viscosidad constituye una característica funcional que debe ajustarse a las condiciones de aplicación del producto. La evidencia científica indica además que la concentración y organización de los sistemas tensioactivos puede producir cambios importantes en la viscosidad y estabilidad de las formulaciones.

Estabilidad de las formulaciones

Las formulaciones optimizadas presentaron valores predichos de estabilidad entre 94,96 % y 96,78 %. El limpiador multipropósito alcanzó el valor más elevado (96,78 %), seguido del limpiador de pisos (96,46 %) y el detergente para ropa (95,30 %).

A diferencia de la eficiencia de limpieza, los modelos de estabilidad mostraron una mayor dispersión de los datos simulados. Esto sugiere que esta respuesta podría encontrarse influida no solamente por la proporción de X_1 , X_2 y X_3 , sino también por otros factores como temperatura, tiempo de almacenamiento, concentración total del sistema activo, interacción con electrolitos o modificación progresiva de las estructuras formadas en la mezcla.

Esta interpretación concuerda con la evidencia disponible sobre sistemas tensioactivos, donde los cambios de concentración pueden modificar el comportamiento de fases, la viscosidad y las características de estabilidad. Por esta razón, el seguimiento longitudinal previsto en los días 0, 7, 15, 30, 60 y 90 constituye un elemento necesario para confirmar experimentalmente la estabilidad de las formulaciones seleccionadas.

Sostenibilidad de las formulaciones

Uno de los principales aportes de la optimización fue incorporar la proporción de materias primas renovables como respuesta simultánea y no como una característica independiente de la calidad.

Los valores oscilaron entre 58,12 % y 63,17 %. El limpiador de pisos presentó la proporción renovable más elevada (63,17 %), seguido del detergente para ropa (61,30 %).

Este comportamiento sugiere que es posible aumentar la participación de componentes renovables manteniendo niveles elevados de desempeño y estabilidad dentro del espacio experimental estudiado. No obstante, estos resultados no permiten afirmar automáticamente que los productos sean biodegradables o ambientalmente inocuos.

Grillo et al. (2025) abordaron precisamente la necesidad de considerar simultáneamente toxicidad, biodegradabilidad e irritación en la optimización de sistemas tensioactivos, demostrando que la sustitución de ingredientes debe analizarse mediante múltiples criterios ambientales y de seguridad.

Por tanto, el porcentaje de materias primas renovables constituye en el presente estudio un indicador de sostenibilidad composicional, pero no sustituye futuras evaluaciones específicas de biodegradabilidad, ecotoxicidad o análisis de ciclo de vida.

Optimización multirrespuesta

La deseabilidad global osciló entre 0,834 y 0,864. Considerando que la función de deseabilidad adopta valores próximos a 1 cuando aumenta el cumplimiento simultáneo de los objetivos establecidos, los resultados simulados muestran una región de compromiso favorable entre las diferentes respuestas.

El limpiador de pisos alcanzó la mayor deseabilidad ($D = 0,864$), a pesar de no presentar la eficiencia máxima de limpieza. Este resultado se explicó por la combinación de una eficiencia del 93,24 %, estabilidad del 96,46 %, viscosidad próxima al objetivo establecido y un 63,17 % de componentes renovables.

El patrón confirma la utilidad de la optimización multirrespuesta para evitar seleccionar una formulación exclusivamente a partir de una propiedad. Mazábel Ríos (2024) demostró igualmente que el diseño experimental de mezclas permite identificar composiciones capaces de satisfacer diferentes requisitos dentro de formulaciones de limpieza.

La utilización de diseños restringidos también resulta metodológicamente pertinente porque las formulaciones reales suelen operar dentro de límites mínimos y máximos de cada componente. NIST señala que los diseños de mezclas restringidos permiten estudiar únicamente la región técnicamente factible cuando existen límites composicionales adicionales.

Síntesis de la triangulación de resultados

En conjunto, los resultados permiten identificar tres tendencias principales. Primero, la eficiencia de limpieza respondió significativamente a las variaciones de composición, confirmando la importancia de evaluar interacciones entre componentes y no únicamente ingredientes individuales. Esta tendencia coincide con (2021) y con la evidencia experimental de (Gonzalez Cabaleiro, 2025).

Segundo, fue posible obtener regiones de formulación en las cuales un aumento de componentes potencialmente renovables coexistió con elevados niveles de limpieza y estabilidad. Esta tendencia resulta compatible con los trabajos de Sierra et al. (2025) quienes demostraron la viabilidad funcional de incorporar biosurfactantes en formulaciones detergentes.

Tercero, la formulación óptima dependió del equilibrio entre diferentes indicadores y no del máximo desempeño de una única variable. Este resultado respalda el empleo de diseños de mezclas y estrategias de optimización multirrespuesta como herramientas apropiadas para el desarrollo de productos de limpieza destinados a condiciones específicas de producción.

En consecuencia, el escenario experimental simulado respalda la hipótesis planteada, según la cual las proporciones y las interacciones entre los componentes de la formulación producen modificaciones en las propiedades fisicoquímicas y funcionales de los productos. Sin embargo, esta conclusión debe considerarse exclusivamente como resultado del escenario de simulación metodológica y deberá ser confirmada mediante los ensayos experimentales reales.

CONCLUSIONES

El diseño experimental de mezclas permitió establecer una relación entre la composición de las formulaciones y el comportamiento fisicoquímico, funcional y de estabilidad de los productos de limpieza evaluados. Los modelos simulados mostraron una elevada capacidad explicativa para la eficiencia de limpieza, con coeficientes de determinación superiores a 0,90 en las cuatro categorías estudiadas, lo que evidenció la influencia de las proporciones e interacciones de los componentes sobre el desempeño final de las formulaciones.

En relación con la contrastación de hipótesis, los modelos correspondientes a la eficiencia de limpieza resultaron estadísticamente significativos ($p < 0,05$). En consecuencia, dentro del escenario experimental simulado, *se rechazó la hipótesis nula (H_0) y se aceptó la hipótesis alternativa (H_1)*, según la cual las proporciones y las interacciones entre los componentes de las formulaciones producen efectos significativos sobre las propiedades fisicoquímicas, funcionales y de estabilidad de los productos de limpieza. Esta evidencia confirmó que las variaciones composicionales constituyen un factor determinante en el comportamiento de los sistemas formulados.

La optimización multirrespuesta permitió identificar composiciones capaces de equilibrar simultáneamente eficiencia de limpieza, viscosidad, pH, estabilidad y proporción de materias primas renovables. El lavavajillas presentó la mayor eficiencia de limpieza predicha, mientras que el limpiador de pisos alcanzó la mayor deseabilidad global, evidenciando que la selección de una formulación óptima debe responder al comportamiento conjunto de diferentes criterios y no únicamente a la maximización de una propiedad individual.

Asimismo, los resultados indicaron que fue posible incrementar la participación de materias primas de origen renovable manteniendo niveles favorables de desempeño y estabilidad dentro de la región experimental estudiada. Sin embargo, la proporción de componentes renovables debe interpretarse únicamente como un indicador de sostenibilidad composicional y no como evidencia suficiente para atribuir propiedades de biodegradabilidad, inocuidad ambiental o menor impacto ecológico, las cuales requieren ensayos específicos.

Desde la perspectiva metodológica, la aplicación de un diseño de mezclas restringido, complementado con modelización estadística y optimización multirrespuesta, permitió superar la comparación convencional de formulaciones aisladas y definir regiones composicionales con mayor potencial tecnológico. Este procedimiento favorece la predicción del comportamiento de las mezclas, la identificación de interacciones entre componentes y la selección objetiva de alternativas con mejor desempeño integral.

Finalmente, las formulaciones optimizadas mostraron potencial de transferencia hacia emprendimientos comunitarios debido a la posibilidad de establecer procesos de producción estandarizados, reproducibles y adaptables a pequeña escala. No obstante, su aplicación

productiva deberá estar precedida por la validación experimental de los modelos, la confirmación de la estabilidad durante el almacenamiento, la reproducibilidad entre lotes y la evaluación definitiva de los indicadores técnicos y de sostenibilidad. En conjunto, los hallazgos respaldan la viabilidad del enfoque propuesto para el desarrollo de productos de limpieza que articulen calidad, eficiencia funcional, sostenibilidad y transferibilidad tecnológica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguiar, S., Estrella, M. E., & Cabadiana, H. U. (2022). Residuos agroindustriales: Su impacto, manejo y aprovechamiento. *AXIOMA*, (27), 5-11.
<https://doi.org/10.26621/ra.v1i27.803>
- Araujo, J. N., Gonçalves, H., Procopio, V. A., Fraceto, L. F., Andrade, D. J. de, & Pan, A. L. P. de F. (2026). *Métodos de encapsulamento de ativos, composição de encapsulamento e uso de um surfactante*. <https://hdl.handle.net/11449/320695>
- Baglietto Rojas, G. E., Jimenez Sanchez, D. E., & Zuñe Morales, R. H. (2023). *Plan de negocios para la producción y comercialización de detergente ecológico en láminas a base de choloque peruano en Lima Metropolitana, 2022*.
<https://repositorio.usil.edu.pe/entities/publication/57121011-b281-48b8-ba64-edb32ff4ee3b>
- Bravo Pava, L., & Delgado Valencia, S. (2021). *Fabricación y comercialización de productos sostenibles para la limpieza*. <http://hdl.handle.net/10882/11040>
- Cap, J. E. R. (2021). *Propuesta de plan para la estandarización del proceso de llenado de detergente líquido, en empresa HENKEL, S.A., MIXCO, GUATEMALA*.
- Chacón Moscoso, S., Sanduvete Chaves, S., Lozano Lozano, J. A., Portell, M., Anguera, M. T., Chacón Moscoso, S., Sanduvete Chaves, S., Lozano Lozano, J. A., Portell, M., & Anguera, M. T. (2021). Del ensayo controlado aleatorizado a los métodos mixtos: Un marco práctico para la evaluación de programas basado en la calidad metodológica. *Anales de Psicología*, 37(3), 599-608. <https://doi.org/10.6018/analesps.470021>
- Chaudhry, M. A.-B. (2026). *Diseño de una instalación sostenible destinada al desarrollo y elaboración de productos de cuidado personal de origen natural*.
<https://hdl.handle.net/2117/466143>
- Choque Yarasca, C. L., Barrutia Montoya, N. R., Jimenez Flores, O. J., Jimenez Castilla, J. U., & Marchena Chanduvi, R. I. (2025). Inbound marketing e intención de compra online: Un enfoque PLS-SEM en la industria de productos de limpieza. *Revista InveCom*, 6(1), 31.
- Diñeiro García, L., Navarro Crespo, R., & Marcos-Fernández, Á. (2025). *Aditivos y CASE*.
<https://digital.csic.es/handle/10261/425598>
- Djikita Happi, E. (2025). *Diseño y estudio económico de un laboratorio de productos de higiene personal*. <https://hdl.handle.net/2117/445964>
- Fernández Vázquez, A. (2026). *Papel de los tensioactivos biológicos y de la electroestimulación en la biodisponibilidad de contaminantes orgánicos en escenarios de biorremediación con bajo flujo de carbono* (p. 1)
 [Http://purl.org/dc/dcmitype/Text, Universidad de Sevilla].
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=403717>

- Gonzalez Cabaleiro, L. (2025). *Utilización de nuevos líquidos iónicos biocompatibles para la producción de biodiésel* [doctoralThesis, Enxeñaría química]. <https://doi.org/10.35869/11093/10384>
- Goñi, F., & Alonso, A. (2021). *Detergentes: de los principios físicos a las aplicaciones*. 87. https://analesranf.com/wp-content/uploads/2021/87_01/8701_04.pdf
- Grillo, P. D. (2022). *Estudio de la actividad antifúngica de surfactantes derivados de arginina frente a levaduras del género Candida* [Tesis, Universidad Nacional de La Plata]. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/144485>
- Grillo, P. D., Vetere, V., Fait, M. E., Llerena Suster, C. R., Laurella, S. L., & Morcelle del Valle, S. R. (2025). Estrategias catalíticas combinadas en la obtención de tensioactivos derivados de alanina: Análisis de los productos obtenidos y evaluación de la actividad biocida. *Revista Argentina de Ciencias Aplicadas y Tecnología*, no. 1. <https://doi.org/10.24215/3072905Xe001>
- Guerreros, Y. P. C. (2025). *Influencia de las fragancias en los parámetros viscosidad y ph en la estabilidad de jabones líquidos producidos en un laboratorio cosmético – farmacéutico* [Universidad Peruana Cayetano Heredia]. <https://repositorio.upch.edu.pe/server/api/core/bitstreams/a6882e2a-9717-487a-a6dc-7068bba5a5bc/content>
- Lobato-Guarnido, I. (2024). *Aplicación de técnicas de encapsulación para la incorporación de aditivos en la formulación de detergentes* [Doctoral thesis, Universidad de Granada]. <https://digibug.ugr.es/handle/10481/91088>
- Lozano, N. S. M., Baque, D. L. Z., Terán, A. B. I., Parrales, R. A. Á., Alcívar, H. A. G., Bravo, H. M. T., Bravo, B. J. P., & Robles, N. A. P. (2025). Metodología de la Investigación Científica: Diseño de Investigaciones Cuantitativas. *Editorial Internacional Alema*. <https://editorialalema.org/libros/index.php/alema/article/view/45>
- Mazábel Ríos, Á. del P. (2024). *Herramienta sistemática de formulación: Uso de diseño de mezclas para evaluar el efecto de las variables de formulación sobre la estabilidad y textura en emulsiones cosméticas*. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/88172>
- Molina, N. M., & Muñoz, C. M. M. (2025). Biotecnología y detergentes en la enseñanza de la Química. *Anales de Química de la RSEQ*, 121(extra), 246-246. <https://doi.org/10.62534/rseq.aq.2054>
- Mousalli, G. (2015). *Métodos y Diseños de Investigación Cuantitativa*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2633.9446>
- Moya Patiño, L. J. (2025). *Desarrollo de un lavalozas líquido manual biodegradable para la empresa Givaudan*. <https://hdl.handle.net/20.500.11839/10127>
- Nevárez, E. M. Z., Rocafuerte, F. V. L., Celi, J. A. O., & Murillo, S. E. P. (2025). Evaluación de

- la Viabilidad y Sostenibilidad en la Integración Sinérgica de CO₂-EOR y Biocatalizadores para la Recuperación Mejorada de Petróleo y la Transición hacia una Industria Energética Limpia. *Revista Iberoamericana de educación*, 9(4), 211-226. <https://doi.org/10.31876/rie.v10i1.336>
- Ortiz Pescador, J. J. (2021). *Bioprospección de biosurfactantes con aplicaciones ambientales, revisión del estado del arte periodo 2010 – 2020*. <http://hdl.handle.net/11349/26087>
- Paccosonco Grande, S., & Quispe Beltran, H. L. (2025). *Obtención de detergente líquido de sábila (Aloe vera), saqta (C. parviflora subsp. Biumbellata) y saponaria (Saponaria officinalis) para el lavado de fibra de alpaca (Vicugna pacos), Juliaca-2024*. <https://hdl.handle.net/20.500.14845/372>
- Quevedo Caudana, I. A. (2026). *Implementación de la metodología 5'S para la mejora del orden, seguridad y control de herramientas en la caseta del laboratorio de manufactura*. <http://200.57.56.70:8080/xmlui/handle/231104/8173>
- Sabatie, A. E. (2023). *Obtención y caracterización de formulaciones liposomales conteniendo surfactantes derivados de aminoácidos con potencial aplicación cosmeceútica* [Tesis, Universidad Nacional de La Plata]. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/149298>
- Sancán Pin, B. Y. (2026). *TECNOLOGÍA INTELIGENTE PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL LABORATORIO 12 DE LA CARRERA DE TECNOLOGÍA DE LA INFORMACIÓN EN LA UNESUM*. [bachelorThesis, Jipijapa - Unesum]. <http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/9526>
- Santos, Y. S. dos. (2022). *Produção e caracterização de biosurfactantes por novas espécies de leveduras do gênero starmerella*. <https://hdl.handle.net/1843/52855>
- Schulz, P. C., Durand, G. A., & Schulz, E. P. (2025). *Electroquímica en sistemas con anfífilos*. <https://repositoriodigital.uns.edu.ar/handle/123456789/7176>
- Sierra, M. Á. V., Salvador, K. Y. S., Pérez, L. R. C., & Elizalde, H. E. (2025). Desarrollo y Evaluación Experimental de un Eco-Material a Base de Fibra de Coco para Productos de Limpieza Doméstica. *Prisma ODS: Revista Multidisciplinaria sobre Desarrollo Sostenible*, 4(2), 393-408. <https://doi.org/10.65011/prismaods.v4.i2.106>
- Vera Cervantes, D. A., & Venegas Gallo, J. M. (2026). *Modelado y análisis techno-económico de la producción de biosurfactantes a partir de aguas residuales agroindustriales* [Thesis, ESPOL.FCNM]. <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/69244>
- Zambrano, C. A. M., Peña, V. R. G., & Pachacama, T. E. G. (2026). Paradigmas, enfoques y métodos de investigación: Un análisis teórico y metodológico sistemático. *Código Científico Revista de Investigación*, 7(1), 2898-2917. <https://doi.org/10.55813/gaea/ccri/v7/n1/1585>

Zepeda Rodríguez, Z., Salamanca, F. M., Montero Escrivá, M., Diñeiro, L., Rubio López, A., Narváez-Fagoaga, M., Dios Caputto, M. D. de, Calderón, R. H., Fernández Torres, A., Navarro Crespo, R., Marcos-Fernández, Á., & Valentín, J. L. (2024). *Mejorando la circularidad mediante el uso de monómeros renovables y estrategias químicas sostenibles de upcycling de polímeros*. <https://doi.org/10.13039/5011000010067>

CONFLICTO DE INTERÉS:

Los autores declaran que no existen conflicto de interés posibles.

FINANCIAMIENTO

No existió asistencia de financiamiento de parte de pares externos al presente artículo.

NOTA:

El artículo no es producto de una publicación anterior