

# Tensioactivos a base de saponinas: Una revisión.

## Surfactant saponin based: A review.

Hernández, Inés<sup>1,2</sup>; Orejuela, Lourdes<sup>2,3</sup>, Pereira, Juan<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Laboratorio de Petróleos, Hidrocarburos y Derivados (PHD), Dpto. de Química, Universidad de Carabobo, Facultad Experimental de Ciencias y Tecnología, Valencia, Venezuela.

<sup>2</sup>Grupo de Ingeniería Circular Aplicada & Simulación GICAS-USFQ, <sup>3</sup>Departamento de Ingeniería Química, Universidad San Francisco de Quito USFQ. Quito, Ecuador.

[jcpereir@uc.edu.ve](mailto:jcpereir@uc.edu.ve)\*

### Resumen

*Las saponinas son compuestos secundarios, heterósidos y fitoquímicos formados por diversas agliconas triterpenoides, esteroides (solubles en lípidos y agua) y una o más fracciones de carbohidratos (cadenas de azúcares de naturaleza anfifílica). Estas sustancias amorfas también se denominan: sapogenina y glucosaponinas. Normalmente tienen un alto peso molecular y se caracterizan por su diversidad y complejidad estructural, lo que les confiere una serie de propiedades físicas, químicas y biológicas. Por sus efectos beneficiosos, se encuentran ampliamente distribuidos en el reino vegetal; en dicotiledóneas y principalmente monocotiledóneas, como producto de biomasa y como fuente naturalmente rica en compuestos funcionales con potenciales y numerosas aplicaciones. En los últimos años, se ha convertido en una tendencia mundial; razón por la cual en este trabajo se revisaron diversas fuentes acerca de su química, propiedades interfaciales y aplicaciones.*

**Palabras clave:** Biomasa, tensioactivo, agliconas, carbohidratos e impacto ambiental.

### Abstract

*Saponins are secondary compounds, heterosides, and phytochemicals formed by various triterpenoid aglycones, steroids (soluble in lipids and water), and one or more carbohydrate fractions (sugar chains of amphiphilic nature). These amorphous substances are also called sapogenin and glucoseponins. They usually have a high molecular weight and are characterized by their diversity and structural complexity, which gives them a series of physical, chemical, and biological properties. Due to their beneficial effects, they are widely distributed in the plant kingdom, in dicotyledons and mainly monocotyledons, as a biomass product and as a naturally rich source of functional compounds with potential and numerous applications. In recent years, it has become a global trend, which is why, in this work, various sources about its chemistry, interfacial properties, and applications were reviewed.*

**Key words:** Biomass, surfactant, aglycones, carbohydrates and environmental impact

## 1 Introducción

En los últimos años ha crecido el interés acerca de los diferentes usos de la biomasa como fuente renovable para la producción de productos químicos y biocombustibles, destacando entre ellos, como uno de los productos químicos de mayor utilidad comercial, los surfactantes, en virtud de su amplio campo de aplicación. Bajo esta perspectiva, debemos considerar en primer lugar, que la biomasa en términos energéticos viene a ser, la fracción biodegradable de los productos y subproductos de origen biológico procedentes de actividades agrarias, las cuales se encuentran contenidas en sustancias de origen vegetal y animal, provenientes de la silvicultura y de las industrias conexas, incluidas la pesca y la acuicultura, así como la fracción biológica degradable de los subproductos industriales y municipales. Esta definición es la más aceptada de acuerdo con lo emitido por la comunidad internacional, expuesta por la Directiva del Parlamento Europeo y del Consejo, (DIR 2009).

Además de ser considerada, como fuente de energía limpia por su papel en la lucha contra el cambio climático, al generar menor impacto ambiental, y por su contribución a la mejora de la competitividad, generación de empleo y desarrollo regional de los pueblos (Güiza y col., 2019). No obstante, es importante señalar, que el uso constante en la actualidad de los tensoactivos sintéticos, han generado efectos adversos tanto a nivel ambiental como en la salud de los seres humanos, al ser un contaminante que, de una forma u otra, llegan hasta los ríos, lagos y mares y a su vez vuelven a entrar en la cadena alimentaria hasta llegar nuevamente hasta los seres humanos (Wasilewski, 2016; Gunsha, 2013).

En líneas generales, los tensoactivos se caracterizan por ser moléculas anfifílicas con una porción hidrofílica y otra hidrofóbica; que se localizan preferentemente en la interfase de fluidos con diferentes grados de polaridad como son la de aceite-agua o aire-agua (Jiménez, 2010). Estas propiedades los hacen versátiles para ser empleados en un sin número de productos en el mercado, que como se mencionó anteriormente. En virtud de sus múltiples aplicaciones tecnológicas y beneficios, se constituyen una de las principales razones, por las cuales han surgido diversas investigaciones en esta área (McClements, 2016), las cuales básicamente consisten en la obtención de nuevos productos tensoactivos, pero de origen biológico y biodegradables, para reducir así, la exposición a los químicos (Méndez, 2016), como una posible alternativa para reemplazar los surfactantes sintéticos. Siendo estos capaces de satisfacer las crecientes y continuas necesidades comerciales, vinculadas entre otras a las industrias de: alimentos, pinturas, detergentes, productos de limpieza, (Carrera, 2017), agricultura, cosmética, textiles, industria papelera, así como la industria química y petroquímica que comprende plásticos, gomas y derivados, etc. (Güiza, 2019).

Por consiguiente, diversos autores (Cowan, 2014), han planteado que, para que un compuesto sea considerado como surfactante natural deberá ser altamente eficiente en procesos de lavado y/o limpieza, no tóxicos (o al menos ligeramente tóxicos), biodegradables (capaces de descomponerse después de ingresar al medio ambiente en un tiempo razonable), así como también, excelentes emulsificantes y de bajo costo, con la finalidad de que

puedan ser adquiridos en cantidades necesarias por los usuarios (Brica, 2016).

Dentro de este orden de ideas, considerando que en la naturaleza; específicamente en el reino vegetal; existe una amplia e importante distribución de estos compuestos; idóneos para comportarse como tensoactivos; caracterizados además, por su diversidad estructural, y por el hecho de ser generados de forma natural en las plantas (biomasa), decimos entonces, que es éste el motivo esencial por el cual en la presente investigación, abordaremos en particular, a un compuesto tensoactivo natural, como lo son las saponinas, las cuales se estiman que se encuentran presentes en al menos 500 géneros de plantas, calificadas además, de naturaleza polar, siendo libremente solubles en agua pero insolubles en disolventes no polares. En otras palabras, las saponinas son glucósidos de agliconas triterpenoides o esteroides con un número variable de cadenas laterales de azúcares (Ravikumar y col., 1987). Definidas habitualmente, como sustancias amorfas que tienen un peso molecular elevado y generalmente, son consideradas como una sustancia química o fitoquímica que afectan las cualidades organolépticas de los alimentos, y que, forma parte del sistema de defensa de las plantas, ya que, sirve como barreras de protección a factores bióticos y abióticos, debido a su sabor amargo (Vélez y col., 2014; Troisi y col., 2014).

Otros autores se refieren a las saponinas, como un tipo de metabolito secundario que pertenecen al grupo de los glucósidos formados por uno o más residuos oligosacáridicos unidos covalentemente a una aglicona de carácter hidrofóbico (Hostettmann y col., 1995), donde se incluyen a las sustancias constituidas por azúcares en forma de acetales asimétricos mixtos (Morris y col., 1994). Es decir, constan de un núcleo lipofílico que puede presentar una estructura esteroidal o triterpenoidal, con una o más cadenas de carbohidratos (Price y col., 1987). En donde, al núcleo lipofílico se le denomina aglicón, por ser el grupo que está enlazado a un átomo de carbono anomérico, que es el átomo de carbono enlazado a dos oxígenos, o a un oxígeno y cualquier otro heteroátomo, como el nitrógeno (Wade, 2004). Por lo que, la naturaleza química del aglicón definirá la clasificación de la saponina como esteroidal o triterpenoidal.

Por consiguiente, al ser las saponinas ampliamente estudiadas por sus propiedades biológicas, a la fecha, se han identificado alrededor de 30 saponinas derivadas de la hederagenina de los ácidos oleanólico, fitolacagénico y serjanico en la planta de quinua (Ahumada y col., 2016). Son reconocidas también, por presentar monosacáridos y grupos polares en la aglicona (Mac Donald y col., 2005), que las hace parte del grupo de los heterósidos; caracterizados por sus propiedades tensoactivas y hemolíticas (Mena y col., 2015); formadas por hidratos de carbono (azúcares) y una sapogenina (aglicona) con enlace glucosídico. Dicho enlace se forma a través del oxígeno del carbono tres (C-3) de la sapogenina (Méndez, 2016). Ellas se encuentran dentro del grupo de los glicósidos heterósidos; ya que, por hidrólisis ácida queda libre la sapogenina. Su actividad glicosídica se presencia en los azúcares de la serie D

(glucosa, galactosa, xilosa) en la forma  $\beta$ , y en los azúcares de la serie L (arabinosa y ramnosa) en la forma  $\alpha$ . Hecho éste que dio origen etimológicamente, al nombre genérico de estas sustancias provenientes del latín “*sapo*” (jabón), (Martínez, 2001), debido a su capacidad de formar espuma estable y abundante en una solución acuosa, que al poseer un extremo hidrofílico y otro extremo marcadamente hidrofóbico (Elias y col., 2013), disminuye la tensión superficial.

En este punto, es preciso destacar que; la diversidad y complejidad estructural que ellas presentan, siendo ésta una de las características de las saponinas más importantes; que indudablemente le confiere propiedades humectantes, espumantes, detergentes, emulsionantes, solubilizantes, hemolíticas, etc., (Yang y col., 2010; Zhang y col., 2020; Mitra y col., 2001; Mitra y col., 1997; İbanoğlu y col., 2000).

En ese sentido se comprende que, su diversidad estructural se refleja en sus propiedades fisicoquímicas y biológicas, las cuales son aprovechadas y empleadas como jabones, veneno para peces y molusquicidas, entre otras aplicaciones comerciales (Price y col., 1987; Oakenfull 1981; D'Mello y col., 1991; Hostettmann y col., 1995; Oakenfull y Sidhu, 1989), incluyendo a la industria alimenticia; como tensioactivo y agentes espumante (Martín y Briones, 1999); precisando en este último caso que, tradicionalmente se le han considerado como "factores antinutricionales" (Thompson, 1993), mientras que en otros casos, se ha limitado su uso debido a su sabor amargo (Ridout y col., 1991). Por lo que en esta área de investigación; el principal enfoque versa en relación con su eliminación para facilitar el consumo humano (Khokhar y Chauhan, 1986; Ridout y col., 1991).

En relación con lo antes indicado, se tiene que en los últimos años las fuentes alimentarias y no alimentarias (Hostettmann y col., 1995; Balandrin, 1996), productos de las saponinas, han mostrado elevados y evidentes beneficios para la salud, como lo son: propiedades anticancerígenas, reductoras del colesterol (Gurfinkel y col., 2003; Kim y col., 2003b), acción antiinflamatoria, acción protectora contra el daño hepático (Zhou y col., 1991; Sasaki y col., 1988), entre otras. Del mismo modo, en otras investigaciones se ha instaurado a las saponinas como componentes activos en medicamentos a base de hierbas (Liu, 2002; Grigore y col., 2020), destacando entre sus tributos, los beneficios para la salud que aportan los alimentos como la soja (Kerwin, 2004; Oakenfull, 2001) y ajo (Matsuura, 2001), etc.

En resumen, podemos decir que, históricamente se han definido diversos compuestos, a base de las propiedades presente en las saponinas, vinculadas al potencial comercial e industrial (alimentaria, química, cosmética, farmacéutica, textil, pinturas, lubricantes, productos de limpieza y artículos de aseo personal, entre otros), por consiguiente, diversos estudios, han optado por establecer una definición más precisa, en base a su estructura molecular, esto es, según su origen biosintético, así como también, han apostado al desarrollo de nuevos procesos de extracción (Herrera y col., 2019), purificación (Flechas y col., 2009), técnicas (Mello y Santos, 2001), estrategias (Muir y col., 2002) para la obtención y aplicaciones tecnológicas (Rickert y col., 2004b). Enfocado de esa manera, a continuación, se presenta de manera resumida una revisión en lo concerniente a la química, fuentes, propiedades interfaciales y

aplicaciones de los tensioactivos a base de saponinas.

## 2 Generalidades de las Saponinas

Las saponinas son glucósidos que contienen una o más cadenas de azúcares, en una columna vertebral de aglicona triterpénica o esterooidal también llamada sapogenina. Están categorizados según el número de cadenas de azúcar en su estructura como mono, di o tridesmosídico. La mayoría de las saponinas conocidas son monodesmosídicas, tienen una sola cadena de azúcar, es decir, presentan un único sitio de glicosilación y comúnmente éste es el hidroxilo unido al C-3 de la aglicona (Vincken y col., 2007). En cambio, las saponinas bidesmosídicas tienen dos cadenas de azúcares, a menudo, unida a través de un éter enlace en C-3 y uno unido a través de un enlace éster en C-28 (saponinas triterpénicas) o un enlace éter en C-26 (furanol saponinas). A continuación, se mencionan los monosacáridos más comunes: D-glucosa (Glc), D-galactosa (Gal), Ácido D-glucurónico (GlcA), Ácido D-galacturónico (GalA), L-ramnosa (Rha), L-arabinosa (Ara), D-xilosa (Xyl) y D-fucosa (Fuc). Es preciso señalar, que la naturaleza de la aglicona, y, por ende, de los grupos funcionales en la columna vertebral de aglicona, así como también, el número y la naturaleza de los azúcares presentes, varían mucho, lo que resulta en un grupo muy diverso de compuestos (Price y col., 1987; Hostettmann y col., 1995).

Desde el punto de vista químico, las saponinas al ser hidrolizadas rinden de 2 a 6 residuos de monosacáridos y una porción carbonada policíclica que es la aglicona del glicósido, a la cual se le denomina genéricamente sapogenina. Pueden tener un esqueleto tipo esterooidal (de base gonano) o de tipo triterpenoide (derivados del escualeno), las cuales dan lugar a las dos grandes familias de estos metabolitos, por lo que, dependiendo del tipo de genina presente, las saponinas pueden dividirse en:

### 2.1 Saponinas esteroidales

Son aquellas cuyos compuestos se caracterizan por presentar un anillo de 1,2- ciclopentanofenantreno. Estas saponinas poseen una aglicona que corresponde a un grupo esterooidal de 27 átomos de carbono que es un núcleo epirostanano. Son menos abundantes en la naturaleza, de carácter neutro (Méndez, 2016), se encuentran principalmente en familias de la clase monocotiledónea, como son: Liliáceas (Agavaceae), Dioscoreáceas y Amarilidáceas), mayoritariamente se encuentran en las Monocotiledóneas. Dentro de este grupo, adicionalmente se encuentran los alcaloides esteroidales.

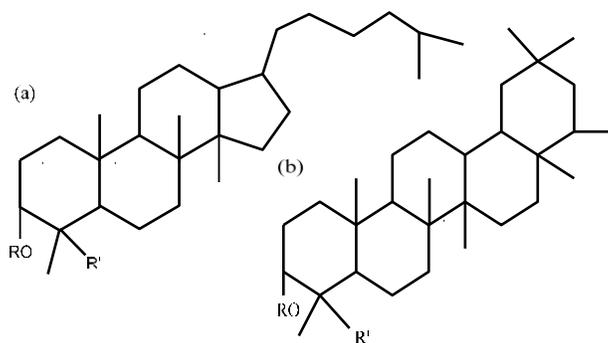
En cambio, en las dicotiledóneas se les ha encontrado en las familias Solanaceae y Scrofulariaceae. En el género *Agave* se han identificado varias sapogeninas como: hecogenina, manogenina, yucagenina, agavogenina, sarsapogenina, texogenina, esmilagenina, gitogenina, tigogenina y clorogenina. Algunas de estas saponinas son de gran interés e importancia por su relación con compuestos como las

hormonas sexuales, cortisona, esteroides diuréticos, vitamina D y heterósidos cardíacos. Por este motivo, algunos son utilizados como materia de partida para la síntesis de compuestos (Hernández y col., 2014).

## 2.2 Saponinas Triterpénicas

Son aquellas cuyo aglicón es un grupo terpenoide pentacíclico de 30 átomos de Carbono. Principalmente, se caracterizan debido a su sabor amargo, apariencia cristalina y gomosa, alta termoestabilidad y elevado peso molecular que va de 600 a 2700 Da., (Méndez, 2016). Estas sustancias se encuentran presentes en la mayoría de las plantas, sea de manera natural, en forma libre, formando ésteres, o como parte de un glicósido. Existen tres tipos de estructuras químicas diferentes (30-45 carbonos): acíclicas como el escualeno, considerado como el precursor natural de esta familia: tetracíclicas como el panaxadiol y pentacíclicas como la estallogenina. Las saponinas pentacíclicas se subdividen a su vez en 3 grupos: tipo lupano; tipo ursano (derivado de la  $\alpha$  amirina), ambos no están presentes en los forrajes y finalmente, los de tipo oleanano (derivados de la  $\beta$  amirina). Por otro lado, sus estructuras se han caracterizado, por ejemplo, sobre la base de hidrólisis y datos espectrales, especialmente evidencia de RMN, conforme lo han señalado (Zhu y col., 2002). Entre los más conocidos están: el ácido oleanólico y la hederagenina quienes se encuentran principalmente en las plantas dicotiledóneas como, por ejemplo: el ginseng y la quinua. Se caracterizan por ser de reacción ligeramente ácida y por poseer un sabor menos amargo en comparación con las saponinas esteroidales (Hernández y col., 2014). Entre otros tipos de saponinas triterpénicas tenemos: Umbelíferas, Leguminosas, cariofiláceas, Araliáceas, Ramnáceas, etc., (Sparg y col., 2004). Siendo, las más comunes, las pertenecientes a algunos animales marinos y a las dicotiledóneas.

Cabe considerar por otra parte, que las dos familias de saponinas antes referidas, presentan además un grupo de características generales que sirven de base para su identificación rápida, como lo son: a) producción de espuma al ser agitadas sus soluciones acuosas, lo cual es la base de la reacción de selivoflo empleada en el tamizaje fitoquímico; b) producción de hemólisis de los glóbulos rojos por la mayoría de ellas, propiedad que se aprovecha en las técnicas en que se cuantifica la potencia de estas sustancias; c) toxicidad en animales poiquilotérmicos, en especial los peces (sapotoxinas), a los cuales provocan parálisis de las agallas (se emplean en formas destructivas de pesca "pescar embarbascado"); d) producción de una reacción positiva en la prueba de Liebermann-Burchard. Indicativa por lo general, que las esteroidales en esta prueba manifiestan colores que van desde el azul hasta el verde y las triterpénicas, van desde el color rosado, rojo a violeta. Además, la mayoría de las saponinas son solubles en diferente grado de soluciones de etanol al 80 %, propiedad que se emplea en diversas técnicas para su extracción y purificación. Siendo necesario conocer inicialmente las fuentes de donde se generan las saponinas. En la Figura 1 se presenta las estructuras de las saponinas: un esteroide (a) y un triterpenoide (b).



**Fig 1.** Estructuras de las saponinas: un esteroide (a) y un triterpenoide (b)

Structures of saponins: a steroid (a) and a triterpenoid (b)

## 2.3 Fuentes de las saponinas

La presencia de saponinas se ha informado en más de 100 familias de plantas, y en algunas fuentes marinas como la estrella pescado y pepino de mar (Hostettmann y col., 1995). No obstante, como se mencionó anteriormente, se estiman que se encuentran presentes en al menos 500 géneros de plantas (Ravikumar y col., 1987). Entre tanto, el contenido de saponina de materia vegetal se ve afectado por factores ambientales y agronómicos asociados con el crecimiento de la planta (especie, origen genético, parte de la planta que se examina), y tratamientos postcosecha tales como almacenamiento y procesamiento (Fenwick, 1991).

Las principales fuentes de saponinas son: las legumbres (soja, garbanzos, quínoa, frijoles mungo, cacahuetes, habas, frijoles, lentejas), (Del Hierro y col., 2018), también están presentes en la avena, especies de allium (puerro, ajo), espárragos, té, espinacas, remolacha azucarera y ñame (Price y col., 1987). Árbol de corteza de jabón (*Quillaja saponaria*), fenogreco (*Trigonella foenum-graceum*), alfalfa (*Medicago sativa*), castaño de indias (*Aesculus hippocastanum*), regaliz (especies de *Glycyrrhiza* como *Glycyrrhiza glabra*), jaboncillo (*Saponaria officinalis*), Mojave yuca (*Yucca schidigera*), género *gypsophila* (como *Gypsophila paniculata*), zarparrilla (*Smilax regelii* y otros especies estrechamente relacionados del género *Smilax*) y ginseng (género *Panax*) son las principales fuentes no alimentarias de saponinas utilizadas en aplicaciones industriales vinculadas a la salud (Hostettmann y col., 1995); (Balandrin, 1996). No obstante, existen muchas más aplicaciones que a grandes rasgos van a depender de la complejidad estructural, es por ello, que a continuación, mencionaremos algunas características.

## 2.4 Características de las saponinas

La complejidad estructural de las saponinas da como resultado una serie de propiedades físicas, químicas y biológicas. A continuación, se mencionan alguna de ellas:

### 2.4.1 Físicas

- Tienen un sabor amargo.
- Son altamente termoestables.
- Presentan una apariencia gomosa o cristalina.
- Elevado peso molecular de 600-2700 Da (Méndez, 2016).

### 2.4.2 Químicas

- Favorecen la formación de emulsiones.
- Son muy solubles en agua y alcohol; por lo que, la agitación de sus soluciones acuosas e hidroalcohólicas producen la formación de una espuma estable y abundante.
- Se les confieren propiedades detergentes; ya que, su aglicón esteroide o triterpénico es soluble en lípidos y sus azúcares son solubles en agua (Méndez, 2016).
- Su aislamiento (Ma y col., 1989) y purificación son procedimientos dificultosos.
- Tienen la propiedad de ligar amoníaco.

### 2.4.3 Biológicas

- Son parte del aparato de defensa vegetal contra patógenos y herbívoros.
- Se caracterizan por ser biodegradables, no contaminantes de las aguas.
- Presentan propiedades antibacterianas e inhibición de bacterias *Escherichia Coli* y *Salmonella* (Canales, 2023), sobre todo en bacterias Gram positivo.
- En el ser humano, ocasionan irritación de la mucosa nasal, una muestra en polvo de la misma causa estornudos.
- Son inocuas para el ser humano, al ser ingeridas por vía oral, ejemplo de ello: la zarzaparrilla es una bebida refrescante rica en saponinas. Aunque, los medicamentos a base de saponinas pueden ser administrados por vía oral, según Méndez, 2016.
- Son altamente tóxicas para el ser humano, cuando se administran por vía endovenosa.
- Provocan la hemólisis; es decir la destrucción de la membrana de los glóbulos rojos de la sangre, expulsando la hemoglobina al torrente sanguíneo (Assa, 1973).
- Su toxicidad es letal para los animales de sangre fría, por ejemplo, en animales acuáticos como: peces, esponjas, corales.
- Se consideran antinutricionales; ya que, causan impermeabilidad intestinal, en aves y porcinos interfieren con la absorción de colesterol, ácidos grasos y vitaminas liposolubles.
- En estudios recientes, se señalan que algunas saponinas tienen propiedades anticancerígenas, así como también hipocolesteromizantes e inmunoestimuladoras (Berry y col., 1988; Rao y Koratkar, 1997; Kaufman y col., 1999; Huxtable y Cheeke, 1989).

- Disminuyen la tensión superficial de las soluciones acuosas; por lo que, se los considera como agentes tensioactivos.

## 3 Estructuras de las saponinas

Como se mencionó anteriormente, las saponinas son tensioactivos no iónicos, que tradicionalmente se clasifican según las agliconas en triterpénicas o esteroidales. Ambos núcleos hidrofóbicos poseen un precursor biosintético el epóxido 2,3-escualeno y se dividen en dos clases: de treinta átomos de carbono (C-30), el escualeno u esqueleto básico anillado pentacíclico que le dan el carácter lipofílico, pero en la ruta biosintética de las esteroidales se pierden tres grupos metilo formando núcleos de C-27 que dan origen a un núcleo ciclopentanoperhidrofenantreno. Otros autores (Hostettmann y col., 1995; Haralampidis y col., 2002), plantean como otro grupo, el de los glicoalcaloides esteroidales, ya que, éstos también se componen por residuos oligosacáridicos unidos a un núcleo esterooidal nitrogenado. Sin embargo, otros investigadores sostienen que deben ser tratados dentro del grupo de los alcaloides de manera separada.

Otros autores sugieren que las saponinas al ser compuestos derivados de la  $\beta$ -amirina, se forman por una mezcla compleja de glucósidos triterpénicos provenientes de diferentes ácidos como el oleanólico, fitolacagénico, serjanico, deoxifitolacagénico, entre otros, con los grupos carboxilato e hidroxilo (Kuljanabagavad y col., 2008). En la Figura 2 se muestra la estructura general de la saponina.

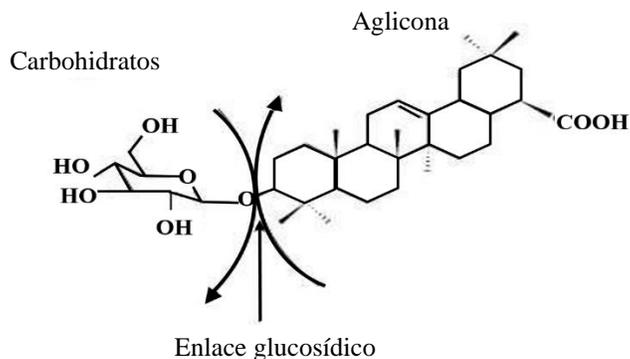


Fig 2. Estructura general de la saponina  
General structure of saponin

No obstante, Vincken y col., 2007, realizaron un estudio analítico de las diversas estructuras de las saponinas reportadas y propusieron organizar a estos compuestos en once grupos diferentes basándose en el origen biosintético de las agliconas y sus modificaciones. Por lo que es necesario describir brevemente el origen biosintético en este amplio grupo de metabolitos secundarios.

#### 4 Biosíntesis

En lo que se refiere a la localización de la biosíntesis de saponinas, no existen reglas generales, ya que, en diferentes especies la localización difiere. Es decir, en algunos casos son sintetizadas en partes verdes y luego transportadas hacia las raíces (*Calendula officinalis*), mientras que, en otros casos son directamente sintetizadas en la raíz y se almacenan en la peridermis y corteza exterior, por ejemplo, *Panax ginseng*. (Henry y col., 1991).

#### 5 Propiedades de las saponinas

##### 5.1 Fisicoquímicas

La concentración micelar crítica (CMC) se toma como parámetro común para comparar las propiedades interfaciales entre varias saponinas y extractos de ellas (Böttcher y Drusch, 2016). Por ejemplo, la saponaria de soja, *saponaria officinalis* y saponaria de Quillaja, forman micelas en soluciones acuosas, sin embargo, el tamaño y su estructura va a depender del tipo de saponina (Oakenfull, 1986). A su vez se ven influenciadas por los cambios en la temperatura, la composición y el pH, (Mitra y col., 1997).

Siendo el agua, los alcoholes como el metanol, etanol y los alcoholes acuosos, los disolventes más comunes de extracción empleados para solubilizar las saponinas, (Hostettmann y col., 1995). Sin embargo, en contraste a ellas, las sapogeninas, tienen muy buena solubilidad en los solventes orgánicos, entre ellos: éter, cloroformo, benceno, acetato de etilo y/o ácido acético glacial (Cheeke, 2023).

En cuanto a la temperatura, los mismos autores discuten el porqué de la existencia de este mínimo de CMC en función de la temperatura. Es decir, para surfactantes iónicos, la CMC en solución agua-alcohol primero decrece y luego vuelve a crecer con la temperatura (Singh y col., 1979). Mientras que Crook, 1963, se observó un fenómeno semejante, con el mínimo cerca de 50°C. Otro parámetro, que se ve influenciado por la temperatura, es la viscosidad intrínseca de las soluciones diluidas, exhibiendo una disminución monotónica, al incrementar la temperatura.

Por otra parte, se tiene que la formación de micelas podría depender también del pH acuoso o grupos ácidos presente en la solución de la saponina, por lo que, la carga neta en el grupo de cabeza de las micelas variará. Esto sugiere que, los valores de CMC de las saponinas aumentan monotónicamente con el pH, siendo directamente proporcionales. Caso contrario, ocurre con la adición de una sal, como por ejemplo la adición de NaCl, el cual influirá significativamente en las interacciones electrostáticas para los tensioactivos cargados, por lo que la CMC de las saponinas disminuye notablemente con el aumento de la concentración de NaCl (Hernández, 2023).

##### 5.2 Funciones

La naturaleza anfifílica de las saponinas domina sus propiedades físicas en solución., por ejemplo, al tener un comportamiento similar al de los detergentes (Hostettmann y col., 1995). Una de las características de las saponinas, es la enorme diferencia entre las

monodesmosídicas y las bidesmosídicas (Francis y col., 2007; Kaiser y col., 2010). A pesar de sus diferencias, los bidesmosídeos inactivos (monodesmosídeos) pueden volverse activos mediante una hidrólisis alcalina (Hostettmann y col., 1995).

Por otra parte, se considera que las saponinas, como metabolitos secundarios (Taranco y col., 2005), forman parte del sistema de defensa de las plantas contra patógenos y herbívoros (Bazile y Santivañez, 2013). Numerosos reportes demuestran actividad fungicida, antimicrobiana, insecticida, molusquicida y alelopática de las saponinas, a pesar de que el mecanismo molecular por el cual actúan todavía no está dilucidado (Augustin y col., 2011).

De igual manera, debe señalarse que una de las propiedades por las que las saponinas han sido mejor estudiadas, es su capacidad de formar complejos con colesterol y perturbar de esta manera a las membranas biológicas, lo que estaría asociado a su actividad hemolítica (Augustin y col., 2011). Por consiguiente, y a manera de ejemplo, se tiene que desde el año 1962, se evidenció la formación de poros en la envoltura viral del RSV (Rous Sarcoma Virus), por lo que se han realizado diversos estudios evaluando la interacción entre saponinas y las membranas biológicas. Estudios que en la actualidad han demostrado que dicha interacción depende de la presencia de colesterol en las membranas, del tipo de aglicona que compone a la saponina, del número y largo de la/s cadenas glicosídicas. Por lo tanto, debido a la gran cantidad de factores a tener en cuenta y a la variabilidad estructural de las saponinas, aún no se ha confirmado un mecanismo general asociado a la hemólisis (Francis y col., 2007 Augustin y col., 2011).

##### 5.3 Aislamiento, elucidación y métodos de análisis

###### 5.3.1 Aislamiento

Vioque, 2000, afirma que los efectos biológicos que provocan las saponinas dependen de su estructura química, por lo que, su caracterización química es importante. Ciertos investigadores (Oleszek y Bialy, 2006), complementan que la separación de saponinas es todavía un procedimiento complicado, debido a que la mayoría de los tipos de saponinas, están en mezcla con varios componentes de muy similares polaridades. Es decir, las saponinas al ser compuestos polares, anfifílicos (Rodés y col., 2015), de peso molecular relativamente elevado, que aparecen como mezclas heterogéneas en el vegetal, hace que su aislamiento y elucidación estructural sean en general muy complejos. Es por eso, que las técnicas cromatográficas y espectroscópicas (Mello y Santos, 2001), han tenido un mayor desarrollo. No obstante, debido a la naturaleza química de las saponinas se requieren técnicas detalladas para su aislamiento y análisis.

Pues, la tarea de aislar saponinas a partir de plantas también se complica por la existencia en los tejidos vegetales de muchos compuestos relacionados entre sí; por el hecho de que la mayoría de las saponinas carecen de un cromóforo

(Francis y col., 2002). En general, los métodos tradicionales de purificación de saponinas tales como cromatografía en columna y partición con solventes orgánicos, no son suficientes, para obtener saponinas puras.

En cuanto al aislamiento de las saponinas, se tiene que se requiere de una o más técnicas cromatográficas para separarlas de otros compuestos polares que puedan obtenerse en extractos acuosos (Dinan, 2001) o alcohólicos (Francis y col., 2002). Majinda 2012, describe el protocolo de aislamiento o purificación estándar. Pese a que, las saponinas se suelen separar empleando HPLC, sin embargo, en casos donde, las saponinas no posean grupos cromóforos, la técnica de detección UV-VIS no será ideal (Hostettmann y col., 1995; Schenkel y col., 2000; Bankefors 2008; Francis y col., 2007). No obstante, suelen emplearse otros métodos de purificación, que incluyen formación de complejos con colesterol, diálisis, cromatografía de intercambio iónico o extracción selectiva, cuando se trate de saponinas ácidas (Mello y Santos, 2001).

### 5.3.2 Elucidación

Para elucidar la estructura de una saponina determinada, se debe resolver: la estructura de la aglicona, la composición y secuencia de los monosacáridos en las cadenas oligosacáridicas, la unión de estos monosacáridos entre sí, la configuración de cada enlace glicosídico y la posición de las cadenas oligosacáridicas en la aglicona (Hostettmann y col., 1995). No obstante, para un análisis estructural completo se deben utilizar espectrometría de masas y espectroscopía de resonancia magnética nuclear (RMN), incluyendo sus respectivas técnicas bidimensionales. Es decir, para la espectrometría de masas se requieren métodos especiales si se analizan saponinas que poseen cadenas oligosacáridicas grandes, ya que, la volatilización presenta dificultades con los métodos de ionización comúnmente usados para pequeños metabolitos secundarios (Mello y Santos, 2001).

### 5.3.3 Métodos de análisis

En general, dentro del desarrollo de estos métodos tenemos:

#### 5.3.3.1 Cuantificación de saponinas por HPLC

El análisis por cromatografía tiene por objeto determinar un compuesto para el que se debe elegir un detector característico (García, 2010). Siendo, la cuantificación por HPLC la mejor técnica y el método más ampliamente utilizado para la determinación de saponinas. La identificación de los picos en los cromatogramas de HPLC se basa en la comparación de los tiempos de retención con patrones auténticos de las muestras observadas (Oleszek, 2002; Brady y col., 2007). Sin embargo, la falta de cromóforos en la estructura de las saponinas limita la elección del método por detección UV, en lo cual coinciden algunos autores (Oleszek y col., 2006). Por esta razón, se utiliza como solvente al acetonitrilo el que permite lecturas de absorbancia bajas (220-300).

#### 5.3.3.2 Ensayo de espuma

Miranda y Cuéllar-Cuéllar, 2001, describen que es un ensayo sencillo y un método empírico, donde la altura de la espuma formada da una idea del posible contenido de saponina que presenta la muestra. No obstante, varios autores consideran que esta prueba es presuntiva debido a que existen otras sustancias que interfieren en la formación de espuma.

#### 5.3.3.3 Reacciones de coloración

Las reacciones de coloración permiten identificar a través del color de la reacción distintos metabolitos. En el caso de las saponinas las reacciones de identificación son: primero, reacción de Lieberman y Buchard, donde si la prueba es positiva para esteroides, exhibe colores que van desde el azul, azul verdoso hasta el verde; mientras que es positiva para los triterpenos, se observa una coloración rosada, roja o violeta. No obstante, estas coloraciones pueden variar por interferencias producidas por compuestos orgánicos coloreados, como carotenos y xantófilas. Segundo, las reacciones de Salkowski y Rosenthaler que indican la presencia de saponinas mediante la coloración rojiza para esteroides y violeta para triterpenos. Un resultado positivo para la reacción de  $\alpha$  naftol indica la presencia de azúcares (lactosa, fructosa, galactosa), (Mac Donald y col., 2005).

#### 5.3.3.4 Ensayo de toxicidad

En el cual se determina el valor de la concentración letal media (CL50) de compuestos y extractos en medio salino, la cual ha sido utilizada para la detección de toxinas de hongos y cianobacterias, toxicidad de extractos de plantas metales pesados y para predecir citotoxicidad de compuestos puros (Fernández-Calienes y col., 2009).

#### 5.3.3.5 Ensayo de hemólisis

Investigaciones realizadas mencionan que las saponinas producen la hemólisis de los glóbulos rojos al interactuar con el colesterol de sus membranas celulares (Oleszek, 2002), pues estos glicósidos retiran el colesterol ocasionando poros, para que la hemoglobina se escape (García, 2010).

#### 5.3.3.6 Espectroscopía infrarroja

Wall y sus colaboradores hicieron posible la determinación de saponinas por este método de análisis, el cual es muy rápido y específico, y por el que se obtiene la lectura de bandas características en un Espectro Infrarrojo por región. Por ejemplo, las bandas de  $900\text{ cm}^{-1}$  y  $920\text{ cm}^{-1}$  permiten la determinación de la estereoquímica del Carbono; es decir, si la banda de  $900\text{ cm}^{-1}$  es más intensa que la de  $920\text{ cm}^{-1}$ , la configuración es de una isosapogenina, mientras que, en el caso contrario, la configuración es de una neosapogenina.

### 5.3.3.7 Cromatografía

Mediante este método se obtienen compuestos individuales puros de una mezcla y se determina también su proporción. Las técnicas cromatográficas más usadas son: la *Cromatografía de capa fina* (TLC) y *Cromatografía Líquida de Alta Resolución* (HPLC), siendo esta última, la mejor técnica y el método más ampliamente utilizado para la determinación de saponinas, basado en la comparación de los tiempos de retención con patrones auténticos de las muestras observadas (Oleszek, 2002). Sin embargo, la falta de cromóforos en la estructura de las saponinas limita la elección del método por detección UV, en lo cual coinciden los autores (Oleszek y Bialy, 2006; Negi y col., 2011). La mayor parte de las saponinas de origen natural son separadas por las columnas C<sub>18</sub> y ODS usando como fase móvil mezclas de MeOH/H<sub>2</sub>O y CH<sub>3</sub>CN/H<sub>2</sub>O con o sin la adición de ácidos. Los métodos de HPLC - ELSD (detección de dispersión de luz por evaporación), HPLC - MS (espectrometría de masas), y HPLC-RI (Índice de Refracción) se han desarrollado para superar el problema de detección de saponinas por el detector de UV (Negi y col., 2011).

En general, en la literatura se encuentra diversas investigaciones en los que se reportan diversos métodos de extracción, así como, caracterización y cuantificación de las saponinas, entre los cuales se destacan los métodos de: extracción (Azmir y col., 2013; Cheok, 2014), Separación (Hunter, 1986 y Hostettmann, 1986), maceración (Basu, 1967), de reflujo y extracciones soxhlet (Bart, 2011; Hawthorne y col., 2002; Bowyer y Pleil, 1997; Basu, 1967), extracción asistida por microondas (Ganzler y col., 1986; Gianna y col., 2012), extracción por aceleración de solvente (Mustafa y col., 2011; Sarker y Nahar, 2012; Cheok, 2014).

Entre ellos, ciertos autores exponen que el método de extracción que permite un porcentaje de extracción mayor al resto de métodos es: la maceración (Cheok, 2014). En cuanto a la caracterización y cuantificación de la saponina los siguientes métodos son los mayormente empleados: espectrofotometría UV-VIS (Díaz, 2010), espectrofotómetro (Ramos y col., 2014; Dini y col., 2001), purificación, filtración (McCabe y col., 1993), partición de solventes (Sarker y col., 2006) y la cristalización (McCabe y col., 1993; Hernández y col., 2010).

En resumen, las técnicas de extracción empleadas para la extracción de saponina pueden clasificarse en dos categorías, la convencional y la verde. Las técnicas de extracción convencionales son la maceración, Soxhlet, y la extracción de reflujo, mientras que las tecnologías verdes son la extracción asistida por ultrasonido, por microondas y la aceleración de solventes (Tabla 1).

La extracción convencional se basa en aprovechar la solubilidad del soluto (material vegetal) en solvente. Por lo tanto, a menudo se utiliza una gran cantidad de solvente para extraer el soluto deseado, aunque a veces se lo ayuda con temperatura por calentamiento y agitación o sacudidas mecánicas. Por otro parte, Azmir y col., 2013, explica que las técnicas de extracción verde involucran menos riesgos de síntesis química y permiten obtener productos químicos más seguros.

A continuación, se detallan los pasos que en la literatura exponen como metodología común para los procesos extractivos de las saponinas:

- Proceso de desengrase del material vegetal: El mismo tiene como objetivo eliminar los compuestos lipídicos que posee la planta, que pueden afectar operaciones posteriores. El desengrase puede realizarse directamente al material vegetal o a extractos obtenidos de éste.
- Obtención del "crudo" de saponinas: Se realiza la extracción del material vegetal empleando solventes polares tales como metanol, etanol y n-butanol o mezclas hidroalcohólicas de cada uno de ellos. El n-butanol es muy utilizado por su especificidad para este tipo de compuestos.
- Hidrólisis de las saponinas: Generalmente, se realiza por la vía química utilizando un ácido mineral como catalizador y su finalidad es liberar las sapogeninas.
- Extracción de las sapogeninas liberadas en el proceso de hidrólisis (Dini y col., 2001): En este proceso se utilizan solventes de mediana polaridad como acetato de etilo y cloroformo.

**Tabla 1.** Resumen de los métodos de extracción de saponinas, (Modificada: El Hazzam y col., 2020)  
Summary of saponin extraction methods,  
(Modified: El Hazzam et al., 2020)

Objetivo	Sólido/ Solv.	Solv. Usado	Ref.
<b>Técnica de extracción: Maceración</b>			
Estudio de actividad inmunoadyuvante, toxicidad, ensayos y determinación de saponinas triterpénicos semillas de quinua	1:10	40% EtOH	(Verza y col., 2012)
Estudio de la actividad antiinflamatoria de el extracto de saponina	1:9	50% EtOH	(Lozano y col., 2013)
Evaluación de pre-acondicionamiento, extrusión y efectos de tostado en compuestos de quinua	1:3 1:2	Acetato etil MeOH	(Brady y col., 2007)
Aislamiento e identificación de la saponina de la quinua	-	90% MeOH	(Dini y col., 2001)
Estudio de la cinética de extracción de saponinas mediante aplicando las ecuaciones de difusión	1:10	50% EtOH	(Irigoyen y Giner, 2018)
Aislamiento y caracterización de las saponinas de la quinua	3:25	Éter de petróleo	(Kuljanabha gavad y col., 2008)
<b>Técnica de extracción: Soxhlet</b>			
Aislamiento y caracterización de saponinas en Semillas de quinua por análisis y métodos químicos.	900 g/-	Éter de petróleo MeOH	(Woldemich hael y Wink, 2001)
Descripción del método de separación y análisis de saponinas en quinua	1:40	Cloroformo MeOH	(Ridouy y col., 1991)
<b>Técnica de extracción: Sonicación</b>			

Identificación de compuestos fenólicos y saponinas de <i>C. quinoa Willd</i>	1:15	(4:1) MeOH/ Agua	(Gómez-Caravaca y col., 2001)
La producción de extractos ricos en saponinas de semillas comestibles (quinua, soja, roja lentejas, fenogreco y altramuz)	1:10	EtOH EtOH/Agua Agua	(Del Hierro y col., 2018)
Optimización de procesos de obtención extractos ricos en saponinas de diferentes plantas	1:10	MeOH	(Herrera y col., 2019)
Técnica de extracción: <b>Microwave</b>	1:20	20% EtOH 20% Isopropa-nol	(Gianna y col., 2012)

### 6 Importancia de las saponinas y aplicaciones industriales

Las saponinas muestran propiedad molusquicida en contra de los caracoles *Pomacea canaliculata* (conocido como GAS o caracol manzana) que afecta a los cultivos de arroz, demostrando que con un tiempo de 24 horas a 33 ppm de un producto elaborado a base de saponinas se puede eliminar el 100 % de estos caracoles (San Martín y col., 2008).

En otros estudios, se han identificado que las saponinas inhiben el crecimiento de *Candida albicans* y para mejorar la actividad antifúngica en la *Botrytis cinerea*, previo a un tratamiento alcalino de las saponinas, que le permite aumentar su actividad biológica (Stuardo y San Martín, 2008; Woldemichael y Wink, 2001).

Algunas saponinas presentan un efecto hemolizante en los glóbulos rojos, esta propiedad la presentan las saponinas monodesmosídicas. La hemólisis se puede producir debido a las interacciones de las saponinas con las membranas que producen poros y que llevan a la rotura de la misma (Seeman y col., 1973; Woldemichael y col., 2001).

En la actualidad, se ha determinado que las saponinas tienen beneficiosas propiedades para la salud, entre las cuales se pueden mencionar diversos efectos biológicos: antiviral, analgésico, antiinflamatorio, antimicrobiano, antioxidante (Quispe-Fuentes y col. 2013; Nickel y col., 2016) y citotóxico. Además, tiene un importante efecto sobre la absorción de minerales y vitaminas, produce un efecto inmunoestimulador, aumenta la permeabilidad de la mucosa intestinal, tiene acción neuroprotectora y actúa como hipolipemiente (Gianna, 2013; Güçlü-Üstündağ y col., 2007).

Industrialmente, se ha dado uso a las saponinas como tensoactivos en formulaciones para la fabricación de jabones, especialmente, por su seguridad para el medio ambiente, su biodegradabilidad, por ser un producto renovable y ecológicamente adaptable. Adicionalmente, se ha reportado que el uso de extractos de saponinas como agente de control biológico contra nemátodos en cultivos de papa, orugas en cultivos de maíz o *Drosophila melanogaster*, cuyo estudio se realizó evaluando el contenido de saponinas utilizando el método afrosimétrico que se basa en la propiedad de las saponinas para disminuir la tensión superficial del agua, formándose una espuma estable, cuya altura está relacionada

con el contenido del sustrato evaluado (Wisetkomolmat y col., 2019).

Castillo-Ruiz y colaboradores (2018), evaluaron la capacidad molusquicida de un extracto de saponinas proveniente de cáscaras de quinua (*Chenopodium Quinoa Willd*), obtenido por tratamiento con agua destilada, seguido de tratamiento con soda cáustica a 95-100 °C por 2 h con agitación que después de enfriar se neutralizó con HCl para finalmente, secarlo al aire. El polvo fino marrón obtenido se cuantificó por RP-HPLC indicando un contenido de saponinas de 36% p/p. Este extracto mostró un control de 100% a 7-10 ppm de saponinas después de 72 h y con un extracto de 5 ppm de saponinas después de 96 h. Se observó que los moluscos tratados (*Pomacea canaliculata*) cerraron su opérculo 20-60 min después de la aplicación del extracto, lo que les impediría su capacidad de alimentación y con lo cual podría ser utilizado como control biológico en cultivos de arroz. Utilizando extractos de hojas de flor de Jamaica (*Hibiscus sabdariffa*) se evaluó su actividad antimicrobiana, encontrando efectividad inhibitoria contra *S. aureus* y *P. aeruginosa* a concentraciones de 20-160 mg/mL (The Express Wire, 2019). Entre otras investigaciones.

En general, desde la antigüedad las saponinas han recibido importante atención debido a que desde entonces se han usado para:

- Disminuir la tensión superficial, además poseen propiedades emulsificantes.
- Agentes limpiadores de uso doméstico, para lavar la ropa, y también han sido aprovechadas sobre todo por las mujeres andinas para lavarse el cabello.
- Venenos para los peces; para esto los pueblos nativos maceraban la materia vegetal que las contenía. Marcano y Hasegawa (2002) describen que las saponinas penetran a las células de las agallas y causan la exclusión de los electrolitos celulares.
- En la inhibición de caries dentales.
- Como expectorantes en jarabes; ya que, elevan la actividad de la capa superior de la mucosa y provocan un aumento de secreciones de las glándulas.
- En la estimulación sobre el sistema nervioso central y en la prevención de úlceras provocadas por el estrés (Marcano y Hasegawa, 2002).
- En el desarrollo de vacunas, según lo examinado por Vega-Gálvez y col., (2010). Como componentes de vacunas de uso veterinario (Cheeke 1999; Partida y Abad, 2006). Las vacunas también están dirigidas contra patógenos intracelulares, además de para vacunas terapéuticas contra el cáncer, su potencial uso como adyuvantes para vacunas administradas vía mucosas (Verza y col., 2012). Se usa un derivado de saponinas como adyuvante en la vacuna contra

la fiebre aftosa veterinaria.

- En Farmacéutica, la Diosgenina se usa como materia prima en el proceso industrial de fabricación de Cortisona y hormonas sexuales como la progesterona.
- En medicamentos se emplea contra problemas cerebrales, hormonales, dermatológicos, y renales.
- Como espermicidas; por lo que sirve como precursor de hormonas para el control de la natalidad.
- En Cosmética se utilizan como sustancias neutras productoras de espuma, para la preparación de dentríficos, en pomadas u otras preparaciones de uso dermatológico.
- En la inhibición de los protozoos y bacterias ruminales productoras de amoníaco en los rumiantes; ya que, se da una interacción entre las saponinas y el colesterol de las membranas causando la lisis de las células, el amoníaco generado en el rumen es ligado y se neutralizan sus efectos al convertirlo en otro tipo de compuesto nitrogenado no tóxico (Partida y col., 2006).
- Como agentes controladores de hongos fitopatógenos, provocando la inhibición de su crecimiento (Montes-Belmont, 2009). En estudios in vitro, se ha visto la inhibición completa del crecimiento de los hongos ruminales al adicionarse sólo 2,25 µg/mL de saponinas (Partida y col., 2006).
- En la industria alimenticia como agentes para eliminar el colesterol de productos lácteos, modificadores del sabor y conservantes.
- Como alimento de algunos animales, en los que se ha observado un aumento de su crecimiento, con una mayor producción de leche y lana.
- Como agentes limpiadores de la contaminación producida por vertidos tóxicos.
- Como alternativa para una solución a la contaminación de las aguas por causa del uso de los detergentes sintéticos.
- Como antidiabéticos, se comprobó su actividad al administrarse saponinas esteroidales a ratones, existiendo una reducción en los valores sanguíneos de glucosa (Balderas, 2015).

En resumen, se emplea como antioxidante, antihepatotóxico, antibacteriano, anticancerígeno, antidiarreico, antiulcerogénico, antioxitóxico, inmunoestimulante, hipocolesterolémico, anticoagulante, hepatoprotector, hipoglucemiante, neuroprotector, antiinflamatorio (Lozano y col., 2013), entre otras.

## Conclusiones

Desde hace muchos años, el continuo consumo de productos sintéticos, sin duda alguna, ha impulsado una serie de investigaciones vinculadas a fuentes naturales, lo cual ha llevado a la palestra del área investigativa, los compuestos tensioactivo naturales, biosmático y biodegradables, como las saponinas, que sin duda alguna representa una fuente comercialmente importante, por sus múltiples aplicaciones, como vimos, Sin embargo, también se pudo evidenciar, que aún falta mucho por explorar, que se requiere continuar desarrollando nuevos procesos y estrategias de procesamiento, para abordar los desafíos que plantea la complejidad estructural de las saponinas, frente al compromiso de sustentabilidad ambiental de las industrias; de solo comercializar productos que hayan demostrado ser seguros para los seres humanos y el medio ambiente; y a su vez, frente a los usuarios y/o clientes, que cada día demandan mejoras.

## Referencias

- Ahumada, A., Ortega, A., Chito, D. & Benítez, R. (2016). Saponinas de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.): un subproducto con alto potencial biológico. *Revista Colombiana de Ciencias Químico-Farmacéuticas*, 45(3), 438-469.
- Aldana, A. R. & Alvarado Collantes, N. (2023). Evaluación de la inhibición de bacterias *Escherichia Coli* y *Salmonella* empleando la saponina de quinua Hualhuas y Rosada Junín. Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Assa, Y., Shany, S., Gestetner, B., Tencer, Y., Birk, Y. & Bondi, A. (1973). Interaction of alfalfa saponins with components of the erythrocyte membrane in hemolysis. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Biomembranes*, 307(1), 83-91.
- Augustin, J. M., Kuzina, V., Andersen, S. B. & Bak, S. (2011). Molecular activities, biosynthesis and evolution of triterpenoid saponins. *Phytochemistry*, 72(6), 435-457.
- Azmir, J., Zaidul, I. S. M., Rahman, M. M., Sharif, K. M., Mohamed, A., Sahena, F. & Omar, A. K. M. (2013). Techniques for extraction of bioactive compounds from plant materials: A review. *Journal of food engineering*, 117(4), 426-436.
- Balandrin, M. F. (1996). Commercial utilization of plant-derived saponins: an overview of medicinal, pharmaceutical, and industrial applications. *Saponins used in traditional and modern medicine*, 1-14.
- Bankefors, J., Nord, L. I. & Kenne, L. (2008). Structural classification of Quillaja saponins by electrospray ionization ion trap multiple-stage mass spectrometry in combination with multivariate analysis, proof of concept. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 90(2), 178-187.
- Bart, H. J. (2011). Extraction of natural products from plants—An introduction. *Industrial scale natural products extraction*, 1-25.

- Basu, N. (1967). Chemical examination of *Bacopa monniera*, Wettst: Part III Bacoside B. *Indian J. Chemistry*, 5, 84-86.
- Bazile, D. & Santivañez, T. (2013). Introducción al estado del arte de la quinua en el mundo en 2013.
- Berry, S. K., Ibrahim, R. H. & Karim, N. A. (1988). Effect of germination on the biological quality of winged beans (*P. tetragonolobus*). *Nutrition reports international*, 37(6), 1237-1243.
- Böttcher, S. & Drusch, S. (2016). Interfacial properties of saponin extracts and their impact on foam characteristics. *Food Biophysics*, 11, 91-100.
- Böttcher, S. & Drusch, S. (2017). Saponins—Self-assembly and behavior at aqueous interfaces. *Advances in Colloid and interface Science*, 243, 105-113.
- Bowyer, J. R. & Pleil, J. D. (1997). Comparison of supercritical fluid extraction and Soxhlet extraction of organic compounds from carpet samples. *Journal of Chromatography A*, 787(1-2), 171-179.
- Brady, K., Ho, C. T., Rosen, R. T., Sang, S. & Karwe, M. V. (2007). Effects of processing on the nutraceutical profile of quinoa. *Food Chemistry*, 100(3), 1209-1216.
- Brica, S., Klavins, M. & Zicmanis, A. (2016). Unsubstituted  $\beta$ -Alkyl Aspartates as Highly Biodegradable and Almost Nontoxic Surfactants. *Green and Sustainable Chemistry*, 6(3), 125-135.
- Carrera Gallissà, E. (2017). Los retos sostenibilistas del sector textil. *Revista de Química e Industria Textil*, (220), 20-32.
- Castillo, M., Cañon-Jones, H., Schlotterbeck, T., Lopez, M. A., Tomas, Á. & San Martín, R. (2018). Safety and efficacy of quinoa (*Chenopodium quinoa*) saponins derived molluscicide to control of *Pomacea maculata* in rice fields in the Ebro Delta, Spain. *Crop Protection*, 111, 42-49.
- Cheeke, P. R. (1999). Applied animal nutrition. Departemen of Animal Sciences Oregon State University. USA.
- Cheok, C. Y., Salman, H. A. K. & Sulaiman, R. (2014). Extraction and quantification of saponins: A review. *Food Research International*, 59, 16-40.
- Cowan-Ellsberry, C., Belanger, S., Dorn, P., Dyer, S., McAvoy, D., Sanderson, H., Versteeg, D., Ferrer, D. & Stanton, K. (2014). Environmental safety of the use of major surfactant classes in north America. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 44(17), 1893-1993.
- Crook, E. H., Fordyce, D. B. & Trebbi, G. F. (1963). Molecular weight distribution of nonionic surfactants. i. surface and interfacial tension of normal distribution and homogeneous p,t-octylphenoxyethoxyethanols (ope's). *The Journal of Physical Chemistry*, 67(10), 1987-1994.
- Del Hierro, J. N., Herrera, T., García-Risco, M. R., Fornari, T., Reglero, G. & Martin, D. (2018). Ultrasound-assisted extraction and bioaccessibility of saponins from edible seeds: Quinoa, lentil, fenugreek, soybean and lupin. *Food research international*, 109, 440-447.
- Díaz, N. A., Ruiz, J. A. B., Reyes, E. F., Cejudo, A. G., Novo, J. J., Peinado, J. P. & Fiñana, I. T. (2010). Espectrofotometría: Espectros de absorción y cuantificación colorimétrica de biomoléculas. Universidad de Córdoba, 1-8.
- Dinan, L., Harmatha, J. & Lafont, R. (2001). Chromatographic procedures for the isolation of plant steroids. *Journal of chromatography A*, 935(1-2), 105-123.
- Dini, I., Tenore, G. C., Schettino, O. & Dini, A. (2001). New oleanane saponins in *Chenopodium quinoa*. *Journal of agricultural and food chemistry*, 49(8), 3976-3981.
- Directiva 2009/28/CE, (2009) del parlamento Europeo y del Consejo de 23 de abril de 2009 relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables y por la que se modifican y se derogan las Directivas 2001/77/CE y 2003/30/CE, núm. L 140/16.
- D'Mello, J. F., Duffus, C. M. & Duffus, J. H. (Eds.). (1991). Toxic substances in crop plants. Woodhead Publishing.
- El Hazzam, K., Hafsa, J., Sobeh, M., Mhada, M., Taourirte, M., El Kacimi, K. & Yasri, A. (2020). An insight into saponins from Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd): A review. *Molecules*, 25(5), 1059.
- Elias, C.; Diaz, L.; Rivera, V. y Diaz V. (1983) "Estudio de un método rápido para la determinación de saponina en el procesamiento de quinua", reporte: Instituto Nacional de Desarrollo Agroindustrial INDDA; Lima – Perú.
- Fenwick, G.R., Price, K.R., Tsukamoto, C., y Okubo, K., (1991). Saponins. 285-327.
- Fernández Valdés, A., Mendiola Martínez, J., Monzote Fidalgo, L., García Parra, M., Sario Ramos, I., Acuña Rodríguez, D. & Gutiérrez Gaitén, Y. (2009). Evaluation of toxicity of Cuban plant extracts with possible antiparasitic action based on the use of *Artemia salina* larvae. *Revista Cubana de Medicina Tropical*, 61(3), 254-258.
- Flechas C, H. A., Aragón D, C., Morales, N. B. & Jiménez G, P. J. A. (2009). Study and development of three jaboncillo (*Sapindus saponaria* L.) products as grounding in its industrialisation. *Colombia Forestal*, 12(1), 171-182.
- Francis, G., Kerem, Z., Makkar, H. P. & Becker, K. (2002). The biological action of saponins in animal systems: a review. *British journal of Nutrition*, 88(6), 587-605.
- Francis, G., Kerem, Z., Makkar, H. P. & Becker, K. (2002). The biological action of saponins in animal systems: a review. *British journal of Nutrition*, 88(6), 587-605.
- Ganzler, K., Salgó, A. & Valkó, K. (1986). Microwave extraction: A novel sample preparation method for chromatography. *Journal of chromatography A*, 371, 299-306.
- García, A. (2010). Extracción, cuantificación y aislamiento de saponinas a partir de *Agave lechuguilla* y *Yucca filifera* (Doctoral dissertation, Tesis, Universidad Autónoma de Baja California, 2010 <http://www.blogjardinera.com/agave-sisalana-sisal>).
- Gianna, V. (2013). Extracción, cuantificación y purificación de saponinas de semilla de *Chenopodium quinoa* Willd provenientes del noroeste argentino.
- Gianna, V., Montes, J. M., Calandri, E. L., & Guzmán, C. A. (2012). Impact of several variables on the microwave extraction of *Chenopodium quinoa* Willd saponins. *International journal of food science & technology*, 47(8), 1593-1597.
- Gómez, A. M., Segura-Carretero, A., Fernandez-Gutierrez, A. & Caboni, M. F. (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*, 59(20), 10815-10825.
- Grigore, A., Cord, D., Tanase, C. & Albulescu, R. (2020). Herbal medicine, a reliable support in COVID therapy. *Journal of Immunoassay and Immunochemistry*, 41(6), 976-999.
- Güçlü-Üstündağ, Ö., Balsevich, J., & Mazza, G. (2007). Pressurized low polarity water extraction of saponins from cow cockle seed. *Journal of Food Engineering*, 80(2), 619-630.
- Güiza-Suárez, César, J., Monsalve, R., Julie Alejandra, C. G., & Juan Pablo, G. (2019). Energías renovables no convencionales y cambio climático: un análisis para Colombia. Editorial Universidad del Rosario.
- Gunsha, I. (2013). Elaboración de un emulsionante cosmético a base de las saponinas del agua de lavado de quinua (*Chenopodium quinoa*) en erpe". Tesis de pregrado para optar al título de bioquímico farmacéutico. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Gurfinkel, D. M. & Rao, A. V. (2003). Soyasaponins: The relationship between chemical structure and colon anticarcinogenic activity. *Nutrition and Cancer*, 47(1), 24–33.
- Haralampidis, K., Trojanowska, M. & Osbourn, A. E. (2002). Biosynthesis of triterpenoid saponins in plants. *History and Trends in Bioprocessing and Biotransformation*, 31-49.
- Hawthorne, S. B., Grabanski, C. B., Martin, E., & Miller, D. J. (2000). Comparisons of Soxhlet extraction, pressurized liquid extraction, supercritical fluid extraction and subcritical water extraction for environmental solids: recovery, selectivity and effects on sample matrix. *Journal of Chromatography A*, 892(1-2), 421-433.
- Heeke, P. R. (2023). *Toxicants of Plant Origin: Glycosides*, Volume II. CRC Press.
- Henry, M., Rochd, M. & Bennini, B. (1991). Biosynthesis and accumulation of saponins in *Gypsophila paniculata*. *Phytochemistry*, 30(6), 1819-1821.
- Hernández Guerra, I.C. & Pereira, J. C. (2023). Formulación de espumas empleando la saponinas enmarcada en la química verde, con potencial aplicación en la recuperación mejorada de petróleo (Tesis Doctoral, Universidad de Carabobo de Venezuela).
- Hernández Guzmán, A. C. & Hermosilla Carazo, V. J. (2014). Efecto de la concentración de saponinas en la actividad hemolítica de extractos de ocho plantas de uso medicinal en Guatemala (Doctoral dissertation, Universidad de San Carlos de Guatemala).
- Hernández, L., Esparza, M. & Reyes, J. (2010). Facultad de Farmacia-Cristalización, 1–7.
- Herrera, T., Navarro del Hierro, J., Fornari, T., Reglero, G., & Martin, D. (2019). Acid hydrolysis of saponin-rich extracts of quinoa, lentil, fenugreek, and soybean to yield saponin-rich extracts and other bioactive compounds. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(6), 3157-3167.
- Hostettmann, K. & Marston, A. (1995). *Saponins*. Cambridge University Press.: 1.
- Hostettmann, K., Hostettmann, M. & Marston, A. (1986). Preparative chromatography techniques. *Applications in Natural Product Isolation*.
- Hunter, W. J. (1986). High-performance gas Chromatographie method for the estimation of the indole-3-acetic acid content of plant materials. *Journal of Chromatography A*, 362, 430-435.
- Huxtable, R. J. & Cheeke, P. R. (1989). Toxicants of plant origin.
- İbanoğlu, E. & İbanoğlu, Ş. (2000). Foaming behaviour of liquorice (*Glycyrrhiza glabra*) extract. *Food chemistry*, 70(3), 333-336.
- Irigoyen, R. T. & Giner, S. A. (2018). Extraction kinetics of saponins from quinoa seed (*Chenopodium quinoa* Willd). *International Journal of Food Studies*, 7(2).
- Jiménez Islas, D., Medina Moreno, S. A. & Gracida Rodríguez, J. N. (2010). Propiedades, aplicaciones y producción de biotenoactivos: una revisión. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 26(1), 65–84.
- Kaiser, S., Pavei, C. & Ortega, G. G. (2010). Estudo da relação estrutura-atividade de saponinas hemolíticas e/ou imunoadjuvantes mediante uso de análise multivariada. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 20, 300-309.
- Kaufman, P. B., Cseke, L. J., Warber, S., Duke, J. A. & Briemann, H. L. (1998). *Natural products from plants*. CRC Press Inc.
- Kerwin, S. M. (2004). Soy saponins and the anticancer effects of soybeans and soy-based foods. *Current Medicinal Chemistry-Anti-Cancer Agents*, 4(3), 263-272.
- Khokhar, S. & Chauhan, B. M. (1986). Antinutritional factors in moth bean (*Vigna aconitifolia*): varietal differences and effects of methods of domestic processing and cooking. *Journal of Food Science*, 51(3), 591-594.
- Kim, S. W., Park, S. K., Kang, S. L., Kang, H. C., Oh, H. J., Bae, C. Y. & Bae, D. H. (2003b). Hypocholesterolemic property of *Yucca schidigera* and *Quillaja saponaria* extracts in human body. *Archives of pharmacal research*, 26, 1042-1046.
- KR, Price. (1987). The chemistry and biological significance of saponins in foods and feedingstuffs. *CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 26, 27-135.
- Kuljanabhagavad, T., Thongphasuk, P., Chamulitrat, W. & Wink, M. (2008). Triterpene saponins from *Chenopodium quinoa* Willd. *Phytochemistry*, 69(9), 1919-1926.
- Liu, J., & Henkel, T. (2002). Traditional Chinese medicine (TCM): are polyphenols and saponins the key ingredients triggering biological activities?. *Current Medicinal Chemistry*, 9(15), 1483-1485.
- Lozano, M., Gonzales, E., Flores, Y. & Almanza, G. R. (2013). Effect in acute inflammation of saponin extract and Isolated saponins from quinoa waste (*Chenopodium quinoa* Willd). *Revista Boliviana de Química*, 30(2), 115-121.
- Ma, W. W., Heinstein, P. F. & McLaughlin, J. L. (1989). Additional toxic, bitter saponins from the seeds of *Chenopodium quinoa*. *Journal of natural products*, 52(5), 1132-1135.
- Mac Donald, D., Valencia, E. F., Cuyos, M. & Dueñas, R. (2005). Extracción, identificación y evaluación de

- saponinas en *Agaricus bisporus*. *Biotempo*, 5, 3-36.
- Majinda, R. R. (2012). Extraction and isolation of saponins. *Natural products isolation*, 415-426.
- Marcano D, Hasegawa M. 2002. *Fitoquímica orgánica*. Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico, Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela. 440.
- Martín, R. S. & Briones, R. (1999). Usos Industriales y Abastecimiento Sostenible de Saponina de Quillaja saponaria. *Economic Botany*, 53, 302-311.
- Martínez A., M. (2001). Saponinas Esteroides. *Revista UDEA*, 3.
- Matsuura, H. (2001). Saponins in garlic as modifiers of the risk of cardiovascular disease. *The Journal of nutrition*, 131(3), 1000S-1005S.
- McCabe, W. L., Smith, J. C. & Harriott, P. (1993). *Unit operations of chemical engineering*. McGraw-hill.
- McClements, D. J. & Gumus, C. E. (2016). Natural emulsifiers — Biosurfactants, phospholipids, biopolymers, and colloidal particles: Molecular and physicochemical basis of functional performance. *Advances in Colloid and Interface Science*, 234, 3–26.
- Mello, J. P. C. & Santos, S. C. (2001). Taninos: In: Simões CM, Schenkel EP, Gosmann G, Mello JCP, Mentz LA, Petrovick PR. *Farmacognosia: da planta ao medicamento*. 3ª ed. Porto Alegre: Ed. UFSC.
- Mena Valdés, L., Tamargo Santos, B., Salas Olivet, E., Plaza Paredes, L. E., Blanco Hernández, Y., Otero González, A. & Sierra González, G. (2015). Determinación de saponinas y otros metabolitos secundarios en extractos acuosos de *Sapindus saponaria* L.(jaboncillo). *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 20(1), 106-116.
- Méndez Martínez, J. A. (2016). Obtención de saponinas de los frutos de la *Solanum Marginatum* y análisis de sus propiedades como surfactante (Bachelor's thesis, Quito: UCE).
- Miranda Martínez, M. & Cuéllar-Cuéllar, A. (2001). *Farmacognosia y productos naturales*. Editorial Félix Varela. Ciudad de la Habana, Cuba, 147-170.
- Mitra, S., & Dungan, S. R. (1997). Micellar properties of Quillaja saponin. 1. Effects of temperature, salt, and pH on solution properties. *Journal of agricultural and food chemistry*, 45(5), 1587-1595.
- Mitra, S. & Dungan, S. R. (2001). Cholesterol solubilization in aqueous micellar solutions of quillaja saponin, bile salts, or nonionic surfactants. *Journal of agricultural and food chemistry*, 49(1), 384-394.
- Morris, D. M.; Bogán, M. (1994). Bases bioquímicas y morfológicas de la resistencia. En: *Mejoramiento de plantas resistentes a insectos*. México: Editorial Musa S.A. 386.
- Muir, A. D., Paton, D., Ballantyne, K. & Aubin, A. A. (2002). U.S. Patent No. 6,355,249. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Mustafa, A. & Turner, C. (2011). Pressurized liquid extraction as a green approach in food and herbal plants extraction: A review. *Analytica chimica acta*, 703(1), 8-18.
- Negi, J. S., Singh, P., Pant, G. J. N. & Rawat, M. S. M. (2011). High-performance liquid chromatography analysis of plant saponins: An update 2005-2010. *Pharmacognosy reviews*, 5(10), 155.
- Nickel, J., Spanier, L. P., Botelho, F. T., Gularte, M. A. & Helbig, E. (2016). Effect of different types of processing on the total phenolic compound content, antioxidant capacity, and saponin content of *Chenopodium quinoa* Willd grains. *Food chemistry*, 209, 139-143.
- Oakenfull, D. (1981). Saponins in food—a review. *Food chemistry*, 7(1), 19-40.
- Oakenfull, D. (2001). Soy protein, saponins and plasma cholesterol. *The Journal of Nutrition*, 131(11), 2971-2971.
- Oakenfull, D. G. (1986). Aggregation of saponins and bile acids in aqueous solution. *Australian journal of chemistry*, 39(10), 1671-1683.
- Oakenfull, D. & Sidhu, G. S. (1989). Saponins. In *Toxicants of plant origin* (pp. 97-142). Crc Press.
- Oleszek, W. A. (2002). Chromatographic determination of plant saponins. *Journal of chromatography A*, 967(1), 147-162.
- Oleszek, W. & Bialy, Z. (2006). Chromatographic determination of plant saponins—an update (2002–2005). *Journal of chromatography A*, 1112(1-2), 78-91.
- Partida, P. G. & Abad, L. R. (2006). Federación mediterránea de sanidad y producción de rumiantes: veinte años de buiatría. In *Veinte años de buiatría: actas del XIV Congreso Internacional de la Federación Mediterránea de Sanidad y Producción de Rumiantes*, Lugo-Santiago de Compostela, 12-15 de julio de 2006 (pp. 1-4). Universidad de Santiago de Compostela
- Price, K. R., Johnson, I. T., Fenwick, G. R., & Malinow, M. R. (1987). The chemistry and biological significance of saponins in foods and feedingstuffs. *CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 26(1), 27–135.
- Quispe-Fuentes, I., Vega-Gálvez, A., Miranda, M., Lemus-Mondaca, R., Lozano, M. & Ah-Hen, K. (2013). A Kinetic approach to saponin extraction during washing of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) seeds. *Journal of Food Process Engineering*, 36(2), 202-210.
- Ramos Benavides, E. F., Paz Varela, J. S. & Ortiz Sánchez, G. F. (2014). Determinación del contenido de hierro, saponinas y porfirinas en *Cassia grandis* L, procedente de Masaya, Chinandega y Jalapa durante el periodo mayo 2013, abril del 2014 (Doctoral dissertation).
- Rao, A. V. & Koratkar, R. (1997). Anticarcinogenic effects of saponins and phytosterols.
- Ravikumara, P. R., Soman, R., Chetty, G. L., Pandey, R. C., & Dev, S. (1987). Chemistry of Ayurvedic Crude Drugs. 6.(Shatavari-1)-Structure of Shatavarin-iv. *Indian Journal Of Chemistry Section B-Organic Chemistry Including Medicinal Chemistry*, 26(11), 1012-1017.
- Rickert, D. A., Johnson, L. A. & Murphy, P. A. (2004). Improved fractionation of glycinin and  $\beta$ -conglycinin and partitioning of phytochemicals. *Journal of Agricultural and Food chemistry*, 52(6), 1726-1734.
- Ridout, C. L., Price, K. R., Dupont, M. S., Parker, M. L. & Fenwick, G. R. (1991). Quinoa saponins—analysis and preliminary investigations into the effects of reduction by processing. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 54(2), 165-176.
- Rodés Reyes, S., Peña Fuentes, D. & Hermosilla Espinosa, R. (2015). Tamizaje fitoquímico de extractos y tinturas al 20% de la raíz y corteza de *Dichrostachys cinerea*

- L.(Marabú). *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 20(2), 156-166.
- San Martín, R., Ndjoko, K. & Hostettmann, K. (2008). Novel molluscicide against *Pomacea canaliculata* based on quinoa (*Chenopodium quinoa*) saponins. *Crop Protection*, 27(3-5), 310-319.
- Sarker, S. D., & Nahar, L. (2012). An introduction to natural products isolation (pp. 1-25). Humana Press.
- Sarker, S. D., Latif, Z. & Gray, A. I. (2006). An introduction to natural products isolation. *Natural products isolation*, 1-25.
- Sasaki, Y., Mizutani, K., Kasai, R., & Tanaka, O. (1988). Solubilizing properties of glycyrrhizin and its derivatives: solubilization of saikosaponin-a, the saponin of *bupleuri radix*. *Chemical and pharmaceutical bulletin*, 36(9), 3491-3495.
- Schenkel, E. P., Gosmann, G. y Athayde, M. L. (2000). Saponinas. *Farmacognosia: da planta ao medicamento*. Porto Alegre/Florianópolis, 2 Ed.: 597-622.
- Seeman, P., Cheng, D., & Iles, G. H. (1973). Structure of membrane holes in osmotic and saponin hemolysis. *The Journal of cell biology*, 56(2), 519-527.
- Singh, H. N., Swarup, S. & Saleem, S. M. (1979). Effect of electrolytes on the micellization of ionic Surfactants in n-alkanol—Water mixtures. *Journal of Colloid and Interface Science*, 68(1), 128-134.
- Sparg, S. G., Light, M. E. & Van Staden, J. (2004). Biological activities and distribution of plant saponins. *Journal of Ethnopharmacology*, 94(2-3), 219-243.
- Stuardo, M. & San Martín, R. (2008). Antifungal properties of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) alkali treated saponins against *Botrytis cinerea*. *Industrial crops and products*, 27(3), 296-302.
- Taranco, M., Solis, C., Chavez, N. & Peña, A. (2005). Extracción de saponinas de *Chenopodium quinoa* para su utilización en la elaboración de productos cosméticos. Lima: Facultad de Farmacia y Bioquímica, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 1.
- The Express Wire. (2019). Saponin Industry 2019-2024 by Manufactures Types, Applications, Market Size, Regions and Forecast to 2024.
- Thompson, L. U. (1993). Potential health benefits and problems associated with antinutrients in foods. *Food Research International*, 26(2), 131-149.
- Troisi, Jacopo & Fiore, Raffaele & Pulvento, Cataldo & d'Andria, R. & Vega-Galvez, Antonio & Miranda, Margarita & Martínez, Enrique & Lavini, Antonella. (2014). Saponinas. 10.13140/2.1.1568.5129.
- Vega, A., San Martín, R., Sanders, M., Miranda, M. & Lara, E. (2010). Characteristics and mathematical modeling of convective drying of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): Influence of temperature on the kinetic parameters. *Journal of Food Processing and Preservation*, 34(6), 945-963.
- Vélez-Terranova, M., Gaona, R. C. & Sánchez-Guerrero, H. (2014). Uso de metabolitos secundarios de las plantas para reducir la metanogénesis ruminal. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 17(3), 489-499.
- Verza, S. G., Silveira, F., Cibulski, S., Kaiser, S., Ferreira, F., Gosmann, G., Lozano & Ortega, G. G. (2012). Immunoadjuvant activity, toxicity assays, and determination by UPLC/Q-TOF-MS of triterpenic saponins from *Chenopodium quinoa* seeds. *Journal of agricultural and food chemistry*, 60(12), 3113-3118.
- Vincken, J. P., Heng, L., de Groot, A. & Gruppen, H. (2007). Saponins, classification and occurrence in the plant kingdom. *Phytochemistry*, 68(3), 275-297.
- Vioque, J. (Ed.). (2001). *Jornada internacional sobre proteínas alimentarias* (Vol. 47). Universidad de Sevilla.
- Wade L. G., J. (2004). En *Química orgánica*, adris: Pearson Educación, S. A: 5<sup>a</sup> ed., Materia: Química orgánica, 54. ISBN: 84-205-4102-8.
- Wasilewski, T., Seweryn, A. & Krajewski, M. (2016). Improvement in the safety of use of hand dishwashing liquids through the addition of hydrophobic plant extracts. *Journal of Surfactants and Detergents*, 19(6), 1315-1326.
- Wisetkomolmat, J., Suppakittpaisarn, P., & Sommano, S. R. (2019). Detergent plants of Northern Thailand: Potential sources of natural saponins. *Resources*, 8(1), 10.
- Woldemichael, G. M. & Wink, M. (2001). Identification and biological activities of triterpenoid saponins from *Chenopodium quinoa*. *Journal of agricultural and food chemistry*, 49(5), 2327-2332.
- Yang, C. H., Huang, Y. C., Chen, Y. F. & Chang, M. H. (2010). Foam properties, detergent abilities and long-term preservative efficacy of the saponins from *Sapindus mukorossi*. *Journal of Food and Drug analysis*, 18(3), 7.
- Zhang, T., Xu, J., Zhang, Y., Wang, X., Lorenzo, J. M. & Zhong, J. (2020). Gelatins as emulsifiers for oil-in-water emulsions: Extraction, chemical composition, molecular structure, and molecular modification. *Trends in Food Science & Technology*, 106, 113-131.
- Zhou, x. h., Kasai, R., Yoshikawa, M., Kitagawa, I. & Tanaka, O. (1991). Solubilization of saponins of *Bupleuri radix* with ginseng saponins: Effect of malonyl-ginsenosides on water solubility of saikosaponin-b. *Chemical and pharmaceutical bulletin*, 39(5), 1250-1252.
- Zhu, N., Sheng, S., Sang, S., Jhoo, J. W., Bai, N., Karwe, M. V. & o, C. T. (2002). Triterpene saponins from debittered quinoa (*Chenopodium quinoa*) seeds. *Journal of agricultural and food chemistry*, 50(4), 865-867.

**Recibido:** 23 de julio 2023

**Aceptado:** 24 de octubre 2023

**Hernández, Inés**, Dra. en Química Tecnológica y miembro del Laboratorio de Petróleo, Hidrocarburos y Derivados (PHD). Correo electrónico: [vidalinadehernandez@gmail.com](mailto:vidalinadehernandez@gmail.com).  
 <https://orcid.org/0000-0002-7824-3008>

**Pereira, Juan**, Dr. en Ciencias Aplicadas. Director del Lade Petróleo, Hidrocarburos y Derivados (PHD). Profesor Titular Universidad de Carabobo (Carabobo– Venezuela) y consultor industrial en fenómenos interfaciales.  
 <https://orcid.org/0000-0003-4600-726X>

**Orejuela, Lourdes**, Dra. En Ciencias e ingenierías. Profesora titular Universidad San Francisco de Quito (Quito-Ecuador). Correo electrónico: [lorejuela@usfq.edu.ec](mailto:lorejuela@usfq.edu.ec).  
 <https://orcid.org/0000-0001-9887-1135>

