

# Métodos de extracción, funcionalidad y bioactividad de saponinas de *Yucca*: una revisión

Extraction methods, functionality and bioactivity of saponins from *Yucca*: a review

Guadalupe Johanna Góngora-Chi<sup>1</sup>, Jaime Lizardi-Mendoza\*<sup>1</sup>, Yolanda Leticia López-Franco<sup>1</sup>, Marco Antonio López-Mata<sup>2</sup>, Luis Quihui-Cota<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. (CIAD, A.C.) Carretera Gustavo Enrique Astiazarán Rosas No. 46. Col. La Victoria 83304. Hermosillo, Sonora, México.

<sup>2</sup> Departamento de Ciencias de la Salud, Universidad de Sonora, Campus Cajeme, Blvd. 39 Bordo Nuevo S/N, A.P. 85040, Antiguo Providencia, Cd. Obregón, Sonora, México

## RESUMEN

Las saponinas son metabolitos secundarios producidos naturalmente por las plantas debido al estrés biótico. Las plantas del género *Yucca* se consideran fuente de saponinas, particularmente de glucósidos esteroidales. Debido a su estructura química, son moléculas con diversas propiedades funcionales y con actividad biológica. Este documento explora de manera crítica los procesos tecnológicos reportados para la obtención de saponinas y extractos con saponinas de diversas especies del género *Yucca*, así como sus propiedades, bioactividad y aplicaciones actuales. Se considera que los extractos con saponinas de yuca presentan un potencial de uso a nivel industrial en diversas áreas, particularmente en tecnología de alimentos, salud y agropecuaria.

**Palabras clave:** *Yucca*, saponinas, bioactividad, métodos de extracción.

## ABSTRACT

Saponins are secondary metabolites produced naturally by plants in response to biotic stress. Plants of the *Yucca* genus are considered a source of saponins, particularly steroidal glycosides. Due to their chemical structure, they are molecules with diverse functional properties and biological activities. This review critically explores the reported technological procedures to obtain saponins and saponin rich extracts from species of the *Yucca* genus, as well as their properties, bioactivity, and current applications. *Yucca* saponin extracts are considered to have potential for industrial application in various areas, particularly in food technology, health and agriculture.

**Keywords:** *Yucca*, saponins, bioactivity, extraction methods.

## INTRODUCCIÓN

Las saponinas son un conjunto de metabolitos secundarios producidos principalmente por plantas, donde forman parte del sistema de defensa contra patógenos y depredadores. Diversos géneros de plantas pueden producir estos compuestos en distintas partes como semillas, raíces, hojas, frutos, tallos y cortezas. Un rasgo distintivo de las

saponinas es su capacidad de producir espuma por lo que tradicionalmente se han usado como jabón (Francis *et al.*, 2002; Reichert *et al.*, 2019).

Los usos actuales de las saponinas están directamente relacionados con su estructura química. Estas son moléculas anfífilas, con una parte hidrofóbica y otra hidrofílica (Güçlü-Üstündağ y Mazza, 2007; Vincken *et al.*, 2007). Esta característica hace que las saponinas tengan propiedades emulgentes y estabilizantes que han encontrado aplicación en el área farmacéutica y en la industria agroalimentaria (Cheok *et al.*, 2014). Muchas de las aplicaciones propuestas para las saponinas se basan en que su efecto y actividad generalmente son inocuas (Piacente, *et al.*, 2005; Güçlü-Üstündağ y Mazza, 2007) y biocompatibles. Incluso algunas saponinas o extractos ricos en saponinas han logrado certificaciones tipo GRAS (sustancia "Generalmente reconocida como segura", por su traducción del inglés) en diversas regiones del mundo (Environmental Protection Agency 2000, 2007; 21CFR172.510, 2019). Diversos estudios científicos han reportado saponinas con actividad inmunoestimulante, hipocolesterolemica, antiinflamatoria, antiparasitaria, antimicrobiana, antiviral e incluso propiedades anticancerígenas contra ciertas líneas celulares específicas (Lacaille-Dubois y Wagner, 1996; Francis *et al.*, 2002; Güçlü-Üstündağ y Mazza, 2007). Actualmente, investigaciones científicas continúan explorando características químicas y propiedades funcionales de saponinas de diversas fuentes vegetales, así como el desarrollo de tecnologías para la aplicación de extractos ricos en saponinas, particularmente en áreas médicas, nutricionales, tecnología de alimentos, agricultura, ganadería y acuicultura (Juang y Liang, 2020; Schreiner *et al.*, 2021).

Plantas pertenecientes a la subfamilia Agavoideae son consideradas fuentes de saponinas con propiedades funcionales atractivas para su uso (Simmons-Boyce y Tinto, 2007). En particular, especies del género *Yucca* han mostrado ser ricas en saponinas que se pueden encontrar en mayor proporción en tallos, hojas o rizomas dependiendo de la especie. Las yucas son un conjunto de especies de plantas nativas de América del Norte, que suelen encontrarse en hábitats áridos

\*Estos autores contribuyeron de manera igualitaria en este artículo

\*Autor para correspondencia: Jaime Lizardi Mendoza

Correo electrónico: jalim@ciad.mx

Recibido: 12 de julio de 2022

Aceptado: 31 de octubre de 2022

y semiáridos. Actualmente, poblaciones naturales de *Yucca schidigera* son aprovechadas a nivel comercial con uso principalmente en el área agropecuaria. El contenido de saponinas de este tipo de productos se considera esencial en sus aplicaciones. En este contexto resulta relevante desarrollar conocimiento tanto sobre las sustancias activas presentes en distintas yucas, como de los procedimientos tecnológicos aplicables para maximizar su extracción. Lo anterior es con la idea de que el aprovechamiento de la yuca, como un recurso natural valioso, sea efectivo y responsable. Por este motivo, se presenta una compilación crítica de las propiedades funcionales y los principales procesos de obtención de extractos ricos en saponinas de distintas especies del género *Yucca*.

### Saponinas

La palabra 'saponina' proviene del latín '*saponinus*', que significa "perteneciente al jabón" y hace referencia a la capacidad de esta sustancia para generar espuma similar al jabón (Juang y Liang, 2020). Es por esto que tradicionalmente las saponinas han sido empleadas como detergente, insecticida o fertilizante. Entre las aplicaciones actuales se encuentra su uso como limpiador de aguas residuales o como aditivo alimentario, por sus propiedades emulsionantes. De manera relevante, se utilizan extractos con saponinas para mejorar la producción agrícola, porque estimula el crecimiento de las plantas, además de tener actividad insecticida y antifúngica (Benichou *et al.*, 1999; Güçlü-Üstündağ y Mazza, 2007).

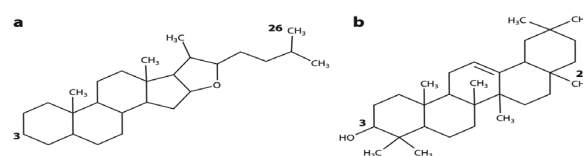
En la naturaleza, las saponinas son metabolitos secundarios distribuidos ampliamente en el reino vegetal. Su función fisiológica está implicada en la defensa contra patógenos y herbívoros (Cheek *et al.*, 2014; Juang y Liang, 2020). Diversas plantas son consideradas fuentes de saponinas y estas pueden localizarse en semillas, frutos, hojas, tallos y raíces. Usualmente las saponinas se encuentran formando parte de una matriz compleja con otros compuestos como azúcares, polifenoles, proteínas y lípidos (Cheeke, 2000). La cantidad de saponinas depende de una variedad de factores como la especie de planta, su edad, condiciones climáticas y presencia de patógenos o depredadores (Fenwick *et al.*, 1991).

### Estructura Química

En la estructura química de la saponina se reconocen dos partes principales. La parte conocida como aglicona o sapogenina es una estructura hidrofóbica que puede ser triterpenoide o esteroide (Figura 1). Las sapogeninas son denominadas acorde a la estructura del anillo principal; las de naturaleza triterpenoides, según su estructura principal, pueden ser oleanano pentacíclico, ursano, lupano y damarano tetracíclico (Figura 1a). Por otro lado, en las saponinas de naturaleza esteroide el núcleo de la estructura puede ser colestano tetracíclico, estirostano hexacíclico, furostano pentacíclico y cardenólido (Figura 1b) (Francis *et al.*, 2002; Cheeke *et al.*, 2006; Juang y Liang, 2020).

La parte complementaria de la estructura de saponinas son glúcidos de carácter hidrofílico. Las sapogeninas se

pueden clasificar según el número de residuos de azúcar y se denominan como mono, di- o tridesmosídicas cuando presentan uno, dos o tres residuos de azúcar, respectivamente. Las moléculas de azúcar en la estructura de las saponinas esteroidales usualmente están unidas en los carbonos C-3 y C-26. Por su parte, en las saponinas triterpenoides los glúcidos están unidos en los carbonos C-3 y C-28 (Francis *et al.*, 2002; Cheeke *et al.*, 2006; Juang y Liang, 2020). Entre los azúcares más comúnmente encontrados en saponinas se incluyen la D-glucosa, D-galactosa, ácido D-glucurónico, ácido D-galacturónico, L-ramnosa, L-arabinosa, D-xilosa y D-fucosa (Güçlü-Üstündağ y Mazza, 2007).



**Figure 1.** Basic chemical structure of the hydrophobic backbone of saponins that have either a (a) steroid (furostano) or (b) triterpene ( $\beta$ -amyrin type, oleananes) aglycone. Modified from Hostettmann & Marston (1995).

**Figura 1.** Estructura química del esqueleto de las sapogeninas con aglicona (a) esteroide (furostano) o (b) triterpeno (tipo  $\beta$ -amirina, oleananos).

Existen numerosas variaciones posibles en la estructura química, tanto de las sapogeninas (aglicona) como en los glúcidos incluidos. Es por esto que se han reportado una variedad considerable de saponinas de diversas fuentes vegetales y otros grupos de seres vivos. Incluso es común encontrar diversos tipos de saponinas presentes en una misma especie.

### Propiedades Funcionales

Debido a la variabilidad en su estructura química, las saponinas presentan características físico-químicas con diversas propiedades funcionales. Estas son base para su uso en diversas áreas, como la agricultura, biotecnología, industria alimentaria, cosmética y farmacología. Las saponinas son consideradas como surfactantes naturales útiles para la formación de emulsiones y espumas, con capacidad humectante y limpiadora. Por ello, recientemente se ha propuesto el uso de saponinas como reemplazo para los productos surfactantes de origen sintético, debido a que son obtenidas de fuentes renovables naturales (Bezerra *et al.*, 2021). También se está evaluando su incorporación en alimentos, considerando la actividad antimicrobiana y antiparasitaria de extractos con saponinas (Hasnudi *et al.*, 2019). Incluso organizaciones regulatorias internacionales, como la FDA, han otorgado el reconocimiento GRAS a saponinas de algunas especies para su uso como aditivo en alimentos y bebidas, estableciendo límites de consumo máximo para asegurar su inocuidad. Por su parte la FAO, a través del Codex Alimentarius, aprobó el uso del extracto de *Quillaja*, rico en saponinas triterpénicas, en bebidas y alimentos, con límite máximo de consumo de hasta 500 mg/kg al día (Reichert *et al.*, 2019; Jiménez *et al.*, 2021).

Las saponinas presentan actividad biológica, con beneficios a la salud, dependiendo principalmente del tipo de sapogenina, los azúcares unidos a la estructura y su concentración en la fuente vegetal. Entre las plantas utilizadas en la medicina herbal para tratar diversas enfermedades, la mayoría son consideradas fuentes de saponinas con potencial de aplicación médica mediante el desarrollo de fármacos (Tanaka *et al.*, 1996; Matsuura 2001; Kerwin, 2004). Por ejemplo, en la medicina tradicional china se utiliza el ginseng y otras plantas ricas en saponinas debido a su actividad antifúngica, antimicrobiana, antiviral, antiinflamatoria, anticancerígena, antioxidante y por efectos inmunomoduladores (Juang y Liang, 2020).

Entre las propiedades funcionales de las saponinas se ha reportado que pueden formar complejos insolubles con el colesterol, evitando su absorción y ayudando a su excreción, con efectos hipocolesterolémicos (inhibiendo el reciclaje del colesterol enterohepático) (Cheeke *et al.*, 2006). En estudios con animales, se han encontrado diferentes efectos de las saponinas a nivel sistémico, como incremento en la absorción de nutrientes a nivel gastrointestinal, mayor actividad hipoglucemiante e hipocolesterolémica, estimulación de las células mediadoras del sistema inmune, mayor producción de anticuerpos, así como función antioxidante, antifúngica, antiviral y antiparasitaria (Francis *et al.*, 2002). Debido a su naturaleza anfipática, presentan propiedades tensoactivas que mejoran la penetración de proteínas a través de las membranas celulares (Cheeke, 2000; Patel, 2012). Se ha investigado la actividad citotóxica de saponinas de diferentes plantas contra leucemia, cáncer de pulmón, colon, ovario, riñón, próstata y mama, encontrando que algunas de ellas tienen alta actividad contra las líneas de cáncer mencionadas (Patel, 2012).

### Fuentes

Las saponinas se pueden obtener de diversas partes de las plantas desde las semillas hasta la corteza (Francis *et al.*, 2002). Se ha reportado la presencia de saponinas en más de 100 familias de plantas y en algunas especies marinas como la estrella de mar y el pepino de mar. Una misma especie puede contener más de un solo tipo de saponinas, lo cual dependerá de diversos factores tanto ambientales como genéticos de la planta (Lacaille-Dubois y Wagner, 1996). Se considera también que los tratamientos durante la plantación, cosecha, postcosecha y procesamiento de la muestra afectan el tipo y cantidad de saponinas presentes (Güçlü-Üstündağ y Mazza, 2007).

En alimentos de consumo humano, las saponinas se encuentran en soya, lentejas, chícharos, frijoles, habas, maní, garbanzo, avena, quinoa, espárragos, té y ajo (Burrows *et al.*, 1987; Matsuura 2001; Kerem *et al.*, 2005). Dentro del reino vegetal se han identificado y caracterizado algunas saponinas de los géneros *Glycine*, *Chenopodium*, *Quillaja*, *Medicago*, *Aesculus*, *Malpighia*, *Glycyrrhiza*, *Saponaria*, *Trigonella* y *Yucca*, entre otras (Bezerra *et al.*, 2021).

Se ha identificado la presencia de saponinas en numerosas especies del género *Yucca*. Estas plantas son arbustos perenes de tallos duros y rígidos que viven durante muchos años (El Sayed *et al.*, 2020). Tomando en cuenta la cantidad de saponinas presentes en algunas especies de yuca, estas son consideradas fuente potencial para su extracción (Jiménez *et al.*, 2021).

### Saponinas de *Yucca*

El género *Yucca*, de la familia de las agaváceas, comprende alrededor de 50 especies de plantas diferentes. Estas, por lo general, viven en climas cálidos y secos, predominantemente en zonas desérticas, áridas y semiáridas de América del Norte y Central. Entre las especies que se encuentran en México, se han reportado *Yucca schidigera* (yuca de Mojave, [Mojave yucca]) en los desiertos de Baja California y Sonora, *Yucca baccata* (yuca banana, [dátil yucca]) en la sierra baja de Sonora, *Yucca elata* (yuca de árbol de jabón o cortadillo, [soaptree]) en los desiertos de Sonora y Chihuahua, o *Yucca elephantipes* (yuca de izote, yuca pie de elefante [giant yucca]) distribuida en el sureste de México. En las zonas áridas de Estados Unidos, prevalecen las especies *Yucca whipplei* (yuca chaparral o bayoneta española, [Chaparral yucca]) en el chaparral al sur de California y *Yucca brevifolia* (árbol de Josué, [Joshua tree]) en el desierto de Mojave (Patel, 2012; Gutiérrez-García *et al.*, 2021; Jiménez *et al.*, 2021). Nuestros ancestros empleaban algunas de estas especies con fines medicinales para tratar diversas condiciones como el dolor articular, sangrado, inflamaciones de la uretra y próstata. Se ha reportado que raíces de yuca se trituraban para hacer cataplasmas para tratar heridas y aliviar síntomas de enfermedades como el reumatismo (Waller y Yamasaki, 1996a; 1996b; Patel, 2012).

En el género *Yucca* predominan las saponinas de tipo espirostánico y furostánico en las especies *Y. gloriosa*, *Y. glauca*, *Y. schidigera*, *Y. aloifolia*, *Y. desmetiana*, *Y. elephantipes*, *Y. macrocarpa* y *Y. smalliana*. (Jiménez *et al.*, 2021). Específicamente, en *Y. schidigera* se han documentado saponinas de tipo esterooidal de espirostanos, en *Y. elephantipes* de tipo esterooidal, en *Y. gloriosa* de tipo esteroidales de furostanol, y en *Y. aloifolia* esteroidales de espirostanol (Bahuguna *et al.*, 1991; Nakano *et al.*, 1991a; Oleszek *et al.*, 2001; Kowalczyk *et al.*, 2011; Skhirtladze *et al.*, 2011; Zhang *et al.*, 2013; Qu *et al.*, 2018b).

Diversos estudios se han enfocado en la extracción de saponinas de las plantas del género *Yucca*. El contenido de saponinas en distintos extractos es variable, pues se emplean diversas técnicas de obtención y procesos de purificación, aunado a la variabilidad natural. Al momento se han reportado más de 100 diferentes saponinas de *Yucca* (Jiménez *et al.*, 2021). Solo algunos extractos ricos en saponinas y saponinas aisladas de las especies de *Yucca* mencionadas previamente son reconocidos como sustancias GRAS. Destaca el caso de *Yucca schidigera*, la cual cuenta con pruebas experimentales reconocidas que aseguran su inocuidad (Qu *et al.*, 2018b). A pesar de la identificación de algunas saponinas de las diver-

sas especies del género *Yucca*, aún son necesarios estudios para establecer rangos de concentración de consumo, que por un lado presenten bioactividad al tiempo que aseguran su inocuidad en el ser humano y otras especies (Piacente, *et al.*, 2005; Jiménez *et al.*, 2021).

### Métodos de obtención

Las propiedades funcionales de los extractos con saponinas de yuca, con aplicaciones principalmente en áreas de salud y agroalimentarias han motivado un creciente interés. Entre los objetivos predominantes en los estudios disponibles destaca la atención sobre los procesos de extracción (Cheok *et al.*, 2014). Actualmente existen diversas técnicas reportadas y utilizadas; no obstante, la selección de la técnica dependerá de factores como la condición y pureza de la muestra, el propósito del estudio y recursos económicos (Reichert *et al.*, 2019).

Entre las técnicas reportadas para la extracción de saponinas se encuentran, en primera instancia, los métodos que emplean solventes orgánicos, de uso habitual, pero que implican largos periodos y altas temperaturas para dispersar efectivamente la muestra y lograr la liberación de las saponinas y otros compuestos. Debido a los altos requerimientos de tiempo, energía y esfuerzo, además de rendimientos limitados obtenidos con estos procesos, han surgido los métodos basados en "tecnologías verdes". Este tipo de métodos hacen referencia a un mayor cuidado del medio ambiente y consisten en la optimización del tiempo, energía y el uso de solventes más seguros durante la extracción de las saponinas. Dentro de la tecnología habitual se encuentran las técnicas como maceración, reflujo, Soxhlet y procesos combinados o secuenciales. El uso de tratamientos con ultrasonido o microondas son ejemplos de tecnologías de extracción asistida. A pesar de los diversos beneficios atribuidos al uso de las tecnologías verdes, tanto en aspectos ambientales, de rendimiento y económicos, la mayoría de las investigaciones reportan extracciones usando los métodos tradicionales (Cheok *et al.*, 2014).

El conjunto de técnicas reportadas para la extracción de saponinas de las especies del género *Yucca* pueden clasificarse en métodos simples, complejos y con asistencia tecnológica. Los métodos simples consisten en la extracción directa del tejido vegetal con un solo tipo de disolvente. Los métodos complejos utilizan una secuencia determinada de extracciones simples con uno o más solventes distintos. Por su parte, los métodos con asistencia tecnológica utilizan equipos especializados basados en procesos físicos, como la cavitación (ultrasonido) o vibración inducida de dipolos (microondas), para mejorar la eficiencia de procesos de extracción basados en solventes (Cheok *et al.*, 2014; Reichert *et al.*, 2019). La mayoría de las extracciones reportadas para las especies de *Yucca* son de tipo complejo, empleando diversos solventes. Solo algunos reportes incluyen también procedimientos de purificación para aislar y caracterizar las saponinas presentes en los extractos vegetales (Jiménez *et al.*, 2021).

Un esquema general para la obtención del extracto con saponinas inicia con en el acondicionamiento de la materia prima. Esta etapa incluye desde la obtención de la materia prima (tejido vegetal), almacenamiento, secado, molienda y otros, hasta tener el material listo para la etapa de extracción. En dicha etapa se utiliza el procedimiento seleccionado de cualquiera de los tipos mencionados anteriormente. Finalmente, los pasos subsecuentes estarán determinados por el grado de pureza que se desea lograr, ya sea utilizar los extractos en crudo o utilizar métodos de purificación y aislamiento (como cromatografía) para obtener las distintas saponinas presentes en la muestra (Cheok *et al.*, 2014; Reichert *et al.*, 2019; Jiménez *et al.*, 2021).

Para obtención de los extractos de *Yucca gloriosa* se han utilizado rizomas, hojas y flores de la planta; entre los solventes reportados se menciona el metanol, butanol, hexano, cloroformo y agua (Montoro *et al.*, 2010; Skhirtladze *et al.*, 2011). Para la identificación de las saponinas (glucósidos esteroidales), las hojas fueron sometidas a una extracción inicial con metanol - agua, posteriormente se realizó la evaporación de metanol y se sometió a una segunda extracción con cloroformo para eliminar compuestos lipofílicos que pudiera contener el extracto. El tratamiento butanólico fue utilizado como una purificación previa a la cromatografía HPLC-MS para la identificación y caracterización de saponinas (Kemertelidze *et al.*, 2011).

Utilizando *Yucca schidigera* como materia prima, se han obtenido extractos de la corteza y el tallo. Entre los solventes utilizados se encuentran cloroformo, agua, etanol y metanol, empleando procedimientos tipo Soxhlet y columnas empacadas (Miyakoshi *et al.*, 2000; Kowalczyk *et al.*, 2011). Otros estudios reportan extracción mediante reflujo con etanol-agua y posterior purificación con cromatografía (Qu *et al.*, 2018a; 2018b).

Investigaciones basadas en el aislamiento y purificación de saponinas de distintas especies de yuca suelen utilizar procesos de extracción con mezclas agua-alcohol. También se han empleado procesos de extracción metanólica simple para hojas o rizomas de especies como *Y. glauca*, *Y. desmettiana* y *Y. elephantipes* (Diab *et al.*, 2012; Yokosuka *et al.*, 2014). Saponinas esteroidales de tipo epirostanol fueron aisladas de *Y. aloifolia* usando etanol como disolvente (Kishor y Sati, 1990; Bahuguna *et al.*, 1991). También se han reportado tratamientos más severos, como maceración y extracción con acetato de etilo más el proceso Soxhlet con eter de petróleo para la extracción de saponinas de hojas de *Y. filamentosa* (Plock *et al.*, 2001). A nivel industrial, existen productos de extractos de *Yucca schidigera* con aplicaciones en granjas, acuicultura, agricultura, rolado de granos, tratamiento de agua y uso humano sin especificación sobre los métodos de obtención del extracto (AGROIN, 2022).

### Caracterización

Para la cuantificación e identificación de las saponinas suelen utilizarse métodos espectrofotométricos y cromatográficos. En general, las técnicas de espectrofotometría son



consideradas simples, rápidas y económicas. Este tipo de técnicas es particularmente útil para la determinación de la concentración total de saponinas en una muestra. Se ha reportado el uso de anisaldehído, ácido sulfúrico y/o acetato de etilo para formar cromóforos, pero el método más utilizado conocido como 'vainillina-ácido sulfúrico' se basa en la oxidación de las saponinas triterpénicas con vainillina. Se debe tener en consideración factores como los estándares a utilizar, la longitud de onda con la que se trabajará y condiciones de tratamiento de la muestra para la selección de la metodología. Estudios para la cuantificación de saponinas de diversas plantas han reportado rangos de longitud de onda 480 – 610 nm (Liu *et al.*, 2012; Mostafa *et al.*, 2013).

La cromatografía es una técnica especializada utilizada para cuantificar un tipo de saponinas en específico. Los métodos más comúnmente empleados para la identificación y separación de saponinas emplean cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) y cromatografía de capa fina (TLC). Ambos métodos se han utilizado para identificar saponinas presentes en el género *Yucca*. Para *Y. schidigera* se ha utilizado HPLC, logrando la identificación y separación de 25 saponinas de espirostanol. Para *Y. gloriosa* se obtuvo un rendimiento por encima del 25 % p/p de saponinas glucósidos esteroidales (Skhirtladze *et al.*, 2011; Mostafa *et al.*, 2016; Qu *et al.*, 2018a). Se ha documentado también el uso de cromatografía HPLC-ELSD para la identificación y cuantificación de saponinas esteroidales de *Y. schidigera* (Sastre *et al.*, 2016).

### Funcionalidad

La funcionalidad de los extractos obtenidos de las diferentes partes de la yuca dependerá, en gran medida, de estructura química de las saponinas presentes. La variabilidad estructural, tanto de las saponinas como de los azúcares unidos a ella, proporcionan diversas funcionalidades a los extractos con saponina (Bezerra *et al.*, 2021).

### Actividad emulsificante

Patentes e investigaciones científicas han reportado la capacidad de extractos de *Yucca* (sin especificación de especie) para formar emulsiones (Beath 1914; Ralla *et al.*, 2018). Las propiedades emulsificantes tienen uso en la industria de alimentos y cosmética. Recientemente, se ha aumentado la demanda por la búsqueda de productos de origen natural para la utilización en la industria alimentaria. Debido a su carácter anfífilo, las saponinas presentan la capacidad para formar emulsiones. Entre las pruebas realizadas a las emulsiones formadas están la estabilidad, pH, fuerza iónica, calentamiento, almacenamiento y congelación-descongelación (Ralla *et al.*, 2018; Schreiner *et al.*, 2021). La actividad emulsificante del extracto de *Yucca* se midió durante la formación de partículas; la adición de extracto disminuyó el tamaño hasta 5 veces, logrando la formación de partículas en escala micro, comparable con el uso de emulsificantes sintéticos (Tween 80) y naturales (goma arábiga) (Ralla *et al.*, 2018).

### Propiedades espumantes

Las propiedades espumantes se relacionan con el poder limpiador de una emulsión con usos en diversas áreas y define su capacidad de limpieza (Mainkar y Jolly, 2000). Este método consiste en determinar el poder y la estabilidad espumante mezclando dos soluciones para formar espuma. Se mide la altura de la espuma generada al momento de la mezcla y 5 min después. La primera medición se refiere al poder espumante mientras que la segunda medición (5 min después) a la estabilidad (Chen *et al.*, 2010). El poder espumante ha sido estudiado en saponinas puras, presentando un poder y estabilidad emulsificante 390 % mayor en comparación con extractos crudos de plantas (*Tribulus terrestris*, *Trigonella foenum-graecum* y *Ruscus aculeatus*), siendo consideradas como buenos agentes emulsificantes y determinando su utilidad en diversas áreas de la industria donde esta propiedad es requerida (Schreiner *et al.*, 2021).

### Tensión interfacial y superficial

La actividad en la interfase en las emulsiones hace referencia a la estabilidad de la emulsión y es importante para el diseño de las mismas. Diversos estudios han reportado valores de tensión interfacial en compuestos naturales y sintéticos, reportando mayor actividad en compuestos naturales (polisacáridos, proteínas y extractos ricos en saponinas) en comparación con los sintéticos (Ralla *et al.*, 2017). Ralla y colaboradores (2018) reportaron una disminución de la tensión en la superficie al adicionar concentraciones del extracto de yuca en un rango de 85 a 52 % con valores más bajos observados en tensión interfacial de  $3.4 \pm 0.1 \text{ mN m}^{-1}$  y de  $37.9 \pm 0.2 \text{ mN m}^{-1}$  para la tensión superficial que indican la adsorción de moléculas de saponina anfífilas a las interfases. Estos valores demostraron ser similares a valores obtenidos para emulsificantes sintéticos utilizados en la industrial (Ralla *et al.*, 2018).

La tensión superficial tiene también relación con la capacidad detergente, ya que al reducir la tensión se considera un buen detergente. Mientras más tensioactiva sea considerada una sustancia, presenta mayor reducción de la tensión interfacial. Su relación con la concentración es inversamente proporcional, es decir, a menor actividad superficial mayor será la cantidad de emulsionante requerido para lograr el efecto deseado (Mainkar y Jolly, 2000).

### Actividad biológica

Al igual que las saponinas extraídas de otras plantas, las saponinas de *Yucca* han demostrado presentar diversos efectos bioactivos. Entre estos se destaca actividad antiinflamatoria, antifúngica, antimicrobiana y antiparasitaria (Tabla 1). La actividad citotóxica se ha reportado sólo en algunas especies como *Y. glauca*, *Y. desmetiana*, *Y. gloriosa*, *Y. filamentosa* y *Y. schidigera*. Se considera que la actividad mostrada por cada muestra está determinada por la fuente, así como por la estructura química particular de la saponina (Eskander *et al.*, 2013; Yokosuka *et al.*, 2014; Qu *et al.*, 2018a).

Se ha encontrado actividad antifúngica en extractos con saponinas de *Yucca schidigera*, tanto en pruebas *in vitro* como en estudios de tecnología de alimentos. Esta propiedad se les atribuye a las saponinas de tipo espirostanos presentes en los extractos (Piacente et al., 2005). Se percibe un potencial considerable de aplicación de los extractos con saponinas de yuca en la industria alimentaria, debido a sus propiedades antioxidantes y antimicrobianas. De igual manera se ha observado que extractos con saponinas de yuca mejoran el contenido de lípidos en carne de pollo para consumo humano. Se logra una disminución de las grasas saturadas e incrementos en ácidos grasos esenciales y poliinsaturados (Piacente et al., 2005; Benamirouche et al., 2020).

Recientemente se ha reportado actividad antiparasitaria y antimicrobiana efectiva de extractos con saponina de *Y. baccata* (Quihui-Cota et al., 2014; Gutiérrez-García et al., 2021). Por su parte, estudios sobre la bioactividad de las saponinas encontradas en *Y. gloriosa* han reportado que estas evitan la agregación plaquetaria, con un efecto positivo en el

sistema circulatorio al evitar eventos de trombosis (Skhirtladze et al., 2011).

### Aplicaciones

Debido a sus propiedades emulsificantes, espumantes, humectantes y de reducción de la tensión superficial, algunas saponinas y extractos de saponinas tienen aplicaciones en la industria cosmética, farmacéutica, agrícola y alimentaria (Güçlü-Üstündağ y Mazza, 2007). Estas son reconocidas por organismos regulatorios internacionales como aditivo seguro para el consumo humano, además de ser consideradas no tóxicas, ni mutagénicas. Es por esto que los extractos de *Yucca* ricos en saponinas tienen un potencial considerable de uso a nivel industrial en formulaciones de bebidas y alimentos. En la industria alimentaria, *Yucca schidigera* es una de las especies que cuenta con la clasificación como aditivo alimentario en Estados Unidos por la FDA (21CFR172.510, 2019); el extracto de rizomas se utiliza como potenciador de sabor en alimentos y agente espumante en bebidas carbonatadas (Tanaka et al., 1996).

**Tabla 1.** Bioactividad e identificación de saponinas y extractos ricos en saponinas obtenidas de distintas especies del género *Yucca*.

**Table 1.** Bioactivity and identification of saponins and saponin-rich extracts obtained from different *Yucca* species.

Especie	Parte de la Planta	Tipo de Saponina	Bioactividad	Referencia
<i>Y. filamentosa</i>	Hojas	Esteroidal	antimicrobiana	(El Sayed et al., 2020)
	Raíz	Esteroidal		(Plock et al., 2001)
<i>Y. gloriosa</i>	Tallo	Esteroidal		(Nakano et al., 1991a)
	Flores	Esteroidal		(Nakano et al., 1991b)
	Rizomas	Esteroidal (espirostanos, furostanos y colestano)		(Skhirtladze et al., 2006)
<i>Y. schidigera</i>	Tallo (Agro industrias)	Espirostanol	Antimicrobiana: bactericida y fungicida en alimentos	(Miyakoshi et al., 2000)
	Polvo de Yucca (Dessertking)	Esteroidal	Antimicrobiana en animales	(Oleszek et al., 2001; Narvaez et al., 2013)
	Rizomas	Esteroidal (furostanol)	Antiagregación plaquetaria	(Skhirtladze et al., 2011)
		Espirostanol (yuccaol y yuccaone)	Antioxidante	(Wang et al., 2000)
	Extracto (Desertking) y polvo de corteza	Esteroidal		(Kowalczyk et al., 2011)
	Tallo	Espirostanol		(Quet et al., 2018a; 2018b)
	-	-	Antiinflamatoria	(Cheeke et al., 2006)
Extracto		Reducción de ácidos grasos	Benamirouche et al., 2020	
<i>Y. glauca</i>	Rizomas	Esteroidal	Actividad citotóxica	(Yokosuka et al., 2014)
<i>Y. smalliana</i>	Hojas	Esteroidal	Antimicrobiana y antifúngica	(Jin et al., 2007)
<i>Y. baccata</i>	Tallo (extracto)	Esteroidales	Antiparasitaria y antimicrobiana	(Quihui-Cota et al., 2014; Gutiérrez-García et al., 2021)
<i>Y. aloifolia</i>	Hojas	Yuccaol B y C	Citotóxica	(Simmons-Boyce y Tinto, 2007)

En Japón, las sustancias compuestas de saponinas obtenidas de *Y. schidigera* se encuentran dentro de la lista de aditivos alimentarios existentes, aprobado para ser usado como aditivo natural por el Ministerio de Salud y Bienestar de Japón (The Japan Food Chemical Research Foundation 2022). Entre sus usos como aditivo alimentario se han reportado como emulsificante en bebidas y remoción de colesterol en productos lácteos durante el procesamiento de los alimentos (Piacente *et al.*, 2005).

Existen al menos dos empresas dedicadas a la investigación y comercialización de saponinas de *Y. schidigera*: Desert King (Desert King Int., 2021) y Baja Agro International S. A. de C. V. (AGROIN, 2022). Actualmente, en el mercado se encuentran disponibles el polvo y el extracto acuoso de *Y. schidigera*, productos derivados de la planta usadas como fuentes de saponinas para diferentes usos. Se ha documentado su uso en productos de limpieza, de uso personal en cosmética, en la industria farmacéutica, alimentación para animales y aditivo en bebidas carbonatadas debido a sus propiedades surfactantes (Piacente *et al.*, 2005; Güçlü-Üstündağ y Mazza, 2007).

## CONCLUSIONES

Las plantas del género *Yucca* son una fuente de saponinas que han demostrado propiedades biológicas y funcionales con potencial aplicación en la industria alimentaria y farmacéutica. Debido a la complejidad de la estructura de las saponinas, sus características físico-químicas (como su solubilidad en agua) y la matriz en la que se encuentran en la planta, la optimización de los métodos de extracción es un factor que puede contribuir al avance del conocimiento sobre las pruebas funcionales y bioactividad de la saponinas de las especies de este género.

Debido a las propiedades biológicas y sus beneficios a la salud, algunas saponinas estudiadas en las plantas de *Yucca* pueden servir como base para el desarrollo de nutraceuticos, en el diseño de alimentos y bebidas, y como reemplazo de las sustancias sintéticas utilizadas para lograr efectos antimicrobianos, conservadores y emulsificantes en los alimentos, estableciendo límites máximos de uso para asegurar su inocuidad y bioactividad.

Los métodos utilizados actualmente se basan en el uso de métodos tradicionales con grandes volúmenes de solventes. La optimización de los métodos de extracción pretende la utilización de tecnologías acopladas a los métodos ya existentes para aumentar los rendimientos y optimizar el tiempo, permitiendo el estudio de los extractos ricos en saponinas, así como el aislamiento, identificación y cuantificación de las saponinas presentes en el extracto.

## REFERENCIAS

21CFR172.510. (2019). CFR - Code of Federal Regulations Title 21. Food additives permitted for direct addition to food for human consumption. Code of Federal Regulations. <https://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfcr/cfrsearch.cfm?fr=172.510>

- Bahuguna, S., Kishor, N., Sati, O.P., Sati, S.P., Sakakibara, J. y Kaiya, T. 1991. A New Spirostanol Glycoside from *Yucca aloifolia*. *Journal of Natural Products*. 54 (3): 863-865.
- Baja Agro International S.A. de C.V. (AGROIN). [Consultado 28 Abril 2022] 2022. Disponible en: <https://yucca.com.mx>
- Beath, O.A. 1914. The Composition and Properties of the Yucca Plant. *Transactions of the Kansas Academy of Science* (1903-), 27, 102-104.
- Benamirouche, K., Baazize-Amami, D., Hezil, N., Djeddar, R., Niar, A. y Guetarni, D. 2020. Effect of probiotics and *Yucca schidigera* extract supplementation on broiler meat quality. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*. 42: 48006.
- Benichou, A., Aserin, A. y Garti, N. 1999. Steroid-Saponins from Fenugreek Seeds: Extraction, Purification and Surface Properties. *Journal of Dispersion Science and Technology*. 20 (1-2): 581-605.
- Bezerra, K.G.O., Silva, I.G.S., Almeida, F.C.G., Rufino, R.D. y Sarubbo, L.A. 2021. Plant-derived biosurfactants: Extraction, characteristics and properties for application in cosmetics. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 34: 102036.
- Burrows, J.C., Price, K.R. y Fenwick, G.R. 1987. Soyasaponin IV an additional monodesmosidic saponin isolated from soyabean. *Phytochemistry*. 26 (4): 1214-1215.
- Cheeke, P., Piacente, S. y Oleszek, W. 2006. Anti-Inflammatory and Anti-Arthritic Effects of *Yucca schidigera*: A Review. *Journal of Inflammation*. 3 (1): 6.
- Cheeke, P.R. 2000. Actual and Potential Applications of *Yucca schidigera* and *Quillaja saponaria* Saponins in Human and Animal Nutrition. En: *Saponins in Food, Feedstuffs and Medicinal Plants*. W. Oleszek y A. Marston (ed), pp. 241-254. Springer. Dordrecht, Netherlands.
- Chen, Y. F., Yang, C. H., Chang, M. S., Ciou, Y.P. y Huang, Y. C. 2010. Foam Properties and Detergent Abilities of the Saponins from *Camellia oleifera*. *International Journal of Molecular Sciences*. 11 (11): 4417-4425.
- Cheok, C.Y., Salman, H.A.K. y Sulaiman, R. 2014. Extraction and quantification of saponins: A review. *Food Research International*. 59: 16.
- Desert King: The Natural Choice for Quillaja, Yucca and Jojoba Extracts. [Consultado 21 Octubre 2021] 2021. Disponible en: <https://desertking.com>.
- Diab, Y., Ioannou, E., Emam, A., Vagias, C. y Roussis, V. 2012. Desmettianosides A and B, bisdesmosidic furostanol saponins with molluscicidal activity from *Yucca desmettiana*. *Steroids*. 77 (6): 686-690.
- El Sayed, A.M., Basam, S.M., El Naggar, E. M. bellah A., Marzouk, H.S. y El Hawary, S. 2020. LC-MS/MS and GC-MS profiling as well as the antimicrobial effect of leaves of selected *Yucca* species introduced to Egypt. *Scientific Reports*. 10 (1): 17778.
- Environmental Protection Agency. (2000). *Yucca Extract; Exemption From the Requirement of a Tolerance*. Federal Register; EPA-HQ-OPP-2007-0289. <https://www.federalregister.gov/documents/2000/09/29/00-24946/yucca-extract-exemption-from-the-requirement-of-a-tolerance>
- Environmental Protection Agency. (2007). *Quillaja Saponaria Extract; Exemption from the Requirement of a Tolerance*. Federal Register; 72 FR 41931. <https://www.federalregister.gov/documents/2007/08/01/E7-14894/quillaja-saponaria-extract-exemption-from-the-requirement-of-a-tolerance>

- Eskander, J., Sakka, O.K., Harakat, D. y Lavaud, C. 2013. Steroidal saponins from the leaves of *Yucca desmetiana* and their in vitro antitumor activity: structure activity relationships through a molecular modeling approach. *Medicinal Chemistry Research*. 22 (10): 4877-4885.
- Fenwick, G.R., Price, K.R., Tsukamoto, C. y Okubo, K. 1991. Chapter 12 - Saponins. En: *Toxic Substances in Crop Plants*. J.P.F. D'Mello, C.M. Duffus y J.H. Duffus (ed), pp. 285-327. Woodhead Publishing, Edinburgh, Scotland.
- Francis, G., Kerem, Z., Makkar, H.P.S. y Becker, K. 2002. The Biological Action of Saponins in Animal Systems: A Review. *British Journal of Nutrition*. 88 (6): 587-605.
- Güçlü-Üstündağ, Ö. y Mazza, G. 2007. Saponins: Properties, Applications and Processing. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 47 (3): 231-258.
- Gutiérrez-García, G.J., Quintana-Romero, L.A., Morales-Figueroa, G.G., Esparza-Romero, J., Pérez-Morales, R., López-Mata, M.A., Juárez, J., Sánchez-Escalante, J.J., Peralta, E., Quihui-Cota, L. y Soto-Valdez, H. 2021. Effect of *Yucca baccata* butanolic extract on the shelf life of chicken and development of an antimicrobial packaging for beef. *Food Control*. 127: 108142.
- Hasnudi, Mirwandhono, R.E. y Siregar, G.A.W. 2019. Addition of andaliman to shelf life of beef nugget. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 260 (1): 012060.
- Jiménez, G.G., Durán, A.G., Macías, F.A. y Simonet, A.M. 2021. Structure, Bioactivity and Analytical Methods for the Determination of Yucca Saponins. *Molecules*. 26 (17): 5251.
- Jin, Y. L., Kuk, J. H., Oh, K. T., Kim, Y. J., Piao, X. L. y Park, R. D. 2007. A new steroidal saponin, yuccalan, from the leaves of *Yucca smalliana*. *Archives of Pharmacol Research*. 30 (5): 543-546.
- Juang, Y. P. y Liang, P. H. 2020. Biological and Pharmacological Effects of Synthetic Saponins. *Molecules*. 25 (21): 4974.
- Kemertelidze, E., Benidze, M. y Skhirtladze, A. 2011. Steroidal Glycosides from the Leaves of *Yucca gloriosa* L. *Bulletin of the Georgian National Academy of Science* S. 5 (1): 6.
- Kerem, Z., German-Shashoua, H. y Yarden, O. 2005. Microwave-assisted extraction of bioactive saponins from chickpea (*Cicer arietinum* L). *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 85 (3): 406-412.
- Kerwin, S. 2004. Soy Saponins and the Anticancer Effects of Soybeans and Soy-Based Foods. *Current Medicinal Chemistry-Anti-Cancer Agents*. 4 (3): 263-272.
- Kishor, N. y Sati, O.P. 1990. A New Molluscicidal Spirostanol Glycoside of *Yucca aloifolia*. *Journal of Natural Products*. 53 (6): 1557-1559.
- Kowalczyk, M., Pecio, Ł., Stochmal, A. y Oleszek, W. 2011a. Qualitative and Quantitative Analysis of Steroidal Saponins in Crude Extract and Bark Powder of *Yucca schidigera* Roetz. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 59 (15): 8058-8064.
- Lacaille-Dubois, M.A. y Wagner, H. 1996. A review of the biological and pharmacological activities of saponins. *Phytomedicine*. 2 (4): 363-386.
- Liu, Y. W., Zhu, X., Lu, Q., Wang, J. Y., Li, W., Wei, Y. Q. y Yin, X.-X. 2012. Total saponins from *Rhizoma Anemarrhenae* ameliorate diabetes-associated cognitive decline in rats: Involvement of amyloid-beta decrease in brain. *Journal of Ethnopharmacology*. 139 (1): 194-200.
- Mainkar, A.R. y Jolly, C.I. 2000. Evaluation of commercial herbal shampoos. *International Journal of Cosmetic Science*. 22 (5): 385-391.
- Matsuura, H. 2001. Saponins in Garlic as Modifiers of the Risk of Cardiovascular Disease. *The Journal of Nutrition*. 131 (3): 1000-1005.
- Miyakoshi, M., Tamura, Y., Masuda, H., Mizutani, K., Tanaka, O., Ikeda, T., Ohtani, K., Kasai, R. y Yamasaki, K. 2000. Antiyeast Steroidal Saponins from *Yucca schidigera* (Mohave Yucca), a New Anti-Food-Deteriorating Agent. *Journal of Natural Products*. 63 (3): 332-338.
- Montoro, P., Skhirtladze, A., Perrone, A., Benidze, M., Kemertelidze, E. y Piacente, S. 2010. Determination of steroidal glycosides in *Yucca gloriosa* flowers by LC/MS/MS. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*. 52 (5): 791-795.
- Mostafa, A., Sudisha, J., El Sayed, M., Ito, S., Ikeda, T., Yamauchi, N. y Shigyo, M. 2013. Aginoside saponin, a potent antifungal compound, and secondary metabolite analyses from *Allium nigrum* L. *Phytochemistry Letters*. 6 (2): 274-280.
- Mostafa, A.E., El Hela, A.A., Mohammad, A.I., Cutler, S.J. y Ross, S.A. 2016. New triterpenoidal saponins from *Koeleria paniculata*. *Phytochemistry Letters*. 17: 213-218.
- Nakano, K., Hara, Y., Murakami, K., Takaishi, Y. y Tomimatsu, T. 1991a. 12-Hydroxy steroidal glycosides from the caudex of *Yucca gloriosa*. *Phytochemistry*. 30 (6): 1993-1995.
- Nakano, K., Midzuta, Y., Hara, Y., Murakami, K., Takaishi, Y. y Tomimatsu, T. 1991b. 12-Keto steroidal glycosides from the caudex of *Yucca gloriosa*. *Phytochemistry*. 30 (2): 633-636.
- Oleszek, W., Sitek, M., Stochmal, A., Piacente, S., Pizza, C. y Cheeke, P. 2001. Steroidal Saponins of *Yucca schidigera* Roetz. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 49 (9): 4392-4396.
- Patel, S. 2012. *Yucca*: A Medicinally Significant Genus with Manifold Therapeutic Attributes. *Natural Products and Bioprospecting*. 2 (6): 231-234.
- Piacente, S., Pizza, C. y Oleszek, W. 2005. Saponins and Phenolics of *Yucca schidigera* Roetz: Chemistry and Bioactivity. *Phytochemistry Reviews*. 4 (2): 177-190.
- Plock, A., Beyer, G., Hiller, K., Gründemann, E., Krause, E., Nimtz, M. y Wray, V. 2001. Application of MS and NMR to the structure elucidation of complex sugar moieties of natural products: exemplified by the steroidal saponin from *Yucca filamentosa* L. *Phytochemistry*. 57 (3): 489-496.
- Qu, L., Ruan, J., Wu, S., Huang, P., Yan, J., Yu, H., Zhang, Y. y Wang, T. 2018a. Separation and Bioactive Assay of 25R/S-Spirostanol Saponin Diastereomers from *Yucca schidigera* Roetz (Mojave) Stems. *Molecules*. 23 (10): 2562.
- Qu, L., Wang, J., Ruan, J., Yao, X., Huang, P., Wang, Y., Yu, H., Han, L., Zhang, Y. y Wang, T. 2018b. Spirostan-Type Saponins Obtained from *Yucca schidigera*. *Molecules*. 23 (1): 167.
- Quihui-Cota, L., León-Trujillo, R., Astiazarán-García, H., Esparza-Romero, J., Robles, M. del R., Robles-Zepeda, R.E., Canett, R. y Sánchez-Escalante, J. 2014. Marked Antigiardial Activity of *Yucca baccata* Extracts: A Potential Natural Alternative for Treating Protozoan Infections. *BioMed Research International*. 2014: 1-6.
- Ralla, T., Herz, E., Salminen, H., Edelmann, M., Dawid, C., Hofmann, T. y Weiss, J. 2017. Emulsifying Properties of Natural Extracts from *Panax ginseng* L. *Food Biophysics*. 12 (4): 479-490.
- Ralla, T., Salminen, H., Tuosto, J. y Weiss, J. 2018. Formation and stability of emulsions stabilised by *Yucca* saponin extract. *International Journal of Food Science & Technology*. 53 (6): 1381-1388.



- Reichert, C.L., Salminen, H. y Weiss, J. 2019. Quillaja Saponin Characteristics and Functional Properties. *Annual Review of Food Science and Technology*. 10 (1): 43-73.
- Sastre, F., Ferreira, F. y Pedreschi, F. 2016. MALDI-TOF mass spectrometry and reversed-phase HPLC-ELSD chromatography for structural and quantitative studies of major steroid saponins in commercial extracts of *Yucca schidigera* Roetzl. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*. 120: 270-282.
- Schreiner, T.B., Colucci, G., Santamaria-Echart, A., Fernandes, I.P., Dias, M.M., Pinho, S.P. y Barreiro, M.F. 2021. Evaluation of saponin-rich extracts as natural alternative emulsifiers: A comparative study with pure Quillaja Bark saponin. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 623: 126748.
- Simmons-Boyce, J.L. y Tinto, W.F. 2007. Steroidal Saponins and Sapogenins from the Agavaceae Family. *Natural Product Communications*. 2 (1): 99.
- Skhirtladze, A., Perrone, A., Montoro, P., Benidze, M., Kemertelidze, E., Pizza, C. y Piacente, S. 2011. Steroidal saponins from *Yucca gloriosa* L. rhizomes: LC-MS profiling, isolation and quantitative determination. *Phytochemistry*. 72 (1): 126-135.
- Skhirtladze, A., Plaza, A., Montoro, P., Benidze, M., Kemertelidze, E., Pizza, C. y Piacente, S. 2006. Furostanol saponins from *Yucca gloriosa* L. rhizomes. *Biochemical Systematics and Ecology*. 34 (11): 809-814.
- Tanaka, O., Tamura, Y., Masuda, H. y Mizutani, K. 1996. Application of Saponins in Foods and Cosmetics: Saponins of Mohave Yucca and *Sapindus Mukurossi*. En: *Saponins Used in Food and Agriculture*. G.R. Waller y K. Yamasaki (ed), pp. 1-11. Springer US. Boston, MA.
- The Japan Food Chemical Research Foundation. List of Existing Food Additives [Consultado 28 Abril 2022] 2022. Disponible en: <https://www.ffcr.or.jp/en/tenka/list-of-existing-food-additives/list-of-existing-food-additives.html>
- Vincken, J. P., Heng, L., de Groot, A. y Gruppen, H. 2007. Saponins, classification and occurrence in the plant kingdom. *Phytochemistry*. 68 (3): 275-297.
- Waller, G.R. y Yamasaki, K. 1996a. *Saponins Used in Food and Agriculture*. 1 ed. Springer. Boston, MA.
- Waller, G.R. y Yamasaki, K. 1996b. *Saponins Used in Traditional and Modern Medicine*. 1 ed. Springer. Boston, MA.
- Wang, Y., McAllister, T. A., Yanke, L. J. y Cheeke, P. R. 2000. Effect of steroidal saponin from *Yucca schidigera* extract on ruminal microbes. *Journal of Applied Microbiology*. 88 (5): 887-896.
- Yang, C. H., Huang, Y. C., Chen, Y. F. y Chang, M. H. 2020. Foam properties, detergent abilities and long-term preservative efficacy of the saponins from *Sapindus mukorossi*. *Journal of Food and Drug Analysis*. 18 (3): 155-160.
- Yokosuka, A., Suzuki, T., Tatsuno, S. y Mimaki, Y. 2014. Steroidal glycosides from the underground parts of *Yucca glauca* and their cytotoxic activities. *Phytochemistry*. 101: 109-115.
- Zhang, Y., Yang, C. R. y Zhang, Y. J. 2013. New Steroidal Saponins from the Leaves of *Yucca elephantipes*. *Helvetica Chimica Acta*. 96 (9): 1807-1813.