

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS

Técnicas de identificación y cuantificación de los principios activos con potencial uso en el sector cosmético encontrados en las especies del género *Opuntia* de la familia Cactaceae.

Monografía previa a la obtención del título de Licenciada en Ciencias Químicas con mención en Química Analítica

INGRID MABEL CEVALLOS CAMACHO

Quito, 2018

CERTIFICACIÓN

Certifico que la monografía de Licenciatura en Ciencias Químicas con mención en Química Analítica, de la Srta. Ingrid Mabel Cevallos Camacho ha sido concluida de conformidad con las normas establecidas; por lo tanto, puede ser presentada para la calificación correspondiente.

Mtr. Yolanda Jibaja A.

Directora de la Monografía

Quito, 02 de enero del 2018

DEDICATORIA

A:

Dios y la Virgen Dolorosa, por cuidarme bajo su manto celestial durante mi desarrollo académico y personal, guiándome siempre bajo el lema ignaciano *“Ser más, para servir mejor”*.

Mi familia, por su apoyo en todo el desarrollo de mi carrera, por motivarme a conseguir cosas más grandes, por siempre inculcarme los mejores valores y sobre todo por nunca dejarme desvanecer. A mis papás por haberme dado la mejor educación y porque me permitieron crecer en el mundo no sólo profesionalmente sino también como persona. A mis hermanas por su apoyo incondicional y motivación. Me siento muy feliz de poder compartir con ustedes esta meta cumplida con el esfuerzo de todos, los amo infinitamente.

Mis amigas por estar junto a mi durante todos estos años apoyándome y demostrándome lo valioso que es la amistad. A Steven, por su apoyo incondicional, por sus consejos y por su constante motivación, por ser mi compañero de aula, mi cómplice, mi enamorado y futuro colega. *“Porque no sólo hay química entre nosotros, sino que ésta nos unió”*, te amo.

Finalmente a los profesores, que nos formaron en el mundo de la ciencia y nos incentivaron a la investigación, mostrándonos que la ciencia no sólo debe ser desarrollada sino también compartida. Agradezco la acertada guía en la dirección del presente trabajo a la Mtr. Yolanda Jibaja por la ayuda en asesorías y dudas presentadas en la elaboración de la monografía, a la Dra. Lorena Meneses y Mtr. Pablo Pozo.

TABLA DE CONTENIDOS

| | | |
|----|---------------------------------------------------------|----|
| 1. | RESUMEN | 8 |
| 2. | ABSTRACT | 10 |
| 3. | INTRODUCCIÓN | 12 |
| | 3.1. OBJETIVOS..... | 15 |
| 4. | DESARROLLO TEÓRICO | 16 |
| | 4.1 ANTECEDENTES | 16 |
| | 4.2 HISTORIA DE LOS PRINCIPIOS ACTIVOS EN PLANTAS | 17 |
| | 4.3 FAMILIA CACTACEAE | 19 |
| | 4.3.1 GÉNEROS Y ESPECIES DE LA FAMILIA CACTACEAE..... | 20 |
| | 4.3.2 UTILIDADES DE LAS <i>OPUNTIAS</i> | 23 |
| | 4.4 FITOQUÍMICOS DE INTERÉS COSMÉTICO | 24 |
| | 4.5 PRINCIPIOS ACTIVOS | 32 |
| | 4.6 FACTORES DETERMINANTES DE PRINCIPIOS ACTIVOS | 37 |
| | 4.7 TÉCNICAS DE IDENTIFICACIÓN Y CUANTIFICACIÓN | 38 |
| | 4.7.1. POLIFENOLES..... | 38 |
| | 4.7.2 FLAVONOIDES | 41 |
| | 4.7.3 ACEITES ESENCIALES | 41 |
| | 4.7.4 LÍPIDOS..... | 43 |
| | 4.7.5 VITAMINA E..... | 44 |
| | 4.7.6 VITAMINA C | 46 |
| | 4.7.7 FITOSTEROLES..... | 47 |
| | 4.7.8 BETALAÍNAS | 48 |
| | 4.7.9 CLOROFILA..... | 50 |
| | 4.7.10 MUCÍLAGOS | 50 |
| | 4.7.11 MINERALES | 52 |

| | |
|------------------------------------|----|
| 5. CONCLUSIONES | 54 |
| 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 56 |
| 7. FIGURAS | 66 |
| 8. TABLAS..... | 76 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1. Clasificación de la familia Cactaceae..... | 66 |
| Figura 2. Partes principales de las Opuntias..... | 67 |
| Figura 3. <i>Opuntia humifusa</i> | 68 |
| Figura 4. <i>Opuntia Ficus-indica</i> | 69 |
| Figura 5. <i>Opuntia streptacantha</i> | 69 |
| Figura 6. <i>Opuntia Robusta</i> | 70 |
| Figura 7. <i>Opuntia leucotricha</i> | 71 |
| Figura 8. <i>Opuntia megacantha</i> | 72 |
| Figura 9. Acción antioxidante | 73 |
| Figura 10. Estructura química de los principales grupos de flavonoides..... | 74 |
| Figura 11. Prensas mecánicas..... | 75 |

LISTA DE TABLAS

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1 Taxonomía de las cactáceas (Lumbreras et al., 2009)..... | 76 |
| Tabla 2 Principios activos de los grupos fitoquímicos encontrados en las <i>Opuntias</i> (Nazareno et al., 2012). | 76 |
| Tabla 3 Clasificación de polifenoles de acuerdo al número de átomos de carbono en el esqueleto base (Ferraro, 2015)..... | 78 |
| Tabla 4 Principios activos de interés cosmético dentro de los grupos fitoquímicos encontrados en las especies del género <i>Opuntia</i> de la familia Cactaceae (Acuña, 2006; Koolman y Heinrich, 2005; Hickey y Saul, 2014). | 79 |
| Tabla 5 Efecto de los diferentes solventes y métodos de extracción de compuestos fenólicos totales y flavonoides de extractos de las flores de <i>Opuntia ficus-indica</i> (Ammar et al., 2015). | 82 |
| Tabla 6 Contenido de compuestos fenólicos en <i>O. ficus-indica</i> , <i>O. robusta</i> y <i>O. megacantha</i> determinados por espectrofotometría UV y HPLC-DAD-MS (Chahdoura, Barreira, Barros, Santos, Ferreira y Achour, 2014; Chougui et al., 2013)..... | 83 |
| Tabla 7 Contenido de flavonoides en <i>O. ficus-indica</i> , <i>O. robusta</i> y <i>O. megacantha</i> identificados y cuantificados por HPLC-MS/MS y espectrofotometría UV (Guevara et., 2010)..... | 84 |
| Tabla 8 Contenido de ácidos grasos del aceite de semillas de <i>Opuntia ficus-indica</i> determinados mediante GC-FID (Chougui et al., 2013)..... | 85 |
| Tabla 9 Contenido de tocoferoles en <i>Opuntia ficus-indica</i> determinados por NP-HPLC con detector de longitud de onda variable y HPLC con detector de fluorescencia (Ramadan y Morsel, 2003; Yahia y Mondragon, 2011)..... | 86 |
| Tabla 10 Contenido de ácido ascórbico en <i>O. ficus-indica</i> , <i>O. robusta</i> , <i>O. streptacantha</i> y <i>O. megacantha</i> determinado por HPLC-DAD y HPLC-EC (Yahia y Mondragon, 2011)..... | 87 |
| Tabla 11 Contenido de fitosteroles en las semillas y pulpa del fruto de <i>Opuntia ficus-indica</i> determinados por cromatografía de gases con detector de ionización en llama (GC-FID) (Ramadan y Morsel, 2003). | 88 |
| Tabla 12 Contenido de betalaínas en las especies de <i>O. ficus-indica</i> y <i>O. megacantha</i> cuantificadas por espectrofotometría UV e identificados y cuantificados por HPLC-DAD-MS (Melgar et al., 2017). | 89 |
| Tabla 13 Contenido de clorofila total, a y b en <i>O. ficus-indica</i> , <i>O. streptacantha</i> y <i>O. robusta</i> determinados mediante espectrofotometría UV-Vis (Yahia et al., 2010).90 | |

Tabla 14 Composición de azúcares en el extracto de mucílago de *Opuntia ficus-indica* identificados y cuantificados por HPLC-IR y HPLC-ED (Torres et al., 2000; Espino et al., 2010). 91

Tabla 15 Contenido de minerales en los cladodios y pulpas de *O. ficus-indica*, *O. streptacantha* y *O. megacantha* obtenidos por ICP-MS y AAS (García et al., 2015; Méndez et al., 2015). 92

1. RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo principal realizar un estudio bibliográfico, acerca de la presencia de principios activos de interés cosmético en especies del género *Opuntia* de la familia Cactaceae, para proponer técnicas de identificación y cuantificación. Inicialmente, se definió a las especies del género *Opuntia* como plantas suculentas con tejidos parenquimáticos en sus hojas o ramas que acumulan gran cantidad de agua y nutrientes para subsistir en condiciones de sequía. Se seleccionó a *Opuntia ficus-indica* como fuente potencial de principios activos correspondientes a grupos fitoquímicos como: polifenoles, lípidos, vitaminas, fitosteroles, betalaínas, mucílagos y minerales. Dentro de los grupos fitoquímicos, los principios activos de interés cosmético encontrados en las raíces, semillas, cladodios, flores, frutas y cáscaras de las *Opuntias* son: ácido ferúlico (347 µg/g), ácido salicílico (226,2 µg/g), ácido linoleico (63,1 %), ácido oleico (20,9 %), vitamina E (53 µg/100 g), vitamina C (2100 µg/100 g), β-sitosterol (11,2 g/kg), indicaxantina (60,9 %), betanidin-5-O-β-glucósido (41,6 %), clorofila a (10,7 mg/100 g), L- arabinosa (44,04 %) y potasio (2403 mg/100 g). Las técnicas de identificación y cuantificación recomendadas para el análisis de principios activos son: cromatografía líquida de alta resolución con detector de arreglo de diodos y espectrómetro de masas (HPLC-DAD-MS) para polifenoles y betalaínas, cromatografía líquida de alta resolución acoplado a resonancia magnética nuclear (HPLC-NMR) para el análisis de flavonoides, cromatografía de gases con detector de ionización en llama (GC-FID) para la identificación y cuantificación de ácidos grasos y fitosteroles, cromatografía líquida de alta resolución con detector de fluorescencia para vitamina E, cromatografía líquida de alta resolución con detector de electroquímico (HPLC-EC) para el análisis de vitamina C, espectrofotometría ultravioleta visible (UV-Vis) para clorofila, cromatografía líquida de alta resolución con detector de infrarrojo (HPLC-IR) para el análisis de mucílagos y espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS) para minerales. En conclusión, las especies del género *Opuntia* son consideradas como recurso con alto potencial industrial, no solo alimenticio sino también farmacéutico o cosmético por su contenido de principios activos con propiedades antioxidantes, antiinflamatorias, hidratantes y nutraceuticas.

Palabras clave: cosméticos naturales, familia Cactaceae, *Opuntia ficus-indica*, principios activos, técnicas de identificación y cuantificación.

2. ABSTRACT

The main objective of this work is to carry out a bibliographic study about the presence of active ingredients of cosmetic interest in *Opuntia* species of the Cactaceae family, to propose identification and quantification techniques. First of all, *Opuntia* species are defined as succulent plants with tissues in their leaves or branches that accumulate large amounts of water and nutrients to survive in adverse conditions. *Opuntia ficus-indica* was selected as a potential source of active ingredients associated with phytochemical groups such as: polyphenols, lipids, vitamins, phytosterols, betalains, mucilages and minerals. Among the phytochemicals, the active principles of cosmetic interest found in the roots, seeds, cladodes, flowers, fruits and rinds of *Opuntias* are: Ferulic acid (347 µg / g), salicylic acid (226.2 µg / g), linoleic acid (63.1%), oleic acid (20.9%), vitamin E (53 µg / 100 g), vitamin C (2100 µg / 100 g), β-sitosterol (11.2 g / kg), Indicaxanthin (60.9%), betanidin-5-O-β-glucoside (41.6%), chlorophyll a (10.7 mg / 100 g), L-arabinose (44.04%) and potassium (2403 mg) / 100 grams). The identification and quantification techniques recommended for the analysis of active principles are: high resolution liquid chromatography with diode detector and mass spectrometer (HPLC-DAD-MS) for polyphenols and betalains, high performance liquid chromatography coupled to nuclear Magnetic Resonance (HPLC-NMR) for flavonoids, gas chromatography with flame ionization detector (GC-FID) for the identification and quantification of fatty acids and phytosterols, high resolution liquid chromatography with fluorescence detector for vitamin E, high performance liquid chromatography resolution with electrochemical detector (HPLC-CE) for the analysis of vitamin C, visible ultraviolet spectrophotometry (UV-Vis) for chlorophyll, high performance liquid chromatography with infrared detector (HPLC-IR) for mucilage analysis and spectrometry of mass with inductively coupled plasma (ICP-MS) for minerals. In conclusion, *Opuntia* species are considered a resource with high industrial potential not only food but also pharmaceutical or cosmetic for its content of active ingredients with antioxidant, anti-inflammatory, moisturizing and nutraceutical.

Key words: natural cosmetics, Cactaceae family, *Opuntia ficus-indica*, active principles, identification and quantification techniques.

3. INTRODUCCIÓN

Las plantas de la familia Cactaceae o también conocidas como “cactus”, no sólo nos sorprenden por sus curiosas formas y llamativos colores, sino también por la importancia que pueden presentar en la industria cosmética, debido a su alto contenido de fitoquímicos, que se emplean en formulaciones de productos naturales ofertados en el mercado cosmético.

La familia Cactaceae son plantas suculentas xerófitas que pertenecen al orden *Caryophyllales*, dentro de las eudicotiledóneas, constituidas por alrededor de 1500-2000 especies (Monge, Figueroa, Rivas, 2002). Las diversas especies son plantas típicas de desiertos y otros ambientes áridos, que contienen una gran reserva hídrica para largos períodos de sequía (Jardín Botánico, 2016).

Estas magníficas plantas tienen una variedad de utilidades, algunas de ellas muy curiosas. Es muy común su uso con fines ornamentales por sus llamativas flores, tallos y colores en jardines de clima templado-cálido; en los interiores de casas o invernaderos se cultivan en maceta, permitiendo disfrutar de ellas durante el invierno en climas fríos; en los campos y huertas se han plantado desde hace siglos como setos espinosos impenetrables y defensivos.

Además, se utilizan como alimento humano y animal, como por ejemplo, la *Opuntia ficus-indica*, tiene brotes jóvenes (*nopales*) comestibles como verdura, y el fruto (*tuna*) como tal; *Opuntia streptacantha* da frutos refrescantes, mientras que los de *Opuntia robusta* tienen un sabor fresco y un olor agradable. De igual manera, los frutos de *Opuntia leucotricha*, utilizados como planta ornamental, permite aprovechar para consumo sus pequeños frutos parecidos a melocotones con sabor a limón (Monge et al., 2002).

Por otro lado, otras especies presentan esqueleto leñoso por lo cual se emplean como madera en carpintería y ebanistería. Además, las fibras de algunas especies como *Cephalocereus* o *Pilosocereus* son muy buenas para tejer o para emplear de relleno en colchones y cojines. Los nopales de *Opuntias* se pueden

utilizar para cultivar insectos como la cochinilla de nopal o grana y extraerles un llamativo tinte púrpura bastante eficaz para teñir textiles (Cabral, 2004).

Las especies de la familia Cactaceae, por su propia naturaleza, tienen la capacidad de acumular abundante cantidad de agua, nutrientes y principios activos, que proporcionan una larga lista de beneficios para la salud, bienestar y belleza. Los principios activos presentes en el género *Opuntia*, actúan por ejemplo, frente ojeras oscuras, rojeces o arañas vasculares; aportan acción hidratante, antiinflamatoria y antihistamínica. De igual manera, al tener alto contenido de flavonoides y vitamina C, aportan una extraordinaria acción antioxidante, por lo cual se pueden emplear como tópico en productos cosméticos (Rodríguez, 2015).

Los fitoquímicos son sustancias químicas presentes en las plantas, que se agrupan en clases de acuerdo a su función y sus características estructurales. (Aponte, Calderón, Delgado, Herrera, Jiménez, Ramírez, Rojas y Toro, 2008). Los fitoquímicos se los encuentra en distintas partes y órganos de las plantas, los más importantes de interés cosmético son: aceites esenciales, alcaloides, glucósidos o heterósidos, vitaminas, minerales, ácidos orgánicos, lípidos y antibióticos. Dentro de estos grupos, se encuentran las moléculas responsables de realizar la función a la que está destinado el cosmético o fármaco, conocidas como “principios activos” (Seren, 2014).

Los productos cosméticos con derivados vegetales o cosméticos naturales se comercializan como “fitocosméticos”, en estos generalmente se emplean principios activos naturales, es decir provenientes de plantas, como materiales de base que sustituyen compuestos sintéticos con efectos similares, las bondades que se desean encontrar en los principios activos consisten en propiedades hidratantes, humectantes, aromáticas, conservantes, antioxidantes, cicatrizantes, etc (Celedón, 2015).

En las *Opuntias*, los principios activos fueron evidenciados por Yahia y Mondragon (2011), comprobándose la presencia de: ácido ferúlico, ácido salicílico, vitamina C y E, indicaxantina, betanidin-5-O- β -glucósido y β -caroteno,

demostrando tener capacidades antioxidantes, anti carcinogénicas y antivirales, etc., razón por la cual, la tuna se podría emplear como ingrediente natural para la elaboración de productos cosméticos.

La norma COSMOS pertenece a una Asociación Internacional registrada en Bélgica, su objetivo es proteger, en el campo de los cosméticos, el medioambiente y el bienestar de las personas, fomenta el desarrollo de cosméticos que sean cada vez más naturales y ecológicos, establece criterios innovadores, desafiantes y progresivos para los cosméticos ecológicos y naturales que aún están por establecerse, en los cuales los consumidores pueden confiar, con reglas claras para la industria y amigables con el medioambiente (Cosmos, 2016).

La norma COSMOS14 recomienda el uso de productos naturales o ingredientes naturales derivados de la agricultura orgánica. Es por esta razón el interés de identificar y cuantificar los principios activos presentes en plantas del género *Opuntia* de la familia Cactaceae.

El objetivo principal del presente trabajo es realizar un estudio bibliográfico, acerca de la presencia de principios activos de interés cosmético en plantas del género *Opuntia* de la familia Cactaceae, para proponer técnicas de identificación y cuantificación de los mismos. En el desarrollo teórico se tratará a profundidad las características de la familia Cactaceae y su taxonomía; destacando a las *Opuntias* como el género representante de la familia, debido a que numerosas especies poseen un alto contenido de principios activos con potencial uso cosmético. Posteriormente, se identifica a los principios activos presentes en las *Opuntias*; se explican las propiedades y funciones de cada uno de ellos.

También se exponen las técnicas de identificación, cuantificación e instrumentación comúnmente empleada para el análisis de los principios activos. Finalmente se exponen las principales conclusiones y recomendaciones obtenidas del presente estudio bibliográfico.

3.1. OBJETIVOS

- **OBJETIVO GENERAL**

Realizar un estudio bibliográfico acerca de la presencia de principios activos de interés cosmético en especies del género *Opuntia* de la familia Cactaceae para proponer técnicas de identificación y cuantificación de los mismos.

- **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Analizar las características del género *Opuntia* de la familia Cactaceae que le convierten en una fuente probable de principios activos con potencial valor en el mercado cosmético.
- Seleccionar la especie del género *Opuntia* de la familia Cactaceae con mayor contenido de principios activos con potencial uso cosmético.
- Describir las técnicas de identificación y cuantificación de principios activos con potencial uso cosmético presentes en las especies del género *Opuntia* de la familia Cactaceae.

4. DESARROLLO TEÓRICO

4.1 ANTECEDENTES

Desde la antigüedad, el reino vegetal proporcionó infinitos beneficios al hombre, que supo utilizarlos de innumerables formas y para múltiples propósitos. Las plantas utilizadas con sabiduría son capaces de restituir fuerzas, revertir condiciones físicas adversas y procurar alivio, bienestar y belleza a través de sus colores, aromas y principios activos (Nadinic, 2015).

Hay rastros de cuidados cosméticos utilizados por el hombre en antiguas culturas orientales y durante el período Paleolítico, cuando empleaban sustancias naturales, como: grasas animales, arcillas, jugos de plantas, extractos de hierbas y aguas aromáticas, como ingredientes cosméticos que se untaban para proteger el cuerpo (Bandoni, Ferraro, Martino y Nadinic, 2015).

En la actualidad, la tendencia al uso de extractos vegetales en la cosmética se está haciendo cada vez más dominante, los consumidores de cosméticos están ansiosos por evitar los productos químicos por sus posibles efectos adversos. Las empresas cosméticas, por su parte, están interesadas en reducir huellas ambientales mediante el uso de materias primas renovables, generando así, perfiles ambientales favorables para su posterior degradación (Briddell, 2017); por estos motivos, es necesario conocer todos los aspectos que involucran la identificación, procesamiento, control de calidad y aplicación de los fitoingredientes.

El empleo de ingredientes naturales en cosméticos se está extendiendo a nivel mundial, por lo cual a lo largo de la historia han existido autoridades certificadoras de cosméticos orgánicos y naturales. El primer estándar de cosméticos naturales fue establecido por la asociación alemana BDIH en el 2001. Posteriormente en el 2003 fue introducida ECOCERT como autoridad certificadora, en desarrollo de estándares para cosméticos naturales y orgánicos (Ecocert, 2017).

En el 2010 se fundó la autoridad certificadora COSMOS (Cosmetic Organic Standard) en la Unión Europea, la misma que aplica los principios del estándar ECOCERT; para lo cual, estableció la norma COSMOS14 que sugiere el uso de ingredientes naturales especialmente derivados de la agricultura orgánica; razón por la cual, el uso de sustancias sintéticas derivadas de petróleo, conservantes y tensoactivos sintéticos son regulados bajo la misma norma (Ifuku, 2017).

La mayoría de marcas reconocidas están incorporando en sus formulaciones ingredientes naturales desde hace más de 10 años (Philippe y Marat, 2017), con el fin de proporcionar a sus productos, fitoquímicos que brinden las propiedades responsables de la función del cosmético, además de aprovechar el nuevo ingrediente como un punto de venta. La innovación del uso de ingredientes naturales va acompañada del desarrollo de tecnologías que faciliten la extracción de los mismos.

4.2 HISTORIA DE LOS PRINCIPIOS ACTIVOS EN PLANTAS

Las plantas han sido consideradas desde la antigüedad, como un recurso para la alimentación y remedio de enfermedades de los seres humanos y la de sus animales. Las primeras tribus o grupos indígenas que vivían en ecosistemas con alta diversidad hacían uso de este recurso para aliviar dolores, mejorar su estado de ánimo y procurar belleza mediante los colores, aromas y fitoquímicos de las plantas.

En China, India y en Medio Oriente; las plantas aromáticas, los óleos, las aguas perfumadas y los preparados vegetales eran manipulados en cocina, cosmética, medicina e incluso en las prácticas religiosas (Nadinic, 2015).

Fueron los egipcios los primeros en utilizar cosméticos, siendo Cleopatra la principal exponente de la belleza haciendo uso de recursos como remedios y cosméticos naturales. Sin embargo, durante la Edad Media la preocupación por el

cuidado personal fue considerada pecaminosa, lo cual generó pérdida del aseo diario y propagación de enfermedades y pestes. Posteriormente, en el Renacimiento el hombre vuelve a su interés por la higiene y la belleza, mediante baños, aceites y perfumes a base de plantas; como resultado, se establece en el siglo XVI una de las primeras perfumerías en Florencia, con extractos de plantas para usarse en fragancias finas o para perfumar la ropa (Hayase, 2017).

En el siglo XVIII se conocían las propiedades curativas de las plantas, su modo de aplicación y efecto, pero se desconocían los principios activos que poseían (Fonnegra y Jiménez, 2007). En efecto, fue en el siglo XIX, en el cual se empiezan a industrializar los cosméticos. Las mujeres usaban pomadas, cremas, ungüentos y otros preparados de frutas, flores y hierbas ofrecidos por las primeras tiendas de cosmética. Por lo contrario, las isabelinas que aun usaban ingredientes químicos para sus productos, tales como: carbonato básico de plomo como blanqueador y sulfuro de mercurio como rubor, presentaron muerte anticipada y todo tipo de afecciones en la piel y cabello por el uso de éstos (Bandoni et al., 2015).

Posteriormente, no fue sino hasta finales del siglo XIX con el desarrollo de la Química Orgánica que se empieza a descubrir la composición química de los aceites y extractos naturales. Además, gracias al desarrollo de técnicas de análisis instrumental, se reconoció y aisló los principios activos de las plantas. Finalmente, ya en el siglo XX, la cosmética acompañaba los eventos mundiales (Baren, 2015). En la década de los 70 se puso de moda los cosméticos naturales en Estados Unidos, empleándose extractos de plantas en los cosméticos.

Es así, como la historia nos permite fundamentar que las plantas han sido los primeros vestigios de moléculas naturales, en las cuales existe una constante síntesis y degradación de biomoléculas o metabolitos, los mismos que consisten en compuestos químicos celulares clasificados en: primarios y secundarios (Ringuelet y Viña, 2013). Los metabolitos primarios son todos aquellos que son esenciales y cumplen funciones importantes en la planta, este grupo de metabolitos está constituido por: glúcidos o hidratos de carbono, lípidos, proteínas y ácidos nucleicos.

Por otro lado, los metabolitos secundarios son derivados de los metabolitos primarios pero no son esenciales y no cumplen funciones importantes en la materia vegetal, cumplen únicamente funciones ecológicas más no biológicas; es decir, son aprovechados por la planta para atraer insectos u otros polinizadores, para repeler predadores y adaptarse a condiciones adversas de clima o suelo, etc. (Vallespí, 2013).

Los seres humanos usan los metabolitos primarios de plantas como nutrientes, mientras que los metabolitos secundarios son empleados como principios activos, es decir como compuestos orgánicos con aplicaciones en la industria farmacéutica, terapéutica, y cosmética natural (Ringuelet y Viña, 2013). Estudios han indicado que existen más de un millón de metabolitos secundarios derivados de las plantas en todo el reino vegetal, los cuales pueden ser utilizados en productos químicos diversos.

Los metabolitos secundarios se clasifican en función a su origen biosintético, las características estructurales comunes y las propiedades de solubilidad, dividiéndose así en: compuestos nitrogenados y azufrados (aminas, amidas, glicósidos cianogénicos y alcaloides), compuestos fenólicos y terpenoides (Henning y Yordaz, 2013).

4.3 FAMILIA CACTACEAE

La familia Cactaceae se ubica dentro del orden *Caryophyllales* (Tabla 1), plantas dicotiledóneas, herbáceas originarias de las regiones tropicales, subtropicales y templadas de América. Son generalmente conocidas como “cactus”, plantas suculentas que presentan tejidos en sus hojas o ramas en los cuales se acumula gran cantidad de agua. Además, son afilas, de tallos rollizos, rechonchos, globulosos y comprimidos; las hojas son muy reducidas, efímeras o transformadas en espinas que soportan la sequedad. En su axila suelen hallarse fascículos de espinas o pelos largos; flores generalmente vistosas, que surgen de los pulvínulos foliares (Quer, 2000).

Los cactus son suculentos de tallo, es decir, tienen un tallo blando capaz de almacenar agua; mientras que su superficie tiene una capa externa cerosa, que reduce la pérdida de agua por evaporación. De igual manera, su estructura estriada brinda al cactus la capacidad de hincharse cuando absorbe agua, mientras que en épocas de sequía se contraen (The Plant List, 2010).

Las cactáceas comestibles se clasifican en tres tipos: las tunas, las pitayas (trepadoras) y las pereskias (columnares) (Esquivel, 2004). Generalmente están distribuidas en diversas zonas, predominando en zonas áridas, serranas y montañosas. De igual manera, su hábitat implica lluvias esporádicas con largos períodos de sequía intermedios. Las áreas con mayor densidad de géneros y especies se encuentran sobre los trópicos, habitan desde el nivel del mar hasta los 4500 msnm en los andes centrales de Perú y Chile (Universidad Nacional del Nordeste, 2003).

Algunas especies de la familia Cactaceae son también conocidos como “cactus”; los mismos que inicialmente fueron introducidos como plagas en varias regiones del Viejo Mundo. Sin embargo, en la actualidad han tomado popularidad entre los jardineros y coleccionistas de plantas. El término “cactus” hace referencia a un grupo particular de plantas que se rige a un patrón de flores distintivo. Por lo tanto, para ser un cactus, la planta debe desarrollar flores con: varios pétalos (sépalos combinados), muchos estambres y numerosos lóbulos estigma, por lo cual, si una planta carece de flor no puede ser considerada como “cactus” (Dimmitt, 2017).

4.3.1 GÉNEROS Y ESPECIES DE LA FAMILIA CACTACEAE

La familia Cactaceae comprende alrededor de 1500-2000 especies, las mismas que se encuentran distribuidas en 130 géneros. Los géneros más importantes son: *Mammillaria* (170), *Opuntia* (200), *Echinopsis* (70), *Echinocereus* (50), *Rhipsalis* (50) y *Cleistocactus* (50); de los cuales, el género *Opuntia* es el mayor representante de la familia, cuenta con más de 200 especies (Majure,

Puente, Griffith, Judd, Soltis, y Soltis, 2012). Las especies más importantes de este género están detalladas en la Figura 1.

Las *Opuntias* crecen de forma silvestre desde el sur de Canadá hasta Argentina, así como en las Antillas y las islas Galápagos. Las especies de este género son las más altamente invasivas en áreas áridas no nativas como Australia, la región mediterránea y África (Anderson, 2001).

Varían desde plantas diminutas con raíces tuberosas, hasta árboles de más de 9 metros de altura. Presentan hojas convertidas en espinas, pero en brotes tiernos presentan hojas verdaderas que caen al poco tiempo de aparecer. Estas especies tienen dos tipos de espinas que brotan de las areolas: unas pequeñas agudas agrupadas (gloquideos o ahuates) o grandes que son consideradas como hojas modificadas (Ponce, Corrales, Casarrubias y Moorillón, 2015). Poseen un tronco leñoso y ramas que se forman por cladodios o también conocidos como nopalitos, si son frescos, o como pencas si son maduros (Figura 2). Sus flores suelen ser amarillas o rojas, las mismas que se transforman en bayas comestibles conocidas como “tunas”, que varían del verde, amarillo y el rojo con gran cantidad de semillas (Burnie, Forrester, Greig, Guest y Harmony, 2006).

La gama de *Opuntias* son fuente de alimento para numerosos herbívoros, incluyendo tortugas, iguanas, aves, conejos, ciervos, murciélagos, perezosos, ardillas, coyotes, osos, bisontes y cerdos; por lo cual evidencian importancia ecológica. Además, son culturalmente importantes, en México han sido cultivadas durante los últimos 1400 años, representan una figura emblemática nacional, ilustrada en la bandera de dicho país. Mientras que en Ecuador las especies más distinguidas se encuentran en las Islas Galápagos, tales como: *O. megasperma*, *O. echios* y *O. galapaegia* (Griffith, 2004).

Actualmente, la mayor parte de los frutos comercializados pertenecen a la especie *Opuntia ficus-indica*. Su cultivo se realiza en condiciones calurosas o secas en un suelo medianamente fértil, arenoso y rico en humus. Sin embargo, algunas especies se adaptan a condiciones menos óptimas en interiores. Se

reproducen por semillas o separando articulaciones, en primavera o verano (Burnie et al., 2006).

Industrialmente se emplean para la obtención de alcohol, colorantes, jabón, pectinas y aceites. Estudios recientes han demostrado las propiedades medicinales de este género. Los polisacáridos de *Opuntia* protegen el tejido cerebral de la privación de glucosa y oxígeno (Huang, Zhang, Guo y He, 2008). *Opuntia ficus-indica* y otras especies han expuesto efectos hipoglucémicos en pacientes diabéticos (Majure et al., 2012). Por otro lado, *Opuntia streptacantha* se ha utilizado como bioacumulador en aguas contaminadas de plomo (Miretzky, Muñoz y Carrillo, 2008).

Según Ahumada y Trillo (2017) y Lumbreras, Ortiz y Picornell (2009), las especies mayormente utilizadas en cosmética son:

Opuntia humifusa- Es una planta que alcanza hasta 2 metros de altura, sus artejos ovados irregulares, verdes lustrosos, se caracteriza por sus espinas poco curvadas de color gris a marrón, sus flores amarillas, y sus frutos rojos (Figura 3). Es también conocida por su nombre común como “Tuna oriental” o “Lengua del diablo”.

Opuntia ficus-indica.- Comúnmente es conocida como “Chumbera”, “Tuna” o “Nopal”. Es una planta ramificada que alcanza hasta los 5 metros de altura, sus artejos ovales son grandes, las espinas son escasas, blancas e irregulares, con flores grandes y amarillas, sus frutos son globosos pequeños o grandes y alargados (Figura 4).

Opuntia streptacantha.- Alcanza hasta 3 metros de altura, con artejos ovales más grandes que los de *O. ficus-indica*, las espinas blancas o ligeramente amarillas, aciculares o subyacentes, sus flores amarillas o rojas dan lugar a y sus frutos carnosos (Figura 5). Es también conocida como “Nopal” o “Charola”.

Opuntia robusta.- Conocida también como “Chumbera robusta”, es una planta ramificada que alcanza de 1 a 2 metros de altura, sus artejos con cladodios

orbiculares de color azulado, característico de esta especie, sus espinas son blancas o amarillentas, sus flores amarillas con lóbulos de color verde y sus frutos globosos purpúreos (Figura 6).

Opuntia leucotricha.- Alcanza una altura de 3-5 metros con atejos redondos verdes y espinas largas y débiles, sus flores son amarillas con estigma verde y sus frutos son blancos o rojos (Figura 7) con pulpa fragante, por lo cual se la conoce también como “Nopal duraznillo” o “Nopal colorado”.

Opuntia megacantha.- Conocida también como “Nopal blanco”, es una planta ramificada de hasta 3,5 metros de altura, con artejos verdes y espinas fuertes levemente curvadas de color blanco. Los frutos jóvenes son de color amarillo manchados de rojo, mientras que los maduros, están manchados de granate (Figura 8).

4.3.2 UTILIDADES DE LAS OPUNTIAS

Opuntia ficus-indica es considerada como un alimento con alto valor nutricional, por su contenido en minerales, proteínas, fibra dietética y fitoquímicos. La tuna tiene un alto contenido de azúcares (12-17%) y de Vitamina C; es rica en potasio, calcio y fósforo, pero bajo en sodio (Ponce et al., 2015).

Se emplea en labores de limpieza, por su contenido de mucilago, el mismo que aglutina las partículas en suspensión y las decanta; el mucilago aislado de especies de *Opuntia ficus-indica* se emplea como fibra dietética o agente espesante en alimentos. La aplicación artesanal de la Tuna (*Opuntia ficus-indica*) como coagulante es una práctica tradicional en comunidades rurales (Nazareno et al., 2012).

La especie *Opuntia humifusa* tiene gran capacidad antiinflamatoria, de igual manera muestra actividad antioxidante junto con *Opuntia ficus-indica* debido a su gran contenido de flavonoides y betalaínas (Sigma-Aldrich, 2010). Por otro lado, *Opuntia streptacantha* presenta actividad antiviral, debido a que su extracto

tienen la capacidad de inhibir la replicación de virus, el componente inhibidor es de naturaleza proteica y se encuentra en las paredes de la planta (Ahmad, Skinner y Randall, 1996).

La aplicación de las Opuntias en cosmética está más desarrollada que sus aplicaciones medicinales. Se emplean en champús, geles de baño, cremas, ungüentos, etc., en productos cosméticos como el aceite de las semillas de tuna que son comercializados para la prevención del envejecimiento, por la cantidad de fitoquímicos con propiedades antioxidantes que posee, otorgándole un valor superior al del aceite de almendras en el mercado (Nazareno et al., 2012).

Los frutos y tallos de *O. ficus-indica* se cultivan principalmente por sus frutos y para la cría de cochinilla de grana, empleada con fines tintóreos. La cochinilla de grana es un insecto cuyo nombre científico es *Dactylopius*, este insecto es de utilidad agroindustrial para el hombre, como pigmento natural, su principio activo colorante es el ácido carmínico, al cual se debe el nombre del pigmento “rojo carmín”, empleado para la elaboración de lápices labiales y rubor. Además, debido a la variedad de colores de las tunas, se extraen los pigmentos de las mismas, los cuales contienen betalaínas que mantienen su apariencia en un rango de pH más amplio que las antocianinas. Además, por la diversidad estructural de las betacianinas (rojo-purpura) y de las betaxantinas (amarillo-naranja) se consideran a las cactáceas como fuente principal de colorantes naturales (Sáenz, 2006).

4.4 FITOQUÍMICOS DE INTERÉS COSMÉTICO

Los fitoquímicos consisten en una mezcla compleja de compuestos encontrados en las plantas que ejercen acción cosmética, es decir ejecutan la función a la que está destinado el cosmético. Dicha acción cosmética, está determinada por la concentración y la interacción que los fitoquímicos tengan entre sí, y en función al tipo de formulación del fitocosmético (Hayase, 2017).

Los fitocosméticos son productos elaborados a partir de sustancias vegetales. Son de gran interés por sus funciones estéticas y de higiene, además de reducir cualquier tipo de efecto secundario. Los fitoquímicos empleados para la elaboración de fitocosméticos se obtienen de las distintas partes de las plantas (Torres y Ruiz, 2012). En el caso de las *Opuntias* se encuentran distribuidos en las raíces, las semillas, los cladodios, las flores, las frutas y su cáscara, tal como se expone en la Tabla 2.

En las *Opuntias* los fitoquímicos con potencial uso cosmético son:

Polifenoles.- Son compuestos cuya estructura fundamental se caracteriza por la presencia de al menos un núcleo bencénico unido a un grupo hidroxilo libre o más. Además, pueden encontrarse formando parte de otra función: éter, éster o heterósido. Los compuestos fenólicos proceden de dos grandes vías biosintéticas: vía del ácido shikímico y vía del acetato (Bruneton, 2001).

La vía del ácido shikímico permite la formación de compuestos aromáticos, en microorganismos y plantas, pero no en animales ni seres humanos, por lo cual, los compuestos aromáticos lo asimilan mediante la ingesta de alimentos vegetales (Vallespí, 2013).

Los compuestos fenólicos se encuentran en el envoltorio de todas las plantas, frutas, verduras, granos, cereales, legumbres e incluso en algunas bebidas como vino, té, café y zumo de fruta (Festy, 2007). Se clasifican de acuerdo con el número de átomos de carbono que contenga el esqueleto base (Tabla 3), en tres grandes grupos: ácidos fenólicos, ácidos hidroxicinámicos y flavonoides.

Los polifenoles son el grupo de antioxidantes que más abundan en nuestra dieta. Su acción antioxidante corresponde a su estructura química, la misma que es adecuada para atrapar radicales libres. Se conoce como radical libre a todo átomo o molécula que posee en su orbital externo un electrón no apareado, éste roba un electrón de otro elemento pasando a actuar como radical libre, generando así una reacción en cadena, que en exceso puede causar diversas enfermedades

degenerativas, como el envejecimiento prematuro de la piel por exposición a los rayos solares (Figura 9). Otra de las razones por las que los polifenoles tienen actividad antioxidante es debido a que de forma indirecta actúan como agentes quelantes de iones de metales de transición, por su capacidad de inhibir, activar o proteger enzimas específicas en el organismo (Viña, 2013).

Flavonoides. - Son pigmentos naturales presentes en los jugos celulares y en los pétalos de algunas flores, en forma libre o formando heterósidos con varios azúcares. Los flavonoides libres o geninas están constituidos únicamente por núcleo bencénico unido a un grupo hidroxilo libre, mientras que los heterósidos son el resultado de la condensación de varias azúcares simples con una genina (Festy, 2007).

Las geninas son insolubles en agua, pero en forma de heterósidos son hidrosolubles y solubles en alcoholes. Mientras tanto, las geninas son en su mayoría solubles en disolventes orgánicos apolares; cuando poseen al menos un grupo fenólico son solubles en soluciones alcalinas, produciendo coloración amarilla (Ferraro, 2015). Existen varios tipos de flavonoides que derivan de cuatro núcleos principales, tales como: flavona, isoflavona, flavonol y flavanona (Figura 10).

Estos compuestos son metabolitos secundarios, por lo cual se los debe obtener a partir de la alimentación, medicamentos o suplementos. Se encuentran en la cutícula foliar y en las células epidérmicas de las hojas, se emplean como protección de los tejidos contra los efectos nocivos de las radiaciones ultravioletas (Yúfera, 2007). En el caso de las *Opuntias*, los flavonoides se encuentran distribuidos en las raíces, cladodios y flores.

Los flavonoides actúan como agentes antioxidantes, limitando la acción de los radicales libres; mejoran los síntomas alérgicos, aumentan la actividad de la vitamina C, refuerzan los vasos sanguíneos, y son antiinflamatorios (Causse, 2010).

Uno de los efectos más importantes de los flavonoides puede ser evidenciado en la capa superior (estrato córneo) de la piel, la cual es una estructura muy rica en lípidos y otros compuestos que se oxidan con facilidad; de esta manera los flavonoides intervienen eliminando los radicales libres o inhibiendo el proceso de peroxidación lipídica, es decir, degradación oxidativa de los lípidos. Mientras que en la dermis, la capa más profunda, los flavonoides influyen en la permeabilidad y la fragilidad del sistema capilar (Damonte, 2015).

Los flavonoides son un aporte fundamental en la formulación de cosméticos naturales, son empleados como fitoquímicos por sus propiedades antioxidantes y antiradicales libres, su acción anti-inflamatoria, antimutagénica y antialérgica (Marcano y Hasegawa, 2002).

Aceites esenciales.- Son compuestos líquidos, constituidos por especies químicas aromáticas y volátiles. Pueden encontrarse en diferentes partes de la planta de interés, ya sea en las flores, hojas, frutos e incluso en raíces. Son empleados como materia prima para la elaboración de perfumes u otros productos cosméticos. En el caso de las *Opuntias*, el aceite esencial es comúnmente extraído de las semillas negras. Este aceite es considerado como uno de los mejores aceites disponibles en el mercado para el cuidado de la piel (Jiménez, 2015).

El aceite de semillas de tuna de *Opuntia ficus-indica* tiene niveles mayores de tocoferoles (Vitamina E) que otros aceites disponibles en la industria de productos para el cuidado de la piel. Además de sus propiedades antioxidantes tiene numerosos beneficios como: absorción rápida, restauración, humectación y cierra los poros de la piel, previene líneas de expresión, previene vejez prematura, protege de radicales libres y reduce las manchas de la piel ocasionadas por el sol (Cosméticos Marroquíes, 2016).

Lípidos.- Son moléculas apolares e hidrofóbicas, es decir insolubles en agua y solubles en disolventes apolares como el cloroformo, éter o hexano, lo cual hace posible su extracción de las células y tejidos. Tienen elevado peso molecular, con alto contenido de átomos de carbono, hidrógeno pero bajo de oxígeno. En algunos casos contienen átomos de nitrógeno, fósforo o azufre (Pertierra, Rivera, Gaitán, Gutiérrez, Oltras y Ramírez, 2006).

Los lípidos se pueden clasificar en saponificables, contienen en su estructura ácidos grasos y se convierten en “jabones” al someterlos a hidrólisis alcalina; mientras que los insaponificables no contienen ácidos grasos, por lo cual no tienen la capacidad de formar “jabones”. Los lípidos insaponificables contiene fenoles y esteroides, también están presentes en vitaminas liposolubles como la vitamina A y E (Donat, 2017).

Los ácidos grasos son ácidos orgánicos monocarboxílicos que constan de una cadena alquílica apolar y un grupo carboxilo terminal ionizable. Pueden ser saturados o contener una o más insaturaciones: doble o incluso triples enlaces; pueden ser de cadena ramificada, con cadenas cicladas e hidroxiácidos (Pertierra et al., 2006).

Los ácidos grasos esenciales son todos aquellos que el hombre no puede sintetizarlos y los adquiere únicamente por la dieta. Son ácidos grasos insaturados con más de un doble enlace en sus moléculas, éstos son: ácido linoleico, linolénico (se encuentran en fuentes vegetales) y araquidónico (se sintetiza en los animales a partir del ácido linoleico) (Rabasco y González, 2000)

Debido a que la piel está constituida por factores hidratantes y lípidos epidérmicos (película hidrolipídica), encargados de mantener la estructura celular compacta, permiten que ésta actúe como barrera con el medio exterior, que evita la entrada de bacterias, virus, hongos, la pérdida de grasa y agua, para que luzca hidratada, firme y sana (Jiménez, 2015). La industria cosmética emplea los aceites vegetales como excipientes, es decir como sustancias que sirven de vehículo para la asimilación corporal de principios activos, gracias a las propiedades exfoliantes y antioxidantes de los lípidos.

Vitaminas.- Son un grupo de sustancias orgánicas con composición química diversa, no son sintetizadas por el organismo por lo cual se conocen como micronutrientes esenciales. Son necesarias para el funcionamiento, crecimiento y desarrollo celular normal (Ramírez, 2017).

Existen 13 vitaminas esenciales, las cuales se clasifican en liposolubles e hidrosolubles. Las vitaminas liposolubles; A, D, E y K, son aquellas que se disuelven en grasas, se almacenan en el hígado y en los tejidos grasos. Mientras, que las vitaminas hidrosolubles; B y C, se disuelven en agua y son expulsadas con más rapidez mediante la orina (United States National Library of Medicine, 2017).

La vitamina C y E consisten en antioxidantes exógenos, es decir que provienen de la dieta, sus funciones antioxidantes consisten en proteger el organismo del efecto oxidativo producido por los radicales libres. La vitamina C es el antioxidante hidrosoluble más abundante en la sangre, se los encuentra en frutas y verduras. Mientras que la vitamina E es el antioxidante lipofílico mayoritario que generalmente se encuentra en aceites de semilla, germen de trigo, maní, carnes, pollo, pescados y algunas verduras y frutas (Avello y Suwalsky, 2006).

Las vitaminas son uno de los fitoquímicos de mayor interés empleados en cosmética por sus efectos hidratantes, antioxidantes y reparadores sobre la piel y el cabello (Jover y García, 2003).

Fitosteroles.- Son alcoholes sólidos de origen vegetal constituidos por cadenas de 27 a 29 átomos de carbonos. Su esqueleto fundamental corresponde al ciclopentanoperhidrofenantreno. Todos los esteroides tienen un hidroxilo en C-3, los saturados son denominados estanoles, mientras que los insaturados, estenoles (Yúfera, 2007).

Se los encuentra libres en vegetales especialmente en los aceites, como ésteres o como glicósidos, ubicándolos en todos los órganos de las plantas, en el caso de las *Opuntias* se presentan principalmente en las semillas y frutos.

En cosmética se emplean para reparar la piel maltratada, para lo cual se utiliza para formular dermocosméticos, por sus propiedades antiinflamatorias, para el cabello los fitosteroles cumplen propiedades suavizantes y de acondicionamiento (Muñoz, Alvarado y Encina, 2011).

Pigmentos naturales.- Son sustancias orgánicas de composición y estructura química variada, proporcionan color y cumplen ciertas funciones en los seres vivos. En las plantas absorben energía, transportan oxígeno y cumplen funciones protectoras (Martínez, 2008).

Los pigmentos naturales son extraídos de plantas o animales, aptas para la tintura o coloración de las fibras textiles u otros productos. Se clasifican en función de su comportamiento y propiedades genéricas. En el grupo de los colorantes naturales se encuentran los colorantes vegetales constituido por: carotenoides, clorofílicos, antocianínicos, flavonoideos y betalaínicos; mientras que los colorantes animales están constituidos por pigmentos de insectos y organismos marinos. Sin embargo, la principal fuente de pigmentos son las plantas, tales como: algas, hongos y líquenes (Cámara Industrial Argentina de la Indumentaria, 2017).

Betalaínas.- Son pigmentos naturales solubles en agua derivados del ácido betalámico, su estabilidad está limitada por el pH, son más estables a pH entre 4-6. Poseen en su estructura un cromóforo absorbente no saturado, que permite el estudio de estos pigmentos por espectros de absorbancia de UV-Vis. Las betalaínas están formadas por: betacianinas (rojas) y betaxantinas (amarillas), aminoácidos o aminos relacionados con el metabolismo secundario de las plantas generadoras de betalaínas (Sáenz, 2006).

En la actualidad son utilizados en la industria de los alimentos para impartir color en productos procesados; dentro de las betacianinas se encuentra la betanina, responsable del color rojo, empleado para colorear alimentos que no son tratados térmicamente, como yogurt, helados y jarabes (Von y Goldman, 2000). Mientras que en la industria farmacéutica se emplean en la manufactura de tabletas, grageas y base para jarabes; en la industria cosmética se emplean para dar color a labiales o cremas.

Mucílagos.- Son polisacáridos heterogéneos constituidos principalmente por azúcares y ácido urónico (Pérez, 2015). Son constituyentes de las plantas. En las *Opuntias* se los encuentra en los cladodios, frutos y cáscara. Funcionan como depósitos de agua, es así que por su capacidad de retención, evitan la deshidratación y favorecen la germinación (Eko, 2010). Los mucílagos son responsables de retener el agua en las cactáceas, incluso en condiciones climáticas desfavorables.

Los mucílagos son de gran interés en el sector industrial, se emplean en suplementos alimenticios, y en formulaciones cosméticas por sus propiedades hidratantes y protectoras de la piel sobre heridas, quemaduras o cortes. Los productos cosméticos elaborados con mucílagos son para aplicación tópica percutánea, destinada al mantenimiento de algunas funciones y estructura de la piel (Gisbert, Bautista, Martínez y Montalva, 2003).

Minerales.- Son sustancias inorgánicas, de composición química definida y de estructura cristalina. Pertenecen al igual que las vitaminas, al grupo de los micronutrientes debido a que son requeridos en la dieta. Se clasifican en macro y microminerales (Amapola Biocosmetics, 2013). Dentro de los macrominerales se encuentran el calcio, magnesio, sodio, potasio, fósforo, cloro y azufre, mientras que en los microminerales se encuentran el hierro, zinc, flúor, yodo, cobalto, cromo, selenio, manganeso, cobre y molibdeno (Magro y Elguezua, 2008).

Algunos minerales cumplen funciones importantes en la piel, actúan como catalizadores en los mecanismos de defensa y la reparación de la misma. Son indispensables en la renovación celular y la estimulación cutánea, razón por la cual, son empleados en formulaciones cosméticas, tales como cremas regeneradoras y antiarrugas con minerales como silicio y magnesio. En desodorantes se emplean sulfatos de aluminio y potasio para regular la transpiración y por su acción astringente y cicatrizante (Amapola Biocosmetics, 2013).

En la actualidad existe mayor tendencia para emplear minerales en productos cosméticos. Marcas reconocidas como L'Oréal han incorporado en sus formulaciones cantidades de oro, platino o diamantes para aportar a sus productos propiedades determinadas en función al mineral utilizado. Un ejemplo, es la Crema Nera propiedad de L'Oréal a base de la piedra pantellerita obsidiana, esta crema es adecuada para todo tipo de pieles, hidrata la piel, genera células y reduce las arrugas (Ediciones El País, 2011).

En las *Opuntias*, los minerales se localizan en los cladodios y pulpas, principalmente contiene en niveles mayores Na, K, Ca y Mg (Sáenz, 2006). Las *Opuntias* son una gran fuente de calcio y potasio; el calcio se encuentra en forma de cristales de oxalato de calcio, lo cual puede causar cálculos renales por su consumo en exceso, mientras que en cosmética es empleado como excipiente.

4.5 PRINCIPIOS ACTIVOS

Los principios activos son moléculas químicas de síntesis secundaria, responsables total o parcialmente de los efectos terapéuticos de los productos cosméticos. Proviene de origen mineral, vegetal, animal, sintético o semisintético. Los principios activos naturales se presentan en forma mayoritaria en grupos fitoquímicos, que mediante estudios farmacológicos, etnobotánicos y toxicológicos se consideran de gran utilidad en el sector cosmético (Bandoni et al., 2015).

Los productores de fitocosméticos tienen mayor interés en conocer los principios activos que poseen las plantas, más que sus propiedades en general. En función de los grupos fitoquímicos mayoritarios se puede predecir la funcionalidad, las acciones que ejercerán, el tipo de extracción y la formulación más adecuada en la que se puede utilizar (Valgreen, 2009).

En la Tabla 4 se exponen las estructuras químicas de los principios activos encontrados dentro de los grupos fitoquímicos con potencial uso cosmético en las especies del género *Opuntia*, éstos son:

Ácido Ferúlico.- Es un principio activo de gran interés dentro de los polifenoles, por sus propiedades para: actuar como antioxidante, bloquear el daño del sol en la piel, mejorar la producción de fibras de colágeno, elastina y actuar en la prevención de arrugas y manchas solares. Todas estas características hacen que el ácido ferúlico tenga usos en protectores solares y cremas, en marcas reconocidas como Sesderma (Cosmética Natural, 2016).

Ácido salicílico.- Es el principio activo del grupo de polifenoles que es empleado para eliminar y prevenir la aparición de acné y manchas en la piel, trata enfermedades de la piel que se caracterizan por descamación o crecimiento excesivo de las células cutáneas, por lo cual pertenece el grupo de medicamentos conocidos como agentes queratolíticos. Se emplea en gasas, cremas, lociones, geles, champús, toallitas, almohadillas, etc. (American Society of Health-System Pharmacists, 2016).

Ácido linoleico.- Es un ácido carboxílico de cadena hidrocarbonada insaturada larga no ramificada (Koolman y Heinrich, 2005). Es un ácido graso esencial también conocido como omega 6, requerido en la dieta. Contiene ingredientes nutraceuticos esenciales para el crecimiento y el buen estado del cabello y la piel, ayuda a tratar problemas de acné, dermatitis y en general todos los problemas de piel causados por sequedad extrema. Además, participa en la síntesis de prostaglandinas en procesos biológicos relacionados a la regeneración

celular por lo cual es empleado en cosméticos y dermofarmacia (Cerón, Osorio y Hurtado, 2012).

Ácido oleico.- Es un ácido graso insaturado presente en algunos aceites vegetales. Es empleado en formulaciones cosméticas como emoliente que nutre la piel y fomenta la acción antiinflamatoria. Refuerza el efecto barrera y evita el resecamiento de la piel. La desventaja del empleo de aceites vegetales ricos en ácidos insaturados es su sensibilidad a la oxidación, por lo cual se estabiliza con vitaminas antioxidantes (Navarro, Núñez y Cebrián, 2012).

Vitamina E (α - tocoferol).- Está constituida por ocho especies naturales de tocoferoles y tocotrienoles (α , β , γ , δ). Esta vitamina está dentro del grupo de las vitaminas liposolubles junto con la A, D y K, las mismas que se caracterizan por derivar del núcleo isoprenoide, solubles en lípidos y disolventes orgánicos (Avello y Suwalsky, 2006).

La vitamina E está constituida por 8 vitámeros (4 tocoferoles y 4 tocotrienoles), su estructura consta de un anillo complejo cromano y una larga cadena lateral. Los tocoferoles tienen una cadena saturada y los tocotrienoles una insaturada (Sayago, Marín, Aparicio y Morales, 2007).

Los aceites vegetales constituyen una de las fuentes principales de vitamina E (α -tocoferol), la misma que se adquiere a través de la dieta, razón por la cual es considerada como compuesto esencial, además, necesita de los ácidos grasos para una eficiente absorción por el organismo (Yahia y Mondragon, 2011).

La vitamina E se encuentra generalmente en las hojas y partes verdes de las plantas, las mismas que contienen más α -tocoferol que en las partes amarillas, mientras que el γ -tocoferol se encuentra en concentraciones bajas, razón por la cual en las *Opuntias* se encuentra en mayor proporción α -tocoferol en tunas verdes y γ -tocoferol en semillas. En función a lo mencionado, se puede identificar al estado de maduración como un factor influyente en el contenido de tocoferoles,

siendo así que en tunas verdes existe mayor contenido de tocoferoles, mientras que en tunas maduras el valor disminuye. El aumento de temperatura genera disminución del contenido de tocoferoles, considerándose al α -tocoferol como el menos estable (Beltrán, Aguilera, del Rio, Sánchez y Martínez, 2005).

El principal beneficio de esta vitamina junto con la A y C es su actividad antioxidante, es decir, la defensa de las células frente a los efectos nocivos generados por los radicales libres. Además, se utiliza para evitar la oxidación y prolongar la vida útil de los productos cosméticos (Stanley, 2005).

Vitamina C.- Es una molécula pequeña conocida como ácido ascórbico, es una sustancia cristalina blanca de estructura semejante a la glucosa. Es un ácido débil y tiene sabor ligeramente ácido (Hickey y Saul, 2014).

La vitamina C se aplica como fitoingrediente en cosmética debido a su capacidad de inactivar los radicales libres, actúa como antioxidante y agente antiinflamatorio. El suministro adecuado de vitamina C posibilita la regeneración de la vitamina E y otros antioxidantes. Además, estimula la síntesis de colágeno y reduce la pigmentación de la piel, por lo cual es también considerado como anti-envejecimiento. (Hickey y Saul, 2016).

En cosmética la vitamina C se emplea en forma de: palmitato de ascorbilo, ascorbil fosfato de magnesio y ácido L-ascórbico. El palmitato de ascorbilo es un éster sintético del ácido ascórbico y el ácido palmítico, es decir soluble en grasa y estable en formulaciones cosméticas a pH neutro. Por otro lado, el ascorbil fosfato de magnesio esta formulado a partir del ácido ascórbico, el mismo que aumenta los niveles de hidratación y elasticidad de la piel. Mientras que el ácido L-ascórbico es la forma más activa de la vitamina C, es soluble en agua y debe ser empleado a pH bajo para mantenerse activo (Pérez, 2003).

β - sitosterol.- Es un fitosterol semejante a las grasas que se encuentra en los alimentos de origen vegetal, su estructura es similar al colesterol que se

produce de forma natural en la piel y se considera parte de la matriz intercelular. Es el fitosterol que aparece con mayor frecuencia en los alimentos. En el caso de las Opuntias es el principal principio activo aislado con propiedades antiinflamatorias (Park, Kahng, Lee, y Shin, 2001).

En cosmética se emplea por las propiedades que aporta a la piel, actúa como agente hidratante, debido a que tiene la función de captar y fijar el agua, ha demostrado tener actividad calmante, antioxidante, regenerativa, emoliente y reguladora de la sequedad cutánea. Marcas reconocidas como Plante System están empleando β -sitosterol en sus formulaciones cosméticas (Medicina Natural, 2009).

*Indicaxantina.- Es un pigmento natural perteneciente a las betaxantinas, responsable del color amarillo-anaranjado. Fue la primera betaxantina aislada y caracterizada de *Opuntia ficus-indica*, se encuentra mayormente en las tunas amarillas o anaranjadas. Presenta conjugación con aminoácidos, en este caso el aminoácido es la prolina. Este pigmento natural es una alternativa de colorante para ser empleado en cosmética, otorgando además beneficios a la salud a través de su actividad antioxidante (Castillo, 2013).*

Betanidin-5-O- β -glucósido.- Es un pigmento natural de color rojo-violáceo perteneciente a las betacianinas. Al igual que las betaxantinas tiene en su estructura como núcleo fundamental al ácido betalámico, difieren de estas al poseer un grupo 3,4 dihidroxifenilalanina (DOPA).

Es difícilmente separable de las betaxantinas por su naturaleza altamente iónica al contener tres grupos carboxilo, un grupo fenólico y dos carbonos asimétricos. Por su grupo fenólico y grupo amino cíclico se le atribuye su actividad antioxidante, por lo cual al igual que indicaxantina puede emplearse en formulaciones cosméticas (Apaza, Manchego y Acero, 2015).

Clorofila a.- Es un pigmento verde-azulado presente en las plantas y responsable del color verde de las mismas. Es la más abundante e importante de la familia. Se encuentra en los cloroplastos de varias partes de la planta. En el caso de las *Opuntias* se encuentra en los cloroplastos de los cladodios (Gaud, Surana, Talele y Gokhale, 2008).

La clorofila es empleada como un pigmento de origen vegetal en industrias farmacéuticas y de alimentos. Por sus propiedades nutraceuticas, antiinflamatorias, antioxidantes, antibacterianas, profilácticas, desodorizantes y su capacidad para retrasar el envejecimiento se emplea en cosmética, para la elaboración de cremas caseras, jabones artesanales, sales de baño u otros productos de higiene (Streit, Ramírez, Queiroz y Lopes, 2015). Además, es recomendada como sustancia fotosensibilizante en terapia fotodinámica para el tratamiento tópico del acné y para cicatrizar úlceras. (Diario médico, 2017).

4.6 FACTORES DETERMINANTES DE PRINCIPIOS ACTIVOS

Para el empleo de principios activos naturales es importante considerar específicamente la planta, la parte de la planta y el tratamiento de extracción, para asegurar la estabilidad de los principios activos. Adicionalmente, se debe considerar el lugar o región de recolección de la planta, debido a que la concentración de los metabolitos secundarios en las plantas puede variar según varios factores intrínsecos y extrínsecos. Además, el nombre científico en ocasiones varía a medida que progresan los estudios en la región (Ifuku, 2017).

Según Bandoni et al., (2015), los factores extrínsecos hacen referencia a las condiciones climáticas, geográficas, estación del año, hora del día y tipo de recolección, parte de la planta empleada, procedencia, tratamiento post cosecha (conservación, secado, acondicionamiento), factores que pueden influir en la concentración y estabilidad de metabolitos.

Por otro lado, los factores intrínsecos, se tratan de reacciones enzimáticas que catalizan reacciones de degradación de la especie vegetal. Entre las

reacciones enzimáticas más comunes, se encuentran: hidrólisis de glúcidos, de ésteres y de heterósidos, oxidaciones, condensaciones, polimerizaciones, isomerizaciones y racemizaciones. Además, auto-oxidaciones y las reacciones entre los diferentes principios de la planta, que influyen en la concentración de los metabolitos (Durango, 2009).

4.7 TÉCNICAS DE IDENTIFICACIÓN Y CUANTIFICACIÓN

Dentro de la fitoquímica, es de gran importancia la determinación de los constituyentes químicos de las plantas para confirmar su posible actividad farmacológica o cosmética en el producto. Se emplean técnicas instrumentales para efectuar fácilmente la separación, identificación y cuantificación de principios activos en mezclas o extractos (Sharapin, 2000).

A continuación se detallan el proceso y las técnicas de identificación y cuantificación de los principales grupos fitoquímicos con sus respectivos principios activos presentes en las especies del género *Opuntia* de la familia Cactaceae.

4.7.1. POLIFENOLES

Para la extracción sólido-líquido de polifenoles de las semillas del fruto de la tuna; se colocan 2 g de muestra con 20 mL de etanol al 70 % (v/v), se mezclan con agitación constante durante 2 horas a temperatura ambiente, y posteriormente se filtra. Se realiza una nueva extracción bajo las mismas condiciones, y se combinan los filtrados para ser concentrados al vacío en un rotavapor y se agregan 10 mL de metanol puro. Finalmente el extracto obtenido se almacena a -20 °C hasta su análisis. (Chougui, Tamendjari, Wahiba, Hallal, Barras, Tristan y Larbat, 2013).

Por otro lado, la extracción de compuestos fenólicos de las flores de las *Opuntias* se realiza mediante maceración por 24 horas con 250 mL de solvente,

los mismos que pueden ser: agua, metanol, acetonitrilo, acetona, acetato de etilo, diclorometano y hexano. Se deja la maceración en un lugar oscuro y a temperatura ambiente. Después de la maceración se filtra el extracto y se centrifuga por 10 minutos para remover cualquier partícula flotante (Ammar, Ennouri y Hamadi, 2015).

Ammar et al. (2015) compararon la extracción por Soxhlet y por maceración de los compuestos fenólicos en las tunas con las diferentes variedades de solventes, llegando a concluir que con la extracción por Soxhlet con metanol se obtienen mayores cantidades de compuestos fenólicos totales (270,9 mg GAE/ g) y flavonoides (60,81 mg RE/ g), tal como se expone en la Tabla 5.

Para la identificación y cuantificación de compuestos fenólicos se emplean técnicas instrumentales, tales como: espectrofotometría UV, cromatografía líquida de alta resolución (HPLC), espectrometría de masas y resonancia magnética nuclear de carbono 13 (RMN ^{13}C).

Para el análisis mediante espectrofotometría UV se sigue el método expuesto por Bouzoubaa, Essoukrati, Tachrouch, Hatimi, Gharby y Harhar (2014). Se mezcla 0,5 mL del extracto anterior con 1,5 mL del reactivo de Folin-Ciocalteu, diluido diez veces. Después de 5 min se añade 1,5 mL de carbonato de sodio al 6 %. La mezcla se incuba en oscuridad durante 1 hora. En medio alcalino, los polifenoles reducen los ácidos fosfomolibdicos presentes en el reactivo de Folin-Ciocalteu, actuando como revelador por su color azul oscuro en un máximo de absorción entre 725-765 nm. Se emplea ácido gálico como estándar para la curva de calibración, expresando los resultados en mg de ácido gálico (GAE) /100 g de muestra seca.

Otra de las técnicas de identificación y cuantificación de compuestos fenólicos es Cromatografía líquida de alta resolución con detectores en conjunto de arreglo de diodos y espectrómetro de masas (HPLC-DAD-MS), en la cual, inicialmente se separan los compuestos fenólicos mediante una columna C18 lichrocart (250 mm x 4,6 mm), empleando un gradiente de elución de 5 %- 20 % de MeOH en 120 min, seguido de MeOH 60 % en 60 min con un flujo de 700

uL/min. Los componentes son detectados mediante el detector de arreglo de diodos utilizado a 280 y 370 nm como longitudes de onda preferidas y con el espectrómetro de masas (MS) con triple cuadrupolo de iones con voltaje de spray de 5 kV a una temperatura de 300 °C. La cuantificación se realiza en función a los espectros de masas y los tiempos de retención de los espectros UV. Los resultados se expresan en µg/ g de extracto (Chahdoura, Barreira, Barros, Santos, Ferreira y Achour, 2014).

En la identificación mediante la técnica acoplada de cromatografía líquida de alta resolución con espectroscopia de resonancia magnética nuclear (HPLC-NMR) se emplea para la separación de compuestos fenólicos una columna C18 (5 µm poro, tamaño 250 mm x 4,6 mm), usando un gradiente de elución de 10-35 % de acetonitrilo en 55 min con flujo de 600 µL/min. La detección mediante resonancia magnética nuclear está equipada con un flujo de detección inversa H-C13. Los espectros de H-NMR se adquieren en modo flujo detenido (Chougui et al., 2013).

En función a lo expuesto en la Tabla 6, se comprueba que *Opuntia ficus-indica* es la especie con mayor contenido de compuestos fenólicos, dentro de los cuales, se encuentran en mayor proporción el ácido ferúlico (347 µg/g) y ácido salicílico (226,2 µg/g). La técnica de espectrofotometría UV permite únicamente la cuantificación de los compuestos fenólicos presentes en la especie, mostrando mayores límites de detección (40 mg GAE/100g). Mientras que HPLC-NMR permite una identificación exhaustiva de cada compuesto fenólico. Asimismo, HPLC-DAD-MS permite la identificación de cada uno de los componentes fenólicos en función a las masas estimadas de los fragmentos generados por la misma. Tiene menores límites de detección (0,6 µg/g), debido a que puede detectar hasta niveles traza. Por lo cual se la puede considerar como la técnica que proporciona mayor sensibilidad para el análisis de compuestos fenólicos.

4.7.2 FLAVONOIDES

En el método practicado por Guevara, Jiménez, Escogido, Mortensen, Laursen, Lin, León, Fomsgaard y Barba de Bahorun (2010), se toma una alícuota de 1,5 mL de extracto y se mezcla con 1,5 mL de AlCl_3 al 2 %. Seguidamente se incuba la mezcla durante 30 min y se establece su absorbancia a 430 nm. El contenido de flavonoides se determina mediante la técnica de espectrofotometría UV, se utiliza una curva de calibración preparada con Quercetina, para su cuantificación. Los resultados se expresan en mg de Quercetina/ g de muestra seca.

La cromatografía líquida de alta resolución acoplada a espectrometría de masas (HPLC-MS/MS), con tubo de ionización electrospray en modo de ion único negativo, es otra técnica también empleada para la identificación de flavonoides. La separación se realiza en una columna polar (4 μm , 2,0 mm x 250 mm). Se emplean estándares de flavonoides para su cuantificación. Los resultados se expresan en $\mu\text{g/g}$ (Guevara et al., 2010).

La Tabla 7 expone los resultados obtenidos por las técnicas, indicando que *Opuntia ficus-indica* es la especie con mayor contenido de flavonoides en comparación con *Opuntia robusta* y *Opuntia megacantha*. La técnica HPLC-NMR indica la complejidad de la composición fenólica de la semilla, indicando incluso sus isómeros; como es el caso de ferulolilsucrosa isómero 1, isomero 2 e isomero 3, de los cuales, ferulolilsucrosa isómero 3 se encuentra en mayor proporción. De igual manera, HPLC-MS mostró menores límites de detección (3,3 $\mu\text{g/g}$), generando mayor sensibilidad que la detección (1 mg QE/100 g) por espectrofotometría UV.

4.7.3 ACEITES ESENCIALES

Los métodos comúnmente empleados para la extracción de aceite esencial son: destilación por arrastre de vapor (10-20 kg de la planta para obtener un buen

rendimiento), extracción por arrastre de vapor continuo (100-500 g de la planta fresca), y por presión en caliente o frío (Yúfera, 2007).

La extracción del aceite de las semillas de la tuna se realiza mediante extracción a presión en frío. Este modo de extracción es exclusivamente mecánico que no requiere ningún solvente. La extracción a presión en frío permite preservar la cantidad de ácidos grasos, vitamina E y antioxidantes naturales.

En el proceso de extracción, inicialmente se separa la semilla del fruto, se descascara parcialmente y se seca mediante ventilación. Para la extracción se requiere alrededor de ½ tonelada para producir un litro de aceite, debido a que la semilla contiene el 5 % de aceite (Tejeda, 2015). Las semillas son prensadas en prensas mecánicas como se exponen en la Figura 11, se controla que la temperatura generada por la presión no supere los 45 °C para no alterar su composición química. Posteriormente durante varios días el aceite obtenido se decanta en tanques de acero inoxidable (Prensando en frío, 2002).

Una vez obtenido el aceite se analiza su composición. Entre las técnicas de identificación se encuentra la espectroscopia de infrarrojo, la misma que proporciona información cualitativa de los constituyentes del aceite; siendo, para alcoholes señales a $3600-3300\text{ cm}^{-1}$, mientras que los diferentes tipos de aldehídos, cetonas, esterés, saturados e insaturados, se localizan en señales entre $1800-1650\text{ cm}^{-1}$. La presencia o ausencia de anillos aromáticos se evidencia en señales entre $1670-1500\text{ cm}^{-1}$. Otra técnica que proporciona información importante sobre el número de componentes de una esencia es la Cromatografía de Gases acoplada a espectrometría de masas (GC-MS), la misma que ha permitido diferenciar más de sesenta componentes de la esencia mediante porcentajes y tiempos de retención relativos (Tejeda, 2015). De igual manera, la técnica de Resonancia Magnética Nuclear (RMN) proporciona información útil acerca de los componentes principales de una esencia. Se puede observar la ausencia o presencia de anillos aromáticos, grupos metilen-dioxi, metoxilo, cadenas isopropilo, metilcetonas, entre otras sustancias que formen la mezcla (Yúfera, 2007).

Los estudios realizados por Ramadan y Morsel (2003) determinaron la composición del aceite esencial extraído de las semillas y de la pulpa de *Opuntia ficus-indica*, indicando el contenido de lípidos totales de 98,8 g/ kg y 8,70 g/ kg respectivamente. Se encontraron altos contenidos de glicolípidos y fosfolípidos en el aceite de la pulpa de la tuna 52,9 %, mientras que en las semillas, altos contenidos de lípidos neutros 87,0 %. Dentro de la composición del aceite esencial se encontró también fitosteroles, destacándose β -sitosterol con 72 % del contenido total de fitosteroles presentes en las semillas y pulpa. El contenido de vitamina E y β - caroteno fue elevado en el aceite de la pulpa comparado con el de las semillas. La información que proporciona dicho análisis demostró la importancia de la *Opuntia ficus-indica* como materia prima de aceites o alimentos funcionales.

4.7.4 LÍPIDOS

La extracción del aceite de las semillas de *Opuntia ficus-indica* se realiza mediante extracción Soxhlet. Se utiliza una mezcla de 30 g de semillas secas con 150 mL de hexano por 9 horas a 120 °C. Posteriormente el solvente se evapora usando un rotavapor a 40 °C. Los ácidos grasos se determinan tras realizar la transesterificación de las muestras siguiendo el proceso de Pinela, Barros, Dueñas, Carvalho, Santos y Ferreira (2012).

La técnica comúnmente empleada para la identificación y cuantificación de ácidos grasos es la Cromatografía de gases (GC) con detector de ionización en llama (FID). Se emplea una columna de sílica (50 cm de longitud, 0.25 mm de diámetro interno), un inyector split/splitless, hidrógeno como gas de arrastre a 260 °C y un volumen de inyección de 1 μ L. La duración del análisis es de 45 min; los ácidos grasos son identificados en comparación con los tiempos de retención de la mezcla de estándares y se expresan los resultados en porcentaje de cada ácido graso (Chougui et al., 2013).

Los resultados expuestos en la tabla 8, muestran a la especie *Opuntia ficus-indica* de variedad amarilla con mayor contenido de aceite (9,3 %), dentro de

los mayores representantes están: ácido linoleico (omega 6) con 63,1 %, seguido del ácido oleico (omega 9) con el 20,9 %. La variedad con mayor contenido de ácido esteárico y oleico es la tuna roja con 4,2 % y 24,3 % respectivamente. Mientras que las variedades con ácido vaccénico son la tuna verde y anaranjada con 5,3 % y 5,1 % respectivamente. La variedad de tuna amarilla y anaranjada contiene mayor porcentaje de ácido linoleico (omega 6) con 63,1 % y de ácido palmítico con 13,4 %. La cantidad de ácidos grasos insaturados (83,5 %) es mayor a la cantidad de ácidos grasos saturados (16,9 %) presentes en las variedades de tunas.

El ácido graso en mayor proporción presente en las variedades de tunas es el ácido linoleico o también conocido como omega 6 con 63,1 %, este porcentaje es más elevado a los obtenidos con otros aceites de fuentes vegetales como: aceite de oliva (3,5- 21 %), aceite de soya (49,7 %), aceite de maíz (47,7 %), aceite de sésamo (44,5 %) y aceite de girasol (49,7 %). Esta comparación permite reconocer a las variedades de *Opuntias* como fuentes vegetales de grandes cantidades de ácidos grasos saludables.

En función al análisis realizado, se determina que la técnica de Cromatografía de gases un sistema compacto y fácil de usar, el detector de ionización en llama es el más utilizado en GC para el análisis de ácidos grasos debido a que es extremadamente sensible a compuestos orgánicos, realiza un análisis cuantitativo a niveles traza requiriendo cantidades de muestra menores a 1 mL (Thermo Fisher, 2010).

4.7.5 VITAMINA E

Previo al análisis, las muestras de tunas son liofilizadas, seguidamente se homogenizan 0,5 g de muestra con 10 mL de metanol de calidad HPLC, se agita a 55 rpm en baño de agua a 30 °C por 15 min y se centrifuga por 10 min. El sobrenadante se filtra a través de un filtro de nylon de 0,45 µm. Para la identificación y cuantificación se emplea la técnica de Cromatografía líquida de alta resolución con detector de fluorescencia con longitud de onda de excitación

de 294 nm y de emisión de 325 nm, con una columna C18 (150 mm x 4,6 mm i.d., 3,5 μm), se emplea como fase móvil metanol con un flujo de 0,8 mL/min y la cuantificación se realiza mediante la curva de calibración con el estándar de tocoferoles, los resultados se expresan en $\mu\text{g}/100$ g de muestra (Yahia y Mondragon, 2011).

Otra técnica comúnmente empleada para la determinación de α , γ tocoferol en aceites vegetales es cromatografía líquida de alta resolución en fase normal (NP-HPLC) con detector de longitud de onda variable. Se utiliza una columna LiChrospher-Si (5 μm , 250 x 4 mm i.d) con una presión de 65-70 bar. El solvente de elución de tocoferoles es isooctano/ acetato de etilo (96:4 v/v), se emplea una elución isocrática con un flujo de solvente 1 mL/min. La cuantificación de tocoferoles se realiza en función a la curva de calibración con los estándares respectivos, los resultados se expresan en g/kg (Ramadan y Morsel, 2003).

Las columnas de NP (Normal Phase) son más recomendadas que las de RP (Reverse Phase) debido a que en NP se obtiene mejor separación de todos los isómeros del tocoferol, mientras que las columnas de RP (octadecylsilano modificado) no resuelven totalmente el β y γ -tocoferol. Sin embargo, con cromatografía en fase reversa se requiere menor tiempo de equilibrio de la columna y una mejor reproducibilidad de los tiempos de retención, razón por la cual cuando el análisis no es primordial para estos dos isómeros se prefieren columnas de fase reversa (Gliszczynska y Sikorska 2004).

La tabla 9 expone los resultados obtenidos por las técnicas de HPLC con detector de fluorescencia y con detector de longitud de onda variable. El tocoferol más abundante en *Opuntia ficus-indica* identificado por HPLC con detector de longitud de onda variable es δ -tocoferol con 4,220 g/kg y por HPLC con detector de fluorescencia es α -tocoferol con 53 $\mu\text{g}/100$ g, δ -tocoferol no es identificado mediante esta técnica. De igual manera, la técnica de HPLC con detector de longitud de onda variable mostro mayor límite de detección (0,012 g/kg), mientras que HPLC con detector de fluorescencia tiene menor límite de detección (2.8 $\mu\text{g}/100$ g), es decir es más sensible para la identificación de tocoferoles.

Entre otras sugerencias de técnicas de identificación y cuantificación de tocoferoles está: la cromatografía de gases (GC), la cromatografía de fluidos supercríticos con detector UV-VIS, métodos electroquímicos como cronopotenciometría y voltametría, métodos luminiscentes como la espectroscopía de luminiscencia y la fluorescencia (Sayago et al., 2007).

La cromatografía de gases (GC) permite obtener una buena resolución, sin embargo no es tan utilizada debido a la laboriosa preparación que requieren las muestras. En un estudio realizado por Greyt, Petrauskaite, Kellens y Huyghebaert (1998) en el cual se compara GC y HPLC, se concluyó que la técnica de HPLC presenta mayor precisión y repetibilidad, por el contrario, GC posee mejor coeficiente de recuperación, sin embargo, esta técnica requiere separación previa con cromatografía en capa fina (TLC) para evitar el solapamiento de otros componentes menores con los tocoferoles.

4.7.6 VITAMINA C

Para la extracción de vitamina C de los frutos de las *Opuntias*, se homogenizan muestras de 0,5 g de polvo liofilizado en 10 mL de solución de extracción (ácido cítrico 0,1 M y ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) 0,05 %. Posteriormente se centrifuga durante 10 min a 2 °C, se filtra el sobrenadante mediante un cartucho C18. Los primeros 5 mL son desechados y los 3 mL siguientes se analizan al añadir 1 mL de 1,2 fenilendiamina preparada con metanol/agua (5:95). Las muestras se incuban por 37 min en oscuridad y se filtran por nylon de 0,45 µm. Posteriormente se cuantifica el ácido ascórbico del filtrado mediante cromatografía líquida de alta resolución con detector de arreglo de diodos (HPLC-DAD), se emplea una columna C18 (300 mm x 3,9 mm i.d, 10 µm). La fase móvil es 5 mM de bromuro de hexadeciltrimetilamonio y 50 mM de fosfato de potasio monobásico en metanol: agua (1:99 v/v) a pH 4,6 con un flujo de 1,5 mL/min. El ácido ascórbico fue monitoreado a 261 nm, la cuantificación se realiza en función a la curva de calibración del estándar, los resultados se expresan en µg/100 g de muestra (Yahia y Mondragon, 2011).

La cromatografía líquida de alta resolución con detector electroquímico (HPLC-EC) es también empleada para la identificación y cuantificación de ácido ascórbico, las condiciones de la técnica son: columna en fase reversa C18 (100 mm x 4,6 mm i.d, 3 μ m), fase móvil 0,7 g/L de fosfato de potasio monobásico con 0,5 mM de EDTA, 8,0 % de metanol con 100 mg/L de octilsulfato de sodio a pH 2,65 con un flujo de 0,8 mL/min. Para el detector se emplea un electrodo de referencia de Ag/AgCl y se aplica un potencial de 780 mV. Finalmente para su cuantificación se utiliza una solución estándar de ácido ascórbico, los resultados se expresan en ng/mg.

La información que contiene la Tabla 10 permite identificar a la técnica de HPLC-EC como la más sensible debido a que tiene menor límite de detección (20 ng/mg) en comparación de HPLC-DAD con límite de detección (700 μ g/100 g). La especie con mayor contenido de ácido ascórbico es *O. streptacantha* con 2100 μ g/100 g.

4.7.7 FITOSTEROLES

Para la extracción de los fitosteroles se realizan extractos de la planta con disolventes no polares, como el éter de petróleo, bisulfuro de carbono, cloroformo o éter etílico, extrayendo así esteroides y sus ésteres junto con otros lípidos. Para separarlos se saponifica el extracto y se retiran de la solución con un disolvente no polar, los glicósidos se extraen con etanol u otros solventes polares (Yúfera, 2007).

Específicamente la extracción de fitosteroides de las semillas y pulpa de *Opuntia ficus-indica* se realiza después de la saponificación de las muestras de aceite sin derivatizar. La muestra se somete a reflujo con 5 mL de hidróxido de potasio etanólico (6 % p/v) durante 6 min, lo insaponificable se extrae primero con 10 mL de éter de petróleo, los extractos se combinan y lavan 3 veces con 10 mL de etanol/ agua (1:1 v/v), se seca con sulfato de sodio anhidro. Finalmente el extracto se evapora en un rotavapor a 25 °C, logrando evaporar el éter.

El extracto de fitosteroles obtenido se analiza mediante GC-FID con columna DB5 empaquetada con 5% de fenil metilpolisiloxano (30 m de largo, 0.25 mm i.d, 1.0 μ m), se emplea como gas de arrastre helio a un flujo de 38 mL/min con modo de inyección Split-splitless, la temperatura del horno se mantiene constante a 310 °C. La cuantificación se realiza en función al estándar interno de acetato de colesterol aplicando la respuesta del detector, los resultados se expresan en g/kg (Ramadan y Morsel, 2003).

La tabla 11 expone los resultados de fitosteroles en la pulpa y semillas del fruto de *Opuntia ficus-indica* obtenidos mediante GC-FID. La pulpa de *Opuntia ficus-indica* presenta mayor contenido de fitosteroles, siendo mayoritarios campesterol con 8,74 g/kg y β -sitosterol con 11,2 g/kg. De igual manera en las semillas el fitosterol más abundante es el β -sitosterol con 6,75 g/kg.

Otras técnicas que pueden emplearse para la determinación de fitosteroles además de GC-FID son HPLC y GC-MS que permite una mejor identificación de cada fitosterol (Park et al., 2001).

4.7.8 BETALAÍNAS

Las betalaínas son extraídas de los frutos de las *Opuntias*. El tejido de la fruta se agita con metanol-agua (80:20 v/v) a oscuridad. Posteriormente se centrifugan las muestras a 15 °C durante 15 min. Se filtra el sobrenadante a través de un filtro de nylon de 0,45 μ m. El extracto obtenido constituye la fracción de betalaínas (Yahia y Mondragon, 2011). Se analiza mediante espectrofotometría UV-Vis, de acuerdo a la Ley de Lambert-Beer a 484 y 535 nm para betaxantinas y betacianinas respectivamente (Bouzoubaa et al., 2014).

Otra técnica que se puede emplear para la identificación y cuantificación de betalaínas es cromatografía líquida de alta resolución con detector de arreglo de diodos y espectrometría de masas (HPLC-DAD-MS), con una precolumna C18 (4 mm x 3,0 mm i.d.) y una columna C18 (5 μ m, 250 mm x 3 mm i.d.) en fase

reversa. Se emplearon dos eluyentes; el eluyente A constituido de (65:35 v/v) ácido trifluoroacético (TFA) al 2 % y ácido fórmico al 10 % respectivamente, el eluyente B constituido de acetonitrilo y ácido acético al 10 % en proporciones (80:20 v/v). La separación de betalaínas se realizó con un flujo de 1 mL/min a 25 °C en 75 min. Los primeros 15 min se realizó con gradiente isocrático con eluyente A al 100 % seguido de un gradiente lineal de 0 a 20 % de eluyente B en 60 min. Para esta técnica la comercialización de estándares de betalaínas es limitado, para lo cual se sintetiza patrones de betaxantina por reacción de ácido betalámico con compuestos amino. Las betalaínas fueron monitoreadas a 405 nm para el ácido betalámico y 470-538 nm para las betaxantinas y betacianinas. Por otro lado, el espectrómetro de masas tiene un voltaje de electro pulverización de iones positivos de 3,50 kV para el capilar y de 40 eV para el cono a una temperatura de 120 °C (Melgar, Pereira, Oliveira, García, Rodríguez, Sokovic, Barros y Ferreira, 2017).

El contenido de betacianinas y betaxantinas en *O. ficus-indica* y *O. megacantha* se exponen en la Tabla 12, mostrando a las betaxantinas como las más abundantes en *O. ficus-indica* y *O. megacantha* con 87,70 µg/g y 84,26 µg/g respectivamente. Dentro de las betaxantinas identificadas en *O.ficus-indica* mediante HPLC-DAD-MS, indicaxantina isómero I se encuentra en mayor cantidad con 60,9 %, seguido de betanidin-5-O- β- glucósido con 41,6 %. En las betacianinas, la isobetanina es la más abundante con 15,01 %.

De acuerdo a los resultados obtenidos por las dos técnicas se puede determinar que la técnica de espectrofotometría UV permite únicamente una cuantificación general del grupo de betaxantinas o betacianinas. Mientras que la cromatografía líquida de alta resolución con detector de arreglo de diodos y espectrómetro de masas (HPLC-DAD-MS) permite el reconocimiento de los principios activos que constituyen las betacianinas y betaxantinas, demostrando ser una técnica más sensible para la identificación y cuantificación de los mismos.

De las especies analizadas, *Opuntia ficus-indica* posee mayor contenido de betalaínas con 94,59 µg/g, sus frutos conocidos como tunas son una fuente alterna de betacianinas y betaxantinas. Existen pocas fuentes de betalaínas, entre

ellas se encuentran: remolachas, acelga suiza, amaranto y los frutos del género *Opuntia* conocidos como tunas. La fuente comercial con mayor contenido de betalainas es la remolacha, su pigmento es utilizado en la industria de alimentos, sin embargo la tuna presenta ventajas tecnológicas y sensoriales sobre la remolacha. No contiene nitratos, es más aromática, no muestra toxicidad y sus pigmentos no provocan ninguna reacción alérgica (Vergara, 2013).

4.7.9 CLOROFILA

Inicialmente para la extracción de la clorofila de la cáscara de la tuna previamente liofilizada, se agita durante 10 min a oscuridad con 10 mL de metil ter-butyl éter (MTBE) y hexano-acetona-etanol (2:1:1). Después de agitar, las muestras se centrifugan durante 15 min, se filtran los sobrenadantes a través de un filtro de nylon de 0,45 μm de tamaño de poro. Una vez obtenidos los extractos se procede a analizarlos mediante un espectrofotómetro UV-Vis, las absorbancias se miden a 642 y 660 nm. El contenido de clorofila se obtiene en mg/100 g de cáscara seca (Yahia, Castellanos y Mondragon, 2010)

Los valores expuestos en la Tabla 13 determinan que *Opuntia robusta* es la especie con mayor contenido de clorofila total (15,5 mg/ 100 g), clorofila b (4,8 mg/100 g), y el mayoritario clorofila a (10,7 mg/100 g). El contenido de clorofila es mayoritario en tunas verdes, este pigmento es identificable mediante espectrofotómetro UV-Vis por la presencia de grupos cromóforos en su estructura.

4.7.10 MUCÍLAGOS

En las *Opuntias*, los mucílagos son extraídos de los cladodios, de los cuales, se retiran las espinas y se lavan con agua clorada 5 ppm. Seguidamente se trituran y se llevan a un tanque con agua en una relación cladodio: agua (1:7) a 16-18 °C durante 20 horas por kilo de cladodio triturado. Posteriormente se filtra para separar los trozos gruesos y centrifugar, el sobrenadante se concentra a vacío a 70 °C hasta 1/3 de su volumen inicial. Al extracto de mucilago extraído se

agrega alcohol isopropílico (1:3), se centrifuga nuevamente para separar el mucilago precipitado. El mucilago precipitado se lava haciéndolo hervir con isopropanol y se filtra para separarlo del alcohol, seguidamente se seca en un deshidratador o estufa de aire forzado, hasta un contenido de humedad de 5-6 % (Sáenz et al., 2004).

La muestra obtenida de la extracción se calienta con ácido sulfúrico 1 M a 80 °C durante 24 horas y se deja enfriar para el análisis. Para la identificación y cuantificación de los componentes de los mucílagos, se emplean técnicas cromatográficas como HPLC con detector IR, empleando una columna Waters 60^a de 4 µm de diámetro empaquetada con aminopropil metil sililo. La fase móvil empleada es de acetonitrilo:agua a 25 °C. Los resultados se obtienen comparando con los estándares de los azúcares y se expresan en porcentaje en peso y en molaridad (Torres, De la Fuente, Sánchez y Katthaim, 2000).

Por otro lado, la cromatografía líquida de alta resolución con detector electroquímico (HPLC-ED), es una técnica también empleada para la determinación de la composición de mucílagos en *Opuntias*. Inicialmente las muestras de mucílago extraídas se hidrolizan con 6 mL de HCl 1 M durante 150 min a 100 °C, las muestras hidrolizadas se filtran y secan a 40 °C. Seguidamente se lavan 2 veces con agua y nuevamente se secan, el residuo se disuelve con 0,5 mL de agua y se filtra en una membrana de 0,45 µm de poro. Posteriormente el filtrado es inyectado en el HPLC- ED, empleando una columna CarboPac (4 µM, 250 mm). La fase móvil consistió en agua de calidad HPLC con un flujo de 1 mL/min, para acondicionar la columna se emplea una solución de NaOH al 300 mM con un flujo de 0,6 mL/min. La composición en monosacáridos de los mucílagos se realiza en función a los compuestos estándar, los resultados se expresan en porcentaje en base de peso seco (Espino, Ornelas, Martínez, Santillán, Barbosa, Zamudio y Olivas, 2010).

El análisis realizado mediante HPLC-IR y HPLC-ED permite identificar los constituyentes de mucílagos expresando su contenido en porcentaje en peso seco, se obtienen grandes diferencias entre los resultados de ambas técnicas, por lo cual para validar la eficacia de alguna técnica y seleccionarla como la más

sensible o ideal para el análisis, se realiza una comparación con los valores obtenidos en el estudio realizado por Sáenz et al. (2004). El mencionado estudio demuestra tener mayor relación con los valores obtenido por HPLC-IR.

La Tabla 14 expone los porcentajes de la composición de mucilago en *Opuntia ficus-indica* mediante HPLC-IR. Se determina a L- arabinosa como el mayor constituyente con 44,04 % y seguido en menor proporción por D- xilosa con 22,03 %.

La cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (GC-MS) es otra técnica que se puede emplear para la determinación de los azúcares, mientras que la estructura molecular se determina mediante espectros de Resonancia Magnética Nuclear (RMN) (Di Lorenzo, Silipo, Molinaro, Parrilli, Schiraldi, D'Agostino, Izzo, Rizza, Bonina, Bonina y Lanzetta, 2017).

4.7.11 MINERALES

Para el análisis de minerales en *Opuntia* se realiza una hidrolisis de las muestras empleando HNO₃: HCl (1:3) sobre una plancha de calentamiento a 250 °C por 5 min, seguidamente se diluye con agua ultra pura y se filtra a través de un filtro de 0,45 µm. Las muestras se analizan mediante la técnica de espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS), se cuantifican en mg/ 100 g de muestra (García, Cervantes, Nair, Díaz, Agüero, Guéraud, Salvayre, Rossignol, Zevallos y De la Rosa, 2015).

Otra técnica que se emplea en la determinación de minerales en Opuntias es espectroscopia de absorción atómica (AAS) equipado con una lámpara de deuterio, y una llama de aire:acetileno. Previo al análisis, las muestras fueron refrigeradas dos horas después del muestreo, tras quitar las espinas y ser desinfectadas con hipoclorito de sodio al 10 %, las muestras se homogenizan en una licuadora dando como resultado una pasta del cladodio. La pasta se deseca a 100 °C y su extracto se almacena a -20 °C. El extracto obtenido se digiere y es enfriado para ingresar al equipo. Finalmente la cuantificación se realizó en función

a la curva de calibración de los estándares, los resultados se expresaron en mg/100 g de muestra (Méndez, Tejera, Darías, Rodríguez y Díaz, 2015).

Los resultados de la identificación y cuantificación de minerales presentes en los cladodios de las *Opuntias* mediante ICP-MS, mostraron al potasio como el mineral más abundante en las *Opuntias* con 2403 mg/100 g, seguido por el sodio con 627 mg/100g, el menor fue fósforo con 0,09 mg/100 g. Mientras que en el contenido de minerales en la pulpa de *Opuntia ficus-indica* determinado por AAS, sobresale el manganeso con 780 mg/100 g, seguido del potasio con 224 mg/100 g. De manera más detallada se exponen los resultados en la tabla 15.

Las técnicas de ICP-MS y AAS permitió la correcta identificación y cuantificación de los minerales, exponiendo los resultados en las mismas unidades (mg/ 100 g). Sin embargo en otros estudios ICP-MS ha mostrado mayor sensibilidad con menores límites de detección, menores interferencias, menor tiempo de análisis, debido a que permite registrar simultáneamente los espectros para docenas de elementos incluyendo no metales. Por otro lado, AAS analiza los elementos de uno en uno, no permite un análisis simultáneo, el tiempo de análisis es mayor, sin embargo, es una técnica más económica y sencilla de utilizar (Yagues, 2008).

5. CONCLUSIONES

1. Las *Opuntias* en la actualidad representan un recurso con alto potencial agro tecnológico, como cultivo alimenticio o elemento base para productos derivados, que se puede emplear en la industria alimenticia, la medicina e incluso en la cosmética.
2. *Opuntia ficus-indica* especie del género *Opuntia*, se destaca como una fuente potencial de principios activos correspondientes a grupos fitoquímicos como: polifenoles, lípidos, vitaminas, fitosteroles, betalaínas, mucílagos y minerales. Sus condiciones de cultivo accesibles, la hacen una especie con alto potencial industrial no sólo alimenticio sino también farmacéutico y cosmético.
3. Los principios activos de potencial uso cosmético encontrados en las especies del género *Opuntia* de la familia Cactaceae son: ácido ferúlico (347 µg/g), ácido salicílico (226,2 µg/g), ácido linoleico (63,1 %), ácido oleico (20,9 %), vitamina E (53 µg/100 g), vitamina C (2100 µg/100 g), β-sitosterol (11,2 g/kg), indicaxantina (60,9 %), betanidin-5-O-β-glucósido (41,6 %), clorofila a (10,7 mg/100 g), L- arabinosa (44,04 %) y potasio (2403 mg/100 g), distribuidos en las raíces, semillas, cladodios, flores, frutas y cáscara de la tuna.
4. Dentro de los principios activos encontrados en las *Opuntias*, se destaca al ácido linoleico (omega 6) con 63,1 %, su porcentaje es superior a otras fuentes de omega 6, tales como: aceite de oliva (3,5-21 %), aceite de soya (49,7 %) aceite de maíz (47,7 %), aceite de sésamo (44,5 %) y aceite de girasol (49,7 %). El contenido de betalaínas de las *Opuntias* presenta ventajas tecnológicas y sensoriales sobre otras fuentes vegetales como la remolacha. La tuna es más aromática no muestra toxicidad y no provoca ninguna reacción alérgica. Además, su contenido de ácido ferúlico (347 µg/g), ácido salicílico (226,2 µg/g), y vitamina E (53 µg/100 g) le otorgan su efecto como un potente antioxidante.

5. Las técnicas de identificación y cuantificación recomendadas para el análisis de polifenoles y betalaínas es cromatografía líquida de alta resolución con detector de arreglo de diodos y espectrómetro de masas (HPLC-DAD-MS), para flavonoides se emplea cromatografía líquida de alta resolución acoplado a resonancia magnética nuclear (HPLC-NMR), esta técnica permite identificar los principios activos y sus isómeros dentro de la complejidad de los flavonoides. Para la identificación y cuantificación de ácidos grasos y fitosteroles se emplea cromatografía de gases con detector de ionización en llama (GC-FID). El análisis de vitamina E y C se realiza mediante cromatografía líquida de alta resolución con detector de fluorescencia y detector electroquímico (HPLC-EC) respectivamente. La clorofila se identifica y cuantifica mediante espectrofotometría ultravioleta visible (UV-Vis), mucílagos mediante cromatografía líquida de alta resolución con detector de infrarrojo (HPLC-IR) y minerales mediante espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS).

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acuña, F. (2006). *Química Orgánica*. Primera edición. San José: Editorial Universidad Estatal a Distancia.
- Aguirre, J.A., Zugasti, A., Belmares, R., Aguilar, C. y Garza, H. (2012). *Actividad antioxidante de algunas plantas tropicales subtropicales y semidesérticas*. Coahuila: Universidad Autónoma de Coahuila.
- Ahmad, A., Skinner, S y Randall, S. (1996). Antiviral properties of extract of *Opuntia streptacantha*. *Antiviral Res*, 30 (2-3). 75-85.
- Ahumada, M.L. y Trillo, C. (2017). Diversidad de especies naturalizadas del género *Opuntia* (Cactaceae) utilizadas por los pobladores del norte de Córdoba (Argentina). *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, 52 (1). 1851-2372.
- Amapola Biocosmetics. (2013). *Cosmética mineral y su importancia para la piel*. Recuperado de:
<http://queremoscuidarte.blogspot.com/2013/01/cosmetica-mineral-y-su-importancia-para.html>
- American Society of Health- System Pharmacists. (2016). *Ácido Salicílico Tópico*. Recuperado de:
<https://medlineplus.gov/spanish/druginfo/meds/a607072-es.html>
- Ammar, I., Ennouri, M. y Hamadi, A. (2015). Phenolic content and antioxidant the extraction method. *Industrial Crops and Products*, 64, 97-104.
- Anderson, E. F. (2001). *The cactus family*. Oregon: Timber Press.
- Apaza, E., Manchego, J., Acero, L. (2015). *Colorantes Sintéticos y Betalaínas*. Tacna: Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann.
- Aponte, M., Calderón., Delgado, A., Herrera, I., Jiménez, Y., Ramírez, Z. y Toro., Y. (2008). *Fitoquímicos*. Caracas: División de Nutrición en Salud Pública.
- Avello, M. y Suwalsky, M. (2006). Radicales libres, antioxidantes naturales y mecanismos de protección. *Scielo*, 494 (2).161-172.
- Bandoni, A.L., Ferraro, G.E., Martino, V.S. y Nadinic, J.L. (2015). *Fitocosmética: Fitoingredientes y otros productos naturales*. 1ª edición. Buenos Aires: Eudeba.
- Baren, C.V. (2015). Obtención de Fitoingredientes para la Industria Cosmética. En A. Bandoni, G. Ferraro, V. Martino y J. Nadinic (Eds). *Fitocosmética: Fitoingredientes y otros productos naturales* (73-80). 1ª edición. Buenos Aires: Eudeba.

- Beltrán, G., Aguilera, M.P., del Rio, C., Sánchez, S. y Martínez, L. (2005). Influence of fruit ripening on the natural antioxidant content of Hojiblanca virgin olive oils. *Food Chem*, 87. 207-215.
- Bouzoubaa, Z., Essoukrati, Y., Tachrouch, S., Hatimi, A., Gharby, S. y Harhar, H. (2014). Phytochemical study of prickly pear from southern Morocco. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 15 (2), 155-161.
- Briddell, C. (2017). Advances in Bio-Derived Cosmetic Ingredients .*Green Chemistry: The Nexus Blog*. Recuperado de: <https://communities.acs.org/community/science/sustainability/green-chemistry-nexus-blog/blog/2017/06/22/advances-in-bio-derived-cosmetic-ingredients>
- Bruneton, J. (2001). *Farmacognosia: Fitoquímica plantas medicinales*. 2ª edición. Zaragoza: Editorial Acribia, S.A.
- Burnie, G., Forrester, S., Greig, D., Guest, S. y Harmony, M. (2006). *Botánica: Guía ilustrada de plantas*. España: Editorial Tandem Verlag.
- Cabral, E.L. (2004). *Guía de consultas Botánica II*. Corrientes: Universidad Nacional del Nordeste.
- Cámara Industrial Argentina de la Indumentaria. (2017). Colorantes Naturales. Recuperado de <http://www.ciaindumentaria.com.ar/plataforma/colorantes-naturales/>.
- Castillo, I.C. (2013). *Estabilidad de betalaínas en una mezcla seca para bebidas refrescantes, a base de pulpa y extracto de tuna púrpura (Opuntia ficus-indica) microencapsuladas* (Tesis de grado). Universidad de Chile, Santiago, Chile.
- Causse, C. (2010). *Los secretos de salud de los antioxidantes*. Barcelona: Editorial Hispano Europea.
- Celedón, C. (2015). *Cosmética Natural con Aromaterapia y hierbas medicinales*. Santiago de Chile: Natura Dermis.
- Cerón, A.F., Osorio, O. y Hurtado, A. (2012). *Identificación de ácidos grasos contenidos en los aceites extraídos a partir de tres diferentes semillas de frutas*. Pasto: Universidad de Nariño.
- Chahdoura, H., Barreira, J., Barros, L., Santos, C., Ferreira, I. y Achour, L. (2014). Seed of *Opuntia* spp. as a novel high potential by-product: Phytochemical characterization and antioxidant activity. *Industrial Crops and Products*, 65 (4), 383-389.
- Chougui, N., Tamendjari, A., Wahiba, H., Hallal, S., Barras, A., Tristan, R. y Larbat, R. (2013). Oil composition and characterisation of phenolic

compounds of *Opuntia ficus-indica* seeds. *Food Chemistry*, 139 (4), 796-803.

- Consulta plantas (base de datos en línea). Barcelona: FavThemes, 2015. Disponible en: <http://www.consultaplantas.com/index.php/plantas-por-nombre/plantas-de-la-m-a-la-r/1154-cuidados-de-la-planta-opuntia-leucotricha-o-nopal-duraznillo> (fecha de consulta: 11 de octubre del 2017).
- Cosmética Natura. (2016). Ácido ferúlico, el antioxidante para cosmética antiedad. Recuperado de: <https://www.acidohialuronico.org/ferulico/>
- Cosméticos Marroquies. (2006). Aceite de higo chumbo. Recuperado de: <https://donde.compraraaceiteargan.com/content/8-aceite-higo-chumbo>.
- Cosmos. (2016). *Proceso de Certificación*. Ecocert, 5-6. Recuperado de: <http://www.ecocert.com/sites/default/files/u3/Proceso-de-certificacion-COSMOS.pdf>
- Damonte, P.S. (2015). Piel. En A. Bandoni, G. Ferraro, V. Martino y J. Nadinic (Eds.). *Fitocosmética: Fitoingredientes y otros productos naturales* (14-17). 1ª edición. Buenos Aires: Eudeba.
- Di Lorenzo, F., Silipo, A., Molinaro, A, Parrilli, M., Schiraldi, C., D'Agostino, A., Izzo, E., Rizza, L., Bonina, A., Bonina, F. y Lanzetta, R. (2017). The polysaccharide and low molecular weight components of *Opuntia ficus indica* cladodes: Structure and skin repairing properties. *Carbohydrate Polymers*, 157. 128-136.
- Diario Médico. (2017). Clorofila. Recuperado de: <http://www.cuidateplus.com/alimentacion/diccionario/clorofila.html>
- Dimmitt. M.A. (2017). *Cactaceae (Cactus Family)*. Arizona: Desert Museum.
- Donat, V. (2017). Aceites vegetales en cosmética. *Industria cosmética* (2).1-4.
- Durango, O, J. (2009). *Aspectos básicos de Farmacognosia*. Antioquia: Universidad de Antioquia.
- Ecocert. (2017). Organic Cosmetics. Recuperado de: <http://www.ecocert.com/en/cosmos>.
- Ediciones El País. (2011). Los minerales se alían con la cosmética. Recuperado de: https://cincodias.elpais.com/cincodias/2011/01/29/sentidos/1296271642_850215.html
- Eko, S. (2010). *Mucílago*. Recuperado de: <http://saludablenaturaleza.blogspot.com/2010/02/mucilagos.html>

- Espino, M.D., Ornelas, J., Martínez, M.A., Santillán, C., Barbosa, G., Zamudio, P.B. y Olivas, G. (2010). Development and Characterization of Edible Films Bases on Mucilage of *Opuntia ficus-indica* (L.). *Institute of Food Technologists*, 75 (6). 347-352.
- Esquivel, P. (2004). Los frutos de las Cactáceas y su potencial como materia prima. *Agronomía Mesoamericana*, XV (2). 2-6.
- Ferraro, E.G. (2015). Polifenoles en cosmética. Flavonoides. En A. Bandoni, V. Martino y J. Nadinic (Eds.). *Fitocosmética: Fitoingredientes y otros productos naturales* (30-43). 1ª edición. Buenos Aire: Eudeba.
- Festy, D. (2007). *Antioxidantes. Guía práctica*. Barcelona: Ediciones Robinbook.
- Fonnegra, G.R. y Jiménez R.S. (2007). *Plantas medicinales aprobadas en Colombia*. 2da edición. Medellín: Editorial Universidad de Antioquia.
- Garcia, L. (2015). Nopal blanco. Recuperado de: <http://www.naturalista.mx/photos/2514726>.
- García, M.G., Cervantes, I., Nair, V. Díaz, S.M., Agüero, R.A., Guéraud, F., Salvayre, N.A., Rossignol, M., Zevallos, L.C. y De la Rosa, B.A. (2015). Chemical composition and phenolic compounds profile of cladodes from *Opuntia spp.* Cultivars with different domestication gradient. *Journal of Food Composition and Analysis*, 43, 119-130.
- Gaud, R.S., Surana, S.J., Talele. y Gokhale, S.B. (2008). *Natural Excipients*. Segunda edición. Mumbai: Nirali Prakashan.
- Gisbert, P., Bautista, J., Martinez, S. y Montalva, G.S. (2003). *Nueva formulación cosmética a base de mucílagos de origen natural (vegetal) obtenidos de la Guazima (Guazuma ulmifolia Lam.) para aplicación tópica percutánea*. Valencia: Oficina Española de Patentes y Marcas.
- Gliszczynska, S.A. y Sikorska E. (2004). Simple reversed-phase liquid chromatography method for determination of tocopherols in edible plant oils. *Journal of Chromatography*, 1048 (2).195-198.
- Greyt, W.F., Petrauskaite, V., Kellens, M.J. y Huyghebaert, A.D. (1998). Analysis of tocopherols by gas-liquid and high-performance liquid chromatography. A comparative study. *Fett/Lipid* 100, 503-507.
- Griffith, M.P. (2004). The origins of an important cactus crop, *Opuntia ficus-indica* (Cactaceae): new molecular evidence. *American Journal of Botany*, XCI (11),1945-1921.
- Guevara, T., Jiménez, H., Reyes, M., Mortensen, A., Laursen, B., Lin, L., León, S., Fomsgaard, I., Barba, A. (2010). Proximate composition, phenolic acids, and flavonoids characterization of commercial and wild nopal

(Opuntia spp.). *Journal of Food Composition and Analysis*, 23 (6), 525-532.

- Hayase, M. (2017). Introduction to Cosmetic Materials. En K. Sakamoto, R. Lochhead, M. Howard e Y. Yamashita (Eds). *Cosmetic Science and Technology: Theoretical Principles and Applications* (.147-165). Neherlands: Elsevier.
- Henning, P, C. y Yordaz, M, R. (2013). Otros compuestos secundarios nitrogenados y compuestos azufrados. En J. Ringuélet, M. Arango y S. Viña (Eds). *Productos Naturales Vegetales* (pp. 62-67). La plata: Editorial de la Universidad Nacional de La Plata.
- Hickey, S. y Saul, A. (2014). *Vitamina C*. Primera edición. Málaga: Editorial Sirio, S.A.
- Hickey, S. y Saul, A. (2016). *Vitamina C*. Segunda edición. Málaga: Editorial Sirio, S.A.
- Huang, X., Zhang, Y., Guo, L. y He, Z. (2008). Neuroprotective effects of cactus polysaccharide on oxygen and glucose deprivation induced damage in rat brain slices. *Cellular and Molecular Neurobiology* 28. 559-568.
- Jardín Botánico (base de datos en línea). Málaga: Universidad de Málaga, 2016. Disponible en: <http://www.jardinbotanico.uma.es/jardinbotanico/> (13 de Septiembre del 2017).
- Jiménez, R.I. (2015). Lípidos, la importancia de una piel sana. Recuperado de: <http://secretosdecosmetica.es/tag/lipidos/>
- Jover, A., García, J. (2003). *Manual del Auxiliar de Farmacia: Dermofarmacia y cosmética*. Primera edición. Sevilla: Editorial MAD, S.L.
- Koolman, J., Heinrich, K. (2005). *Bioquímica: texto y atlas*. Tercera edición. Madrid: Editorial Médica Panamericana.
- Lumbreras, L.E., Ortiz, G.D y Picornell, R.A. (2009). *Flora alóctona valenciana: familia Cactaceae*. Huesca: Jolube editor y consultor ambiental.
- Magro, S.E. y Elguezua, L.A. (2008). Definición y clasificación de los minerales. En M. Rivera (Eds). *Bases de la alimentación humana* (pp. 237-238). La Coruña: Netbiblo, S.L.
- Majure, L.C., Puente, R., Griffith, P.M., Judd, W.S., Soltis, P.S y Soltis, D.E. (2012). Phylogeny of Opuntia s.s (Cactaceae): Clade delineation, geographic origins, and reticulate evolution. *American Journal of Botany* (102), 1506-1520.
- Manrique, L. (1988). *Flora y fauna mexicana*. Ciudad de México: Editorial Everest mexicana.

- Marcano, D., Hasegawa, M. (2002). *Fitoquímica Orgánica*. Primera edición. Venezuela: Editorial Torino.
- Martínez, R.C. (2008). *Los pigmentos en los seres vivos*. Barcelona: Hispano Europea.
- Medicina Natural. (2009). Biocuidados: Nueva fórmula de Essentiel Hidratación más natural que nunca. Recuperado de: <https://biocuidados.wordpress.com/category/cosmetica-biosaludable/page/2/>
- Melgar, B., Pereira, E., Oliveira, B., García, E., Rodríguez, A., Sokovic, M., Barros, L. y Ferreira, I. (2017). Extensive profiling of three varieties of *Opuntia* spp. fruit for innovative food ingredients. *Food Research International*, 101, 259-265.
- Méndez, L.P., Tejera, F.F., Darias, J.M., Rodríguez, E.M. y Díaz, C.R. (2015). Physicochemical characterization of cactus pads from *Opuntia dillenii* and *Opuntia ficus-indica*. *Food Chemistry*, 188. 393-398.
- Miretzky, P., Muñoz, C. y Carrillo, A. (2008). Experimental binding of lead to a low cost on biosorbent: Nopal (*Opuntia streptacantha*). *Bioresource Technology* 99, 1211- 1217.
- Monge, N.M., Figueroa, P.G. y Rivas, M.R. (2002). *Biología General*. Primera edición. San José: Universidad Estatal a Distancia San José.
- Muñoz, J.A., Alvarado, O.U. y Encina Z.C. (2011). Fitoesteroles y fitoestanoles: Propiedades saludables. *Revista Horizonte Médico*, 11 (2). 93-99.
- Nadinic, J. (2015). Introducción a la fitocosmética. En L.A. Bandoni, G.E. Ferraro y V.S. Martino (Eds). *Fitocosmética: Fitoingredientes y otros productos naturales* (1-39). 1ª edición. Buenos Aires: Eudeba.
- Navarro, C., Núñez, M., Cebrián, J. (2012). *El libro de la cosmética natural*. Primera edición. Barcelona: Nuevos emprendimientos Editoriales S.L.
- Nazareno, A.M., Ochoa, J.M. y Dubeauz, J.C. (2012). *Aprovechamiento Integral de la Tuna y otras Cactáceas*. Argentina: Actas de la segunda reunión Sudamericana.
- Palermo, J.A., Brasco, M.F., Hughes, E.A., Seldes, A.M., Balzaretto, V.T. y Cabezas, E. (1996). Shori side chain sterols from the tunicate *Polizoia opuntia*. *Steroids*, 61 (1). 2-6.
- Park, E.H., Kahng, J.H., Lee, S.H. y Shin, K.H. (2001). An anti-inflammatory principle from cactus. *Fitoterapia*, 72 (3), 288-290.

- Pérez, G.(2003). Ácido ascórbico en cosmética. Recuperado en: https://www.acidoascorbico.com/vitamina_c
- Pérez, J. M. (2015). *Desarrollo y aplicación de métodos para el control de calidad de principios activos en cosmética y parafarmacia*. (Disertación de pregrado).Universidad Politécnica de Valencia. Valencia-España.
- Pertierra, A.G., Rivera, J.M., Gaitán, B.D., Gutiérrez, C.V., Oltras, C.M. y Ramírez, J.R. (2006). *Fundamentos de bioquímica estructural*. Segunda edición. Madrid: Editorial Tébar S.L.
- Philippe, M. y Marat, X. (2017). Natural, Sustainable innovation: L'Oréal's Commitment to renewable materials & Eco-Friendly processes. ACS Webinars. Recuperado de: <https://www.acs.org/content/dam/acsorg/events/popular-chemsitry/Slides/2017-02-16-cosmetics-slides.pdf>.
- Pinelam,J., Barros,L., Dueñas, M., Carvalho, A.M., Santos, B.C. y Ferreira, I.C.F.R. (2012).Antioxidant activity,ascorbic acid, phenolic compounds and sugars of wild and commercial Tuberaria lignose samples: effects of drying and oral preparation methods. *Food Chem*, 135 (3), 1028–1035.
- Ponce, T.R., Corrales, M.D., Casarrubias, B.L. y Moorillón, N.V. (2015). El nopal: planta del semidesierto con aplicaciones en farmacia, alimentos y nutrición animal. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, VI (5). 50-78.
- Prensado en frío. (2002). Aceites: extracción por prensado en frío. Recuperado de: http://www.prensadoenfrio.com/71041_es/prensado-en-frio-la-elaboracion-mas-natural-del-aceite-de-semillas/
- Quer, P.F. (2000). *Diccionario de botánica*. Primera edición. Barcelona: Ediciones Península, S.A.
- Rabasco, A.M. y González, M.A. (2000). Lipids in pharmaceutical and cosmetic preparations. *Revista Grasas y Aceites*, 51 (1-2), 74-96.
- Ramadan, M.F. y Morsel, J.T. (2003). Oil cactus pear (*Opuntia ficus-indica*). *Food Chemistry*, 82 (3). 339-345.
- Ramírez, G. (2017). *Proveedores de sustancias esenciales para la vida*. Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Ringuelet, J.A y Viña S. (2013). Introducción a los Productos Naturales vegetales. En M. Arango, R. Yordaz y C. Henning (Eds). *Productos Naturales vegetales* (pp.4-17). La Plata: Editorial de la Universidad Nacional de La Plata.
- Rodríguez, T.E. (2015). El cactus y sus propiedades beneficiosas. Recuperado de: <http://blog.hola.com/farmaciameritxell/2015/02/el-cactus-y-sus-propiedades-beneficiosas.html#comments>

- Sáenz, C. (2006). Características y composición química de los nopales. En H. Berger, J.C. García, L. Galletti, V. García, I. Higuera, A. Rodríguez, E. Sepúlveda, M. Varnero (Eds). *Utilización agroindustrial del nopal* (pp. 7-22). Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- Sáenz, C., Sepúlveda, E. y Matsuhira, B. (2004). Opuntia spp mucilage's: a functional component with industrial perspectives. *Journal of Arid Environments*, 57 (3). 275-290.
- Sakamoto, K., Lochhead, R., Maibach, H. y Yuyi, Y. (2017). *Cosmetic Science and Technology: Theoretical Principles and Applications*. Amsterdam: Elsevier.
- Sayago, A., Marín, M.I., Aparicio, R. y Morales, M.T. (2007). Vitamina E y aceites vegetales. *Grasas y aceites*, 58 (1).74-86.
- Seren, P. T. (2014). ¿Qué es un principio activo en cosmética?. Recuperado de: <https://www.cosasdebelleza.com/que-es-un-principio-activo-en-cosmetica/#comments>.
- Sharapin, N. (2000). *Fundamentos de tecnología de productos Fito terapéuticos*. Primera edición. Bogotá: CYTED.
- Sigma-Aldrich. (2010). Nopal (*Opuntia ficus-indica*). Recuperado de: <http://www.sigmaaldrich.com/life-science/nutrition-research/learning-center/plant-profiler/opuntia-ficus-indica.html>
- Stanley, J. (2005). Vitamin E supplements and vascular disease. *Lipid Tech*, 17.15-21.
- Stintzing, F.C., Schieber, A. y Carle, R. (2002). Identification of Betalains from Yellow Beet (*Beta Vulgaris L.*) and Cactus Pear [*Opuntia ficus-indica (L.) Mill.*] by High-Performance Liquid Chromatography- Electro spray Ionization Mass Spectrometry. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50 (8). 2302-2307.
- Streit, N., Ramírez, L.G., Queiroz, L. y Lopes, E.J. (2015). Producción de pigmentos naturales (clorofila-a) en biorrefinerías agroindustriales. *Ciencia y Tecnología*, 8 (2), 29-36.
- Tejeda, E. (2015). Las propiedades del aceite de semillas de tuna. Recuperado de <http://92elementsoils.blogspot.com/2015/09/las-propiedades-del-aceite-de-tuna.html>.
- The Plant List (base de datos en línea). New York: Botanical Garden, 2010. Disponible en: <http://www.theplantlist.org/browse/A/Cactaceae/Cactus/> (fecha de consulta: 14 de diciembre de 2017).

- Thermo Fisher. (2010). Instant Connect Electron Flame Ionization Detector (FID) for TRACE™ 1300 GC Series. Recuperado de: <https://www.thermofisher.com/order/catalog/product/19070001FS>
- Torres, L.M., De la Fuente, B.E., Sánchez, T.B y Katthaim, R. (2000). Rheological properties of the mucilage gum (*Opuntia ficus indica*). *Food Hydrocolloids*, 14 (5). 417-424.
- Torres, R., Ruiz, S. (2012). Fitocosmética y Aromaterapia. Recuperado de: <http://datelobueno.com/wp-content/uploads/2014/05/Fitocosmetica-y-Aromaterapia.pdf>
- United States National Library of Medicine. (2017). Vitaminas. Recuperado de <https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/002399.htm>
- Universidad Nacional del Nordeste. (2003). *Caryophyllidae-Cactaceae*. Guía de Consultas Botánica II, 144-149. Recuperado de: <http://www.biologia.edu.ar/diversidadv/fascIII/5.%20Cactaceae.pdf>.
- Valgreen. (2009). ¿Qué es la fitocosmética?. Recuperado de: <http://www.valgreen.es/blog/%C2%BFque-es-la-fitocosmetica/>.
- Vallespí, R.M. (2013). Introducción a la química de los productos naturales. En Farrán, M.M. y López, G.C (Eds). *Química bioorgánica y productos naturales* (pp.4-5). Madrid: Universidad Nacional de Educación a Distancia.
- Vergara, C.C. (2013). *Extracción y estabilización de betalainas de tuna púrpura (Opuntia ficus-indica) mediante tecnología de membranas y microencapsulación, como colorante alimentario* (Tesis de doctoral). Universidad de Chile, Santiago, Chile.
- Viña, S.Z. (2013). Compuestos Fenólicos. En J. Ringuet, M. Arango, R. Yordaz y C. Henning (Eds). *Productos Naturales Vegetales* (pp. 91-97). La plata: Editorial de la Universidad Nacional de La Plata.
- Von, J.H. y Goldman, I.L. (2000). *The betalains. Natural food colorants*. Nueva York: Basic Symposium Series. Marcel Dekker.
- Yagues, V.G. (2008). Espectroscopía de emisión y absorción atómica. Recuperado de: <https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/8252/4/T7Abasorc.pdf>.
- Yahia, E.M. y Mondragon, C.J. (2011). Nutritional components and anti-oxidant capacity of ten cultivars and lines of cactus pear fruit (*Opuntia spp.*). *Food Research International*, 44 (7), 2311-2318.
- Yahia, E.M., Castellanos, E., Mondragon, C.J. (2010). *Identification and Quantification of Pigments in Prickly Pear Fruit*. Queretano: Universidad Autonoma de Queretaro.

Yúfera, P.E. (2007). *Química orgánica básica y aplicada. De la molécula a la industria*. Tomo II. Barcelona. Editorial Reverté S. A.

7. FIGURAS

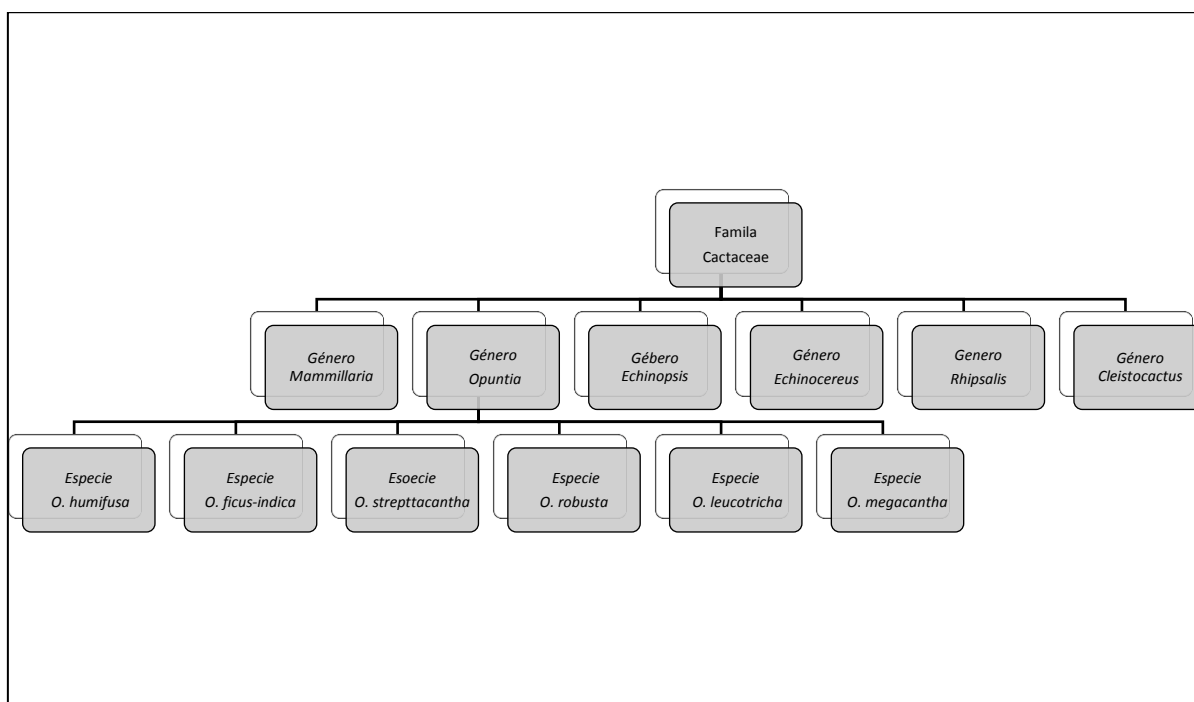


Figura 1. Clasificación de la familia Cactaceae.

Géneros más importantes y especies del género *Opuntia* con mayor interés cosmético (Majure et al., 2012).

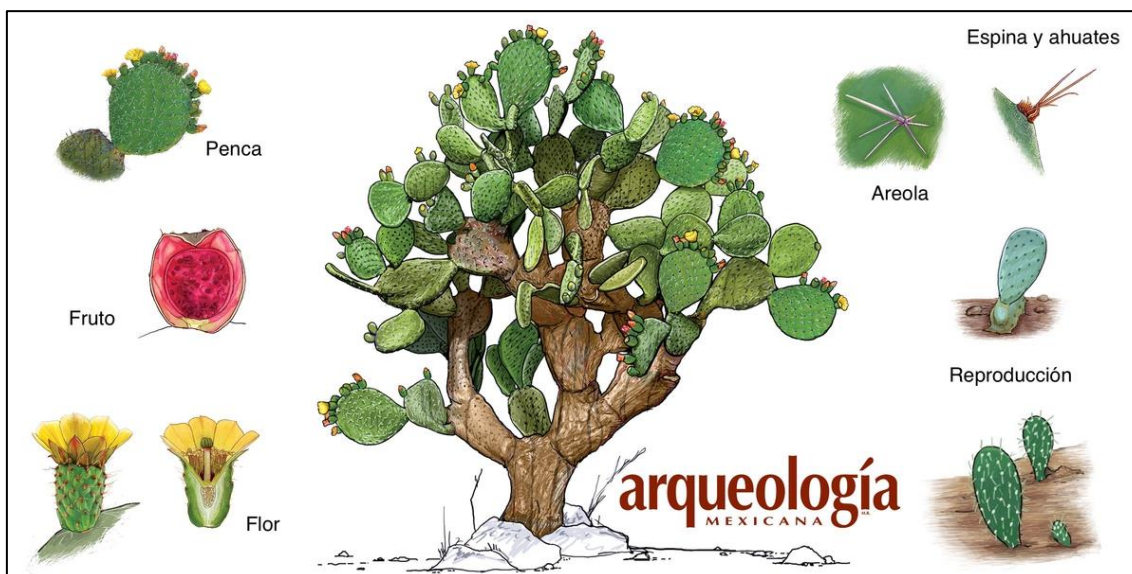


Figura 2. Partes principales de las Opuntias.

Este género se caracteriza por cada segmento plano y elíptico que reciben el nombre de pencas, en sus axilas se encuentran las areolas, las cuales contienen algunas espinas grandes y numerosos gloquidios o ahuates. Las flores brotan de los bordes de las pencas, las mismas que se transforman en el fruto, que contienen gran cantidad de semillas (Manrique, 1988).



Figura 3. *Opuntia humifusa*.

Esta especie presenta pencas o artejos verdes lustroso con pocas espinas, flores amarillas, y frutos rojos. (Universidad Nacional del Nordeste, 2003).

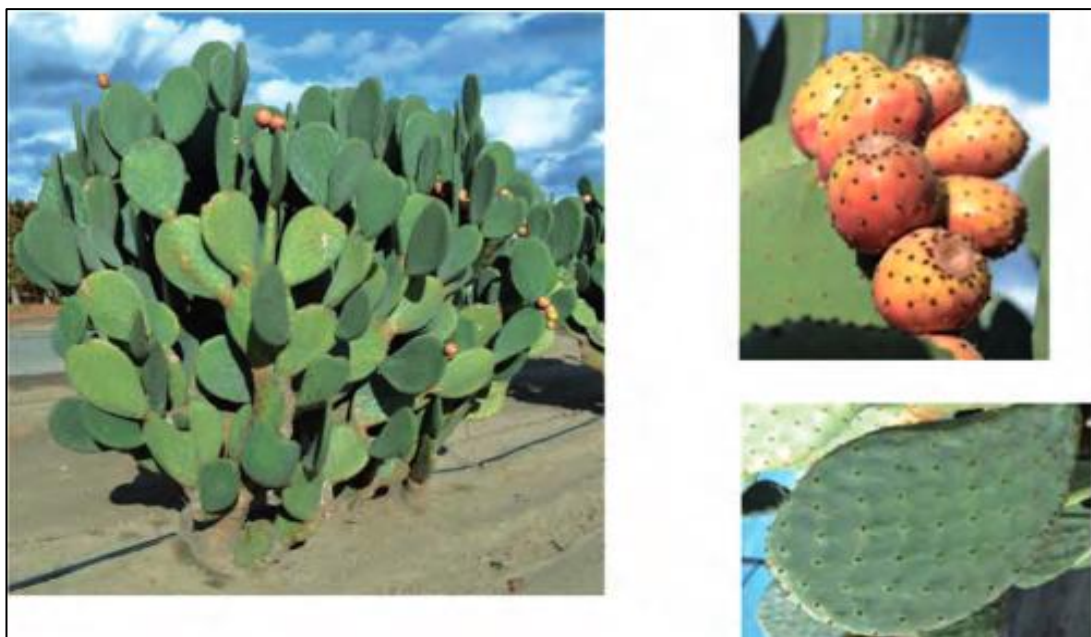


Figura 4. *Opuntia ficus-indica*.

Esta especie más representativa del género, presenta pencas o artejos ovales grandes, con pocas espinas ligeramente blancas. Sus frutos son globosos pequeños. (Nazareno et al., 2012).



Figura 5. *Opuntia streptacantha*.

Sus pencas son ovales grandes con espinas blancas o ligeramente amarillas, sus frutos son rojos carnosos. (Nazareno et al., 2012).



Figura 6. *Opuntia robusta*.

Sus pencas son orbiculares de color ligeramente azul en los medios, con espinas blancas. Sus frutos son globosos purpúreos. (Nazareno et al., 2012).



Figura 7. *Opuntia leucotricha*.

Pencas redondas de color verde claro con espinas largas, flores amarillas y frutos blancos (Consulta plantas, 2015).



Figura 8. *Opuntia megacantha*.

Pencas orbiculares verdes con espinas blancas, flores amarillas intensas, rara vez anaranjadas (García, 2015).

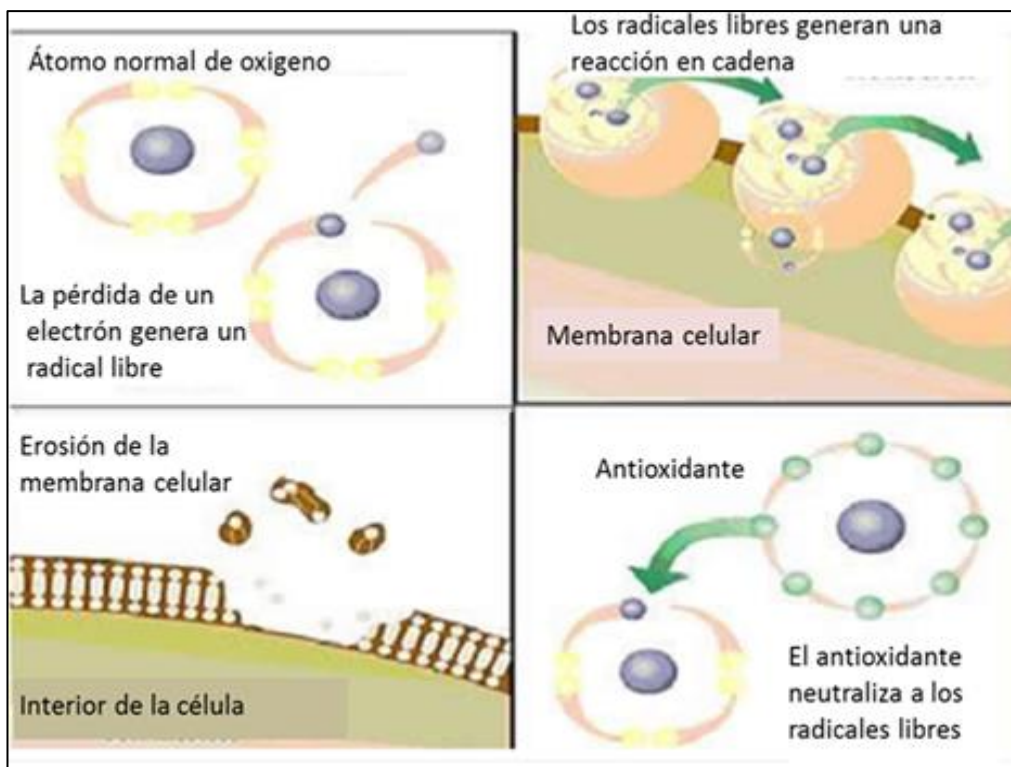


Figura 9. Acción antioxidante.

Los antioxidantes poseen la capacidad para donar un electrón a los radicales libres y detener así la reacción en cadena dañina para el organismo (Aguirre, Zugasti, Belmares, Aguilar y Garza, 2012).

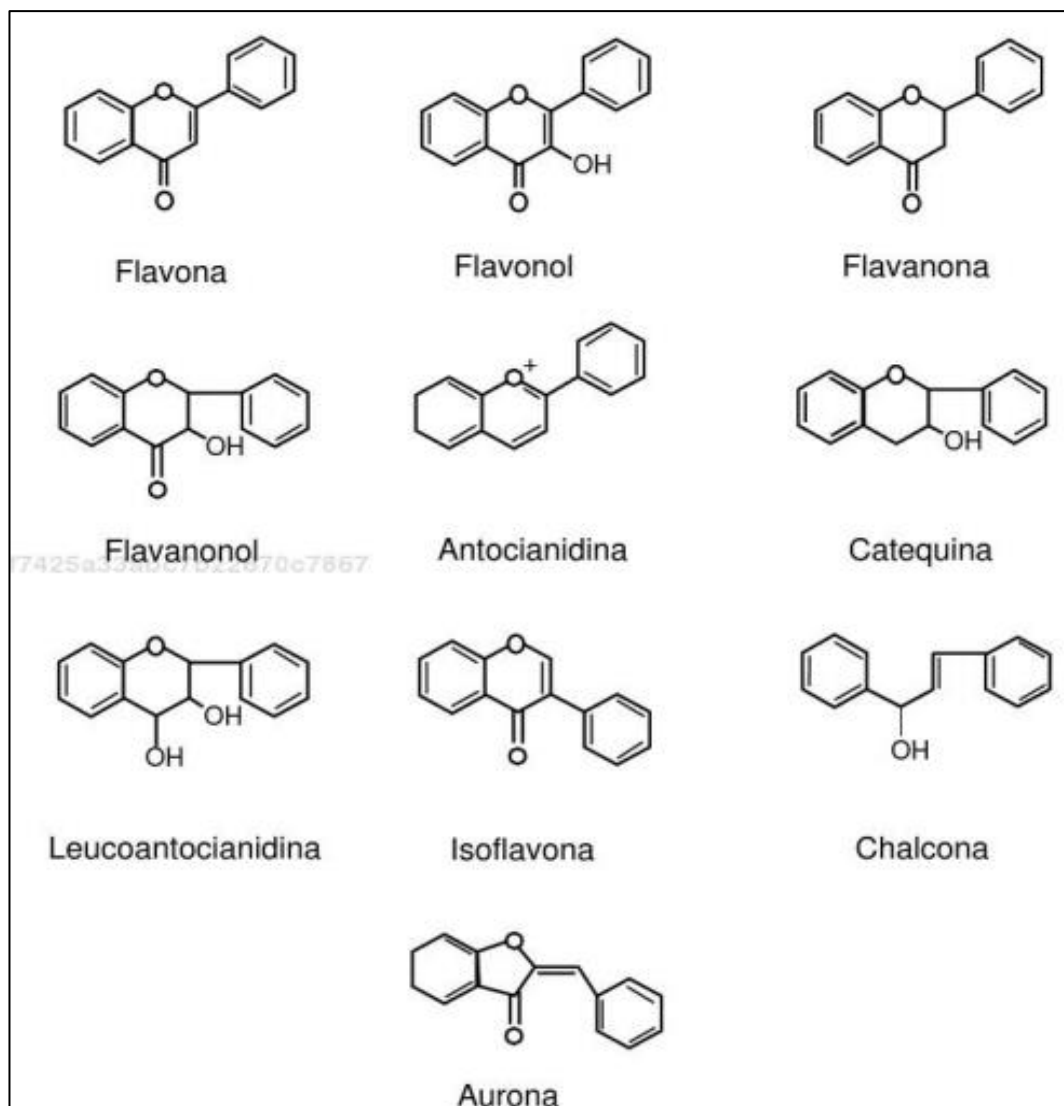


Figura 10. Estructura química de los principales grupos de flavonoides.

Existen diversos tipos de flavonoides y dentro de cada tipo, diferente tipo de hidroxilación (Ferraro, 2015).

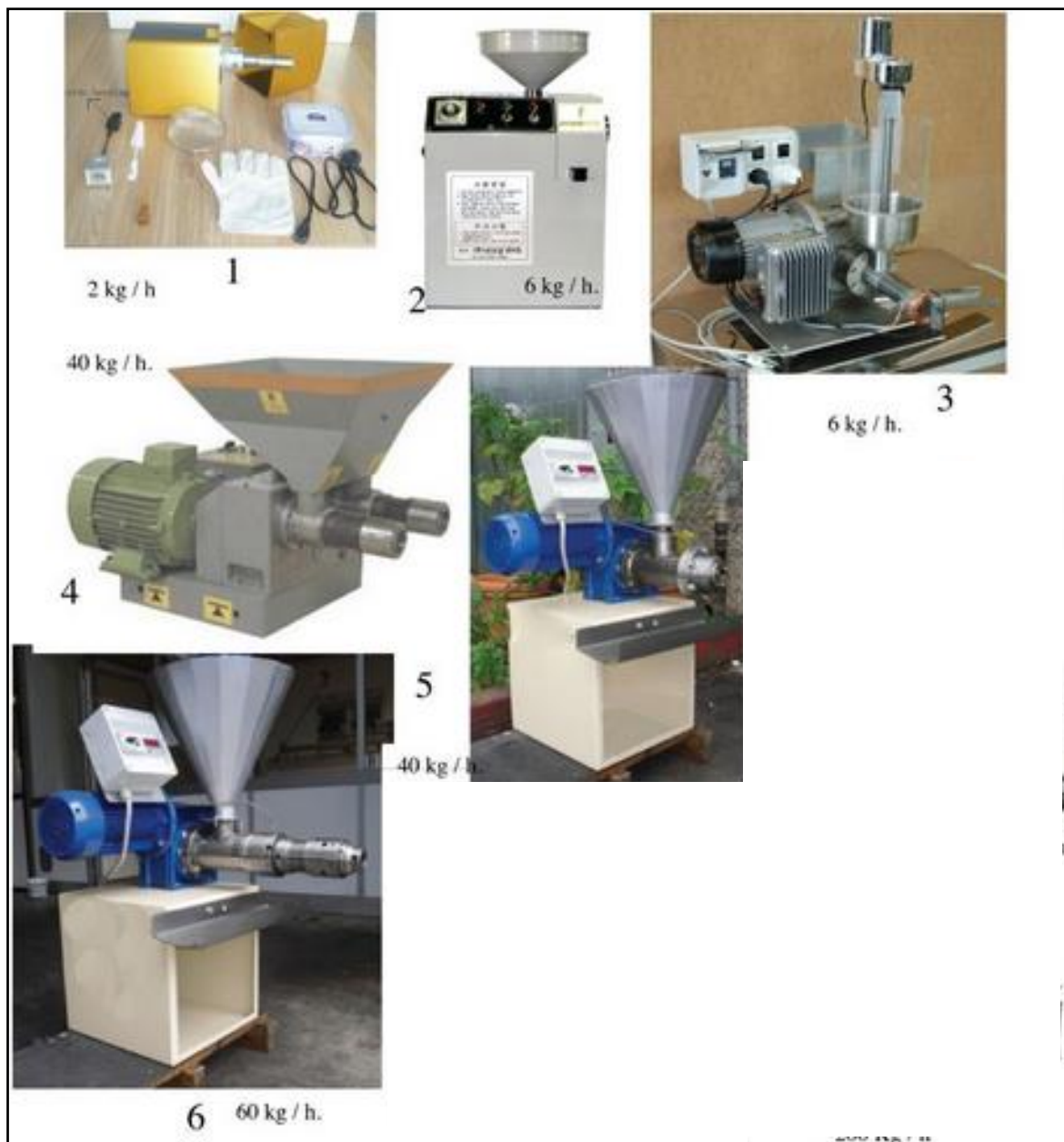


Figura 11. Prensas mecánicas.

Prensas empleadas para extracción a presión en frío de aceites esenciales, prensa 1 tiene capacidad de extracción de muestra de 2 kg/h, prensa 2 y 3 de 6 kg/h, prensa 4 y 5 de 40 kg/h y prensa 6 de 60 kg/h (Prensando en frío, 2002)

8. TABLAS

Tabla 1 Taxonomía de las Cactáceas (Lumbreras et al., 2009).

| | |
|--------------------|----------------|
| Nombre Científico: | Cactaceae |
| Reino: | Plantae |
| División: | Magnoliophyta |
| Clase: | Magniliopsida |
| Orden: | Caryophyllales |
| Familia: | Cactaceae |

Tabla 2 Principios activos de los grupos fitoquímicos presentes en las *Opuntias* (Nazareno et al., 2012).

| Parte de la planta | Grupos Fitoquímicos | Principios activos identificados |
|--------------------|---------------------|--------------------------------------------------------------------|
| Raíces | Flavonoides | |
| Semillas | Lípidos | Poliinsaturados (ácido linoleico) y monoinsaturados (ácido oleico) |
| | Fitosteroles | β -sitosterol |
| | Tocoferoles | γ -tocoferol |
| | Mucílago y pectinas | Polisacáridos |
| | Fibra dietética | Fibra dietética insoluble |
| | Clorofilas | Clorofila a |

| | | |
|---------------------|----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Cladodios o paletas | Minerales | K, Ca, Mg |
| | Flavonoides | Kempherol, glicósidos de quercetina |
| | Compuestos fenólicos | Ácidos gálico, cumárico, 3,4-dihidroxibenzoico, 4-hidroxibenzoico, ferúlico, y salicílico, isoquercetina, isoramnetina-3-O-glucósido, nicotiflorina, narcisina y rutina |
| Flores | Flavonoides | Quercetina, glicósidos de isoramnetina y kaemferol |
| | Betalaínas | Betanina, filocactina |
| Frutas | Polifenoles | Ácido ferúlico, glicósidos de isoramneina |
| | Vitamina C | Ácido ascórbico |
| | Mucílago | |
| | Minerales | K, Ca, Mg |
| | Tocoferoles | α – Tocoferol |
| | Fitosteroles | β – sitosterol |
| | Betalaínas | Betanina, filocactina |
| | Cáscara de la fruta | Lípidos |

Tabla 3 Clasificación de polifenoles de acuerdo al número de átomos de carbono en el esqueleto base (Ferraro, 2015).

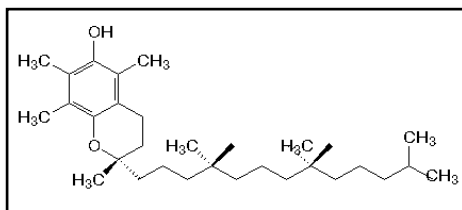
| Átomos de carbono | Esqueleto | Tipo |
|-------------------|-------------------|------------------------------------------------|
| 6 | C_6 | Fenoles simples Benzoquinonas |
| 7 | C_6-C_1 | Ácidos Fenólicos |
| 8 | C_6-C_2 | Derivados de tirosina Ácidos Fenilacéticos |
| 9 | C_6-C_3 | Ácidos cinámicos Fenilpropenos Cumarinas |
| 14 | $C_6-C_2-C_6$ | Estilbenos Antraquinonas |
| 15 | $C_6-C_3-C_6$ | Flavonoides |
| 18 | $(C_6-C_3)_2$ | Lignanós Neolignanós |
| 30 | $(C_6-C_3-C_6)_2$ | Biflavonoides |
| n9 | $(C_6-C_3)_n$ | Ligninas |
| n6 | $(C_6)_n$ | Melaninas catecólicas |
| n15 | $(C_6-C_3-C_6)_n$ | Taninos condensados |

Tabla 4 Principios activos de interés cosmético dentro de los grupos fitoquímicos encontrados en las especies del género *Opuntia* de la familia Cactaceae (Acuña, 2006; Koolman y Heinrich, 2005; Hickey y Saul, 2014).

| Grupo Fitoquímico | Principio activo de interés cosmético | Estructura | Características |
|----------------------|---------------------------------------|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Compuestos fenólicos | Ácido ferúlico | | <p>Está compuesto por tres grupos funcionales: fenol, alqueno y ácido. Tiene carácter alifático, porque le grupo carboxílico no está unido directamente al anillo aromático</p> |
| | Ácido salicílico | | <p>Derivado del benceno constituido por un grupo carboxílico y un hidroxilo.</p> |
| Ácidos grasos | Ácido linoleico (Omega 6) | | <p>Ácido carboxílico con 18 carbonos con dos dobles enlaces.</p> |
| | Ácido oleico (Omega 9) | | <p>Ácido carboxílico con 18 carbonos con un doble enlace.</p> |

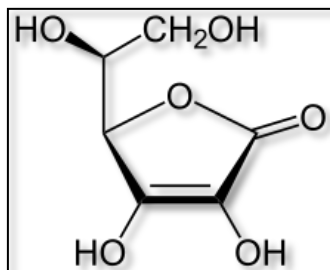
Vitaminas

α -
tocoferol



Su estructura consta de un anillo complejo cromano y una larga cadena lateral

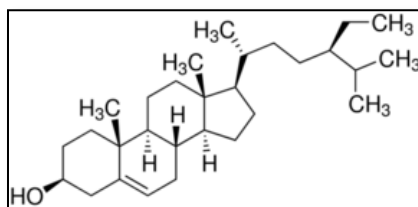
Ácido
ascórbico



Está compuesta de seis átomos de carbono, seis de oxígeno y ocho de hidrógeno enlazados por uniones químicas.

Fitosteroles

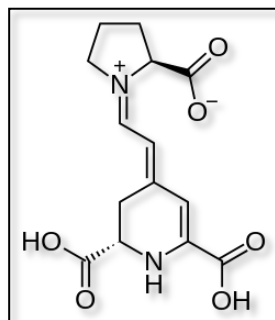
β -sitosterol



Estructura semejante al colesterol, constituida por tres anillos hexagonales y uno pentagonal con cadena lateral de 10 átomos de carbono en el carbono 17 y un grupo hidroxilo en el carbono 3.

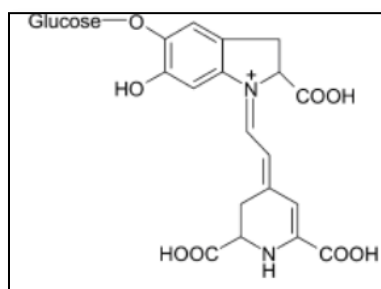
Pigmentos Naturales

Indicaxantina



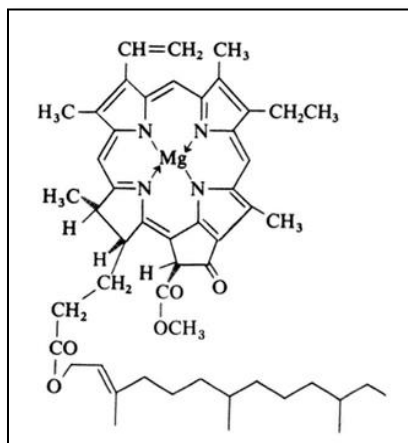
Posee en su estructura ácido betalámico conjugado con prolina.

Betanidin
5-O- β -
glucósido



El ácido betalámico es el núcleo fundamental de la estructura, posee un grupo 3,4 dihidroxifenilalanina

Clorofila a



Es un complejo de magnesio de una hidroporfirina, contiene una cadena de ácido propiónico modificada en β -cetoéster cíclico, una cadena de ácido propiónico esterificada con un alcohol diterpénico, fitol.

Tabla 5 Efecto de los diferentes solventes y métodos de extracción de compuestos fenólicos totales y flavonoides de extractos de las flores de *Opuntia ficus-indica* (Ammar et al., 2015).

| Extractos | Compuestos fenólicos totales (mg GAE/ g extracto) | | Flavonoides totales (mg RE/ g extracto) | |
|-----------------------------|------------------------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------|
| | Extracción por Soxhlet | Extracción por Maceración | Extracción por Soxhlet | Extracción por Maceración |
| Agua (H ₂ O) | 58,7 | 44,2 | 9,7 | 22,47 |
| Metanol (MeOH) | 270,9 | 227,8 | 60,81 | 27,47 |
| Acetonitrilo (ACN) | 132,4 | 17,6 | 19,4 | 3,25 |
| Acetona (ACE) | 67,5 | 70 | 15,29 | 4,6 |
| Acetato de etilo (EtOAc) | 122,3 | 70,8 | 17,65 | 15,75 |
| Diclorometano (DCM) | 10,1 | 14,7 | 1,73 | 8,11 |
| Hexano | 7,5 | 14,8 | No definido (ND) | ND |

Tabla 6 Contenido de compuestos fenólicos en *O. ficus- indica*, *O. robusta* y *O. megacantha* determinados por espectrofotometría UV y HPLC-DAD-MS (Chahdoura, Barreira, Barros, Santos, Ferreira y Achour, 2014; Chougui et al., 2013).

| Especies de <i>Opuntias</i> | Compuestos Fenólicos Principios Activos | | |
|--------------------------------|------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| | Identificados en mayor propoción por NMR | Cuantificados por Espectrofotometría UV* (mg GAE/100 g) | Identificados y cuantificados por HPLC-DAD-MS (µg/ g) |
| <i>O. ficus- indica</i> | Ácido ferúlico | 48 – 89 | 347,7 |
| | Acido salicílico | | 226,2 |
| <i>O. robusta</i> | Ácido ferúlico | ND | 28,9 |
| | Acido salicílico | | 16,3 |
| <i>O. megacantha</i> | ND | ND | 289,39 |

*Los valores expuestos son el promedio de compuestos fenólicos

Tabla 7 Contenido de flavonoides en *O. ficus-indica*, *O. robusta* y *O. megacantha* identificados y cuantificados por HPLC-MS/MS y espectrofotometría UV (Guevara et., 2010).

| Especies de <i>Opuntias</i> | Flavonoides Principios Activos | | |
|--------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| | Identificados en mayor proporción | Identificados y cuantificados por HPLC-MS/MS ($\mu\text{g/g}$) | Cuantificados por espectrofotometría UV (mg QE/100 g)* |
| <i>O. ficus-indica</i> | Isoquercitrina | 396,7 | 1,55 – 2,64 |
| | Isorharmnetin, 3-O glucosido | 322,1 | |
| | Nicotiflorina | 1465,0 | |
| | Rutina | 261,7 | |
| | Narcisina | 1371,0 | |
| | Ferulolilsucrosa isómero 3 | 717 | |
| <i>O. robusta</i> | Isoquercitrina | 106,0 | ND |
| | Isorharmetina, 3-O glucosido | 99,3 | |
| | Nicotiflorina | 910,7 | |

| | | | | |
|----------------------|-----------|--|--------|----|
| | Rutina | | 140,1 | |
| | Narcisina | | 555,9 | |
| <i>O. megacantha</i> | ND | | 289,39 | ND |

*Los valores expuestos son el promedio de flavonoides

Tabla 8 Contenido de ácidos grasos del aceite de semillas de *Opuntia ficus-indica* determinados mediante GC-FID (Chougui et al., 2013).

| Variedades de <i>Opuntia ficus-indica</i> | Ácidos grasos (%) ± 0.1 | | | | | | | Total SFA | Total UFA |
|-------------------------------------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------|------|-----------|-----------|
| | Porcentaje de aceite | Ácido esteárico (C18) | Ácido oleico (C18:1n-9) | Ácido vaccénico (C18: 1n-7) | Ácido linoleico (C18: 2N-6) | Ácido palmítico C16 | | | |
| Amarilla | 9,3 | 3,6 | 20,9 | 0,0 | 63,1 | 13,4 | 16,9 | 83,1 | |
| Verde | 8,4 | 3,5 | 16,3 | 5,3 | 61,8 | 13,1 | 16,6 | 83,5 | |
| Anaranjada | 7,7 | 3,3 | 15,2 | 5,1 | 63,1 | 13,4 | 16,7 | 83,3 | |
| Roja | 7,3 | 4,2 | 24,3 | 0,0 | 58,7 | 12,7 | 16,9 | 83,1 | |

Tabla 9 Contenido de tocoferoles en *Opuntia ficus-indica* determinados por NP-HPLC con detector de longitud de onda variable y HPLC con detector de fluorescencia (Ramadan y Morsel, 2003; Yahia y Mondragon, 2011).

| Tocoferoles | | | | | |
|------------------------------------------------------------------|---------------------|---------------------|-------------------------------------------------------|---------------------|--------------------|
| Principios activos | | | | | |
| NP-HPLC con detector de longitud de onda variable (g/ Kg) | | | HPLC con detector de fluorescencia (µg/ 100 g) | | |
| γ-tocoferol | α- tocoferol | δ -tocoferol | γ-tocoferol | α- tocoferol | δ-tocoferol |
| 0,330 | 0,849 | 4,220 | 2,8 | 53 | ND |

Tabla 10 Contenido de ácido ascórbico en *O. ficus-indica*, *O. robusta*, *O. streptacantha* y *O. megacantha* determinado por HPLC-DAD y HPLC-EC (Yahia y Mondragon, 2011).

| Ácido ascórbico | | |
|----------------------------------|-------------------------------------------------------------|----------------------------|
| Especie de <i>Opuntia</i> | HPLC-DAD ($\mu\text{g}/100\text{ g}$) | HPLC-EC (ng/mg) |
| <i>O. ficus-indica</i> | ND | 138.5 |
| <i>O. robusta</i> | 400 | ND |
| <i>O. streptacantha</i> | 2100 | ND |
| <i>O. megacantha</i> | 1200 | ND |

Tabla 11 Contenido de fitosteroles en las semillas y pulpa del fruto de *Opuntia ficus-indica* determinados por cromatografía de gases con detector de ionización en llama (GC-FID) (Ramadan y Morsel, 2003).

| Fitosteroles Principios Activos | | | | |
|--------------------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|
| Parte del fruto | Campesterol (g/ kg) | Estigmasterol (g/ kg) | Lanosterol (g/ kg) | β- sitosterol (g/ kg) |
| Semillas | 1,66 | 0,30 | 0,28 | 6,75 |
| Pulpa | 8,74 | 0,73 | 0,76 | 11,2 |

Tabla 12 Contenido de betalainas en las especies de *O. ficus-indica* y *O. megacantha* cuantificadas por espectrofotometría UV e identificados y cuantificados por HPLC-DAD-MS (Melgar et al., 2017).

| Especie de Opuntia | Pigmentos naturales | Cuantificados por espectrofotometría UV (µg/g) | Principios Activos | Identificados y Cuantificados por HPLC-DAD-MS (%) |
|---------------------------|----------------------------|-------------------------------------------------------|---------------------------|----------------------------------------------------------|
| <i>O. ficus-indica</i> | | | Muscaaurina | 5,7 |
| | Betaxantinas | 87,70 µg/g | Indicaxantina isomero I | 60,9 |
| | | | Indicaxantina isomero II | 30,1 |
| | Betacianinas | 6,89 µg/g | Betanidin-5-O-β-glucósido | 41,6 |
| | | | Isobetanina | 15,01 |
| | | | Betanidina | 2,13 |
| <i>O. megacantha</i> | Betaxantinas | 84,26 µg/g | | ND |
| | Betacianinas | 6,74 µg/g | | ND |

Tabla 13 Contenido de clorofila total, a y b en *O. ficus-indica*, *O.streptacantha* y *O. robusta* determinados mediante espectrofotometría UV-Vis (Yahia et al., 2010).

| Especies de <i>Opuntias</i> | Clorofila Principios Activos | | |
|--------------------------------|---------------------------------|----------------------------|--------------------------------|
| | Clorofila a (mg/ 100 g) | Clorofila b (mg/ 100 g) | Clorofila total (mg/ 100 g) |
| <i>O. ficus-indica</i> | 5,8 | 2,6 | 8,4 |
| <i>O. streptacantha</i> | 8,6 | 3,9 | 12,5 |
| <i>O. robusta</i> | 10,7 | 4,8 | 15,5 |

Tabla 14 Composición de azúcares en el extracto de mucílago de *Opuntia ficus-indica* identificados y cuantificados por HPLC-IR y HPLC-ED (Torres et al., 2000; Espino et al., 2010)

| Mucílagos | | | |
|-----------------------|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| Composición | Identificación y Cuantificación por HPLC- IR (%) | Identificación y Cuantificación por HPLC- ED (%) | Valores expuestos por Sáenz et al. (2004) (%) |
| L-arabinosa | 44,04 | 5,32 | 24,6 - 42 |
| D-galactosa | 20,23 | 5,71 | 21 – 40,1 |
| D-xilosa | 22,13 | 3,27 | 22- 22,2 |
| L-ramnosa | 7,02 | ND | 7-13,1 |
| D-ácido galacturónico | 6,38 | 0,85 | 8- 12,7 |
| D-glucosa | ND | 32,29 | ND |

Tabla 15 Contenido de minerales en los cladodios y pulpas de *O. ficus-indica*, *O. streptacantha* y *O. megacantha* obtenidos por ICP-MS y AAS (García et al., 2015; Méndez et al., 2015).

| Especies de Opuntias | Minerales | | |
|-------------------------|-------------|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| | Composición | Identificación y Cuantificación por ICP-MS (mg/100 g) | Identificación y Cuantificación por AAS (mg/100 g) |
| <i>O. ficus-indica</i> | K | 2403 ^a | 224 ^b |
| | Ca | 627 ^a | 177 ^b |
| | Na | 63 ^a | 1,71 ^b |
| | P | 0,09 ^a | 16,38 ^b |
| | Fe | 8,6 ^a | 130 ^b |
| | Mn | 13,8 ^a | 780 ^b |
| <i>O. streptacantha</i> | K | 2213 ^a | |
| | Ca | 667 ^a | |
| | Na | 70 ^a | ND |
| | P | 0,09 ^a | |
| | Fe | 2,9 ^a | |
| <i>O. megacantha</i> | Mn | 16,5 ^a | |
| | K | 1960 ^a | |
| <i>O. megacantha</i> | Ca | 683 ^a | ND |

| | |
|----|-------------------|
| Na | 137 ^a |
| P | 0,09 ^a |
| Fe | 5,1 ^a |
| Mn | 13,3 ^a |

^a Valores de minerales encontrados en los cladodios de las diferentes especies de *Opuntias*. ^b Valores de minerales encontrados en las pulpas de *Opuntia ficus-indica*.

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, Ingrid Mabel Cevallos Camacho, con CI 1723032163, autor del trabajo de graduación intitulado: "Técnicas de identificación y cuantificación de los principios activos con potencial uso en el sector cosmético encontrados en las especies del género *Opuntia* de la familia Cactaceae", previa la obtención del grado académico de LICENCIADA EN CIENCIAS QUÍMICAS CON MENCIÓN EN QUÍMICA ANALÍTICA en la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tiene la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, de conformidad con el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador a difundir a través del sitio web de la Biblioteca de la PUCE el referido trabajo de graduación, respetando las políticas de propiedad intelectual de la Universidad.

Quito, 02 de enero del 2018

C.I. 1723032163