

## Potencialidades medicinales de los géneros *Furcraea* y *Agave*

### Medicinal potential of the genera *Furcraea* and *Agave*

Lic. Claudia Sofía Guevara Apráez, Ing. Elkin Javier Vallejo Castillo

Universidad Cooperativa de Colombia.

---

#### RESUMEN

**Introducción:** los géneros *Furcraea* y *Agave* comprenden un gran número de plantas xerófitas que se explotan principalmente en México, Colombia y Brasil. La producción de bebidas, cordeles, sacos, artículos artesanales, alimentación animal, fármacos, biomasa, refuerzo para construcciones, abono y sustrato para cultivos, son solo algunas de las aplicaciones directas de estas plantas. Sus extractos contienen una gran variedad de compuestos químicos muchos de los cuales tienen aplicaciones potenciales en el tratamiento de enfermedades como el cáncer. Entre los compuestos encontrados están las saponinas, hecogeninas, fructanos, celulosa y hemicelulosa.

**Objetivos:** explorar la información publicada sobre los géneros *Furcraea* y *Agave* sus cualidades medicinales y agroindustriales e inferir sus posibilidades futuras de investigación y explotación.

**Métodos:** la búsqueda bibliográfica se realizó en las bases de datos ScienceDirect, SpringerLink, Academic Search Complete (EBSCO) y Redalyc, en los documentos encontrados entre los años de 1995 y 2012, seleccionando aquellos artículos que involucraban la caracterización química de las plantas, usos alternativos y algunos métodos de análisis químico realizados.

**Resultados:** se muestra la información compilada sobre 4 especies del género *Furcraea* y 9 especies del género *Agave*. Algunas de las especies analizadas poseen saponinas, compuestos químicos con uso potencial en el tratamiento de cáncer. También se reporta la presencia de carbohidratos libres como glucosa y fructosa y poliméricos como los fructanos, estos últimos se clasifican como prebióticos. La celulosa, hemicelulosa y lignina que conforman la fibra principalmente de las hojas de las plantas, pueden emplearse como quelantes de origen biológico.

**Conclusiones:** las plantas de los géneros *Furcraea* y *Agave*, consideradas en esta revisión, poseen sustancias químicas que pueden ser útiles en diversos campos médicos e industriales, aunque algunas especies no se han estudiado exhaustivamente.

**Palabras clave:** *Agavaceae*, *Furcraea*, maguey, cabuya, fique, sisal, caracterización, subproductos.

---

## ABSTRACT

**Introduction:** the genera *Furcraea* and *Agave* comprise a large number of xerophytic plants which are exploited mainly in Mexico, Colombia and Brazil to obtain beverages, twine, sacks, handicrafts, animal feed, pharmaceuticals, biomass, construction reinforcements, fertilizers and cultivation substratum, among other direct uses. Their extracts contain a great variety of chemical compounds, many of which have potential applications in the treatment of diseases such as cancer. Among such compounds are saponins, hecogenins, fructans, cellulose and hemicellulose.

**Objectives:** explore the information published about the genera *Furcraea* and *Agave* and their medicinal and agroindustrial properties, and infer their future research and exploitation possibilities.

**Methods:** a bibliographic search was conducted in the databases ScienceDirect, SpringerLink, AcademicSearch Complete (EBSCO) and Redalyc of documents published from 1995 to 2012. A selection was made of papers including the chemical characterization of the plants, their alternative uses and the methods of chemical analysis employed.

**Results:** a presentation is provided of the information gathered about 4 species of the genus *Furcraea* and 9 of the genus *Agave*. Some of the species analyzed contain saponins, which are chemical compounds potentially useful in the treatment of cancer. A report is included of the presence of free carbohydrates, such as glucose and fructose, and polymeric carbohydrates like fructanes. The latter are classified as prebiotic. Cellulose, hemicellulose and lignin, which constitute the fiber mainly of leaves, may be used as chelating agents of biological origin.

**Conclusions:** plants of the genera *Furcraea* and *Agave*, considered in this review, contain chemical substances potentially useful in a variety of medical and industrial fields, though some species have not been studied exhaustively.

**Key words:** *Agavaceae*, *Furcraea*, maguey, cabuya, pita fiber, sisal, characterization, byproducts.

---

## INTRODUCCIÓN

La subfamilia *Agavoideae* se divide en siete géneros: *Agave*, *Furcraea*, *Hesperaloë*, *Manfreda*, *Phormium*, *Polianthes* y *Yucca* y las 273 especies descritas de toda la subfamilia, están distribuidas en el continente Americano desde Dakota del Norte, E.U.A. hasta Bolivia y Paraguay.<sup>1</sup> Desde la época de la colonia la penca de maguey

---

era conocida como "el árbol de las maravillas" por la gran cantidad de usos y productos obtenidos de esta planta.<sup>2</sup> En la actualidad este calificativo aplica a toda la subfamilia de las *Agavoideae* ya que diferentes estudios demuestran que producen una gran variedad de sustancias químicas y productos aprovechables.

Uno de los géneros más estudiado es el *Agave*, del cual se obtiene los conocidos licores tequila y mezcal<sup>3</sup> representativos de México, cuyos procesos productivos generan residuos aprovechados, por ejemplo, como alternativa para la producción de energía renovable. La energía obtenida según Chaves *et al.*<sup>4</sup> presenta varias ventajas al proceder de un residuo industrial su costo de fabricación es bajo y su cultivo no requiere de mucha agua, pues la especie es xerófita, crece en zonas áridas y en condiciones climáticas extremas. Además, su residuo sólido, el bagazo, que se impregna de alcoholes producidos durante el proceso de obtención de licor incrementa la eficiencia de la biomasa como combustible sólido o como sustrato para la producción de gas.<sup>5</sup> Se ha estudiado también su utilización en otras aplicaciones industriales, tales como: material de refuerzo para matrices poliméricas,<sup>6</sup> componente de placas para reforzar las construcciones y evitar el ataque por termitas<sup>7</sup> y se estima su posible uso como sustrato en la producción de hortalizas en invernadero.<sup>8</sup>

Otras investigaciones ponen de manifiesto el potencial que tiene el *Agave sisalana* Perrine ex Engelm en la gestión sostenible para conservar los hábitats forestales,<sup>9</sup> además de la utilización del ensilado como recurso potencial en la alimentación de rumiantes donde se puede utilizar los subproductos como aditivo voluminoso en los ensilajes para la alimentación de bovinos,<sup>10</sup> que además de los componentes nutricionales que aporta, es capaz de ejercer una acción antimicrobiana<sup>11</sup> y antiparasitaria en el ganado caprino.<sup>12,13</sup> El consumo del agua de cocción de la raíz del *Agave americana* L. es considerada por indígenas peruanos como una alternativa para purificar la sangre, empleando extractos de plantas para el tratamiento de sus enfermedades.<sup>14</sup> También se ha analizado el consumo de aguamiel inocuo extraído del *Agave salmiana* var. *ferox* Gentry como complemento nutricional para conejos, y se ha demostrado que este producto representa una opción importante como nutraceutico,<sup>15</sup> en los rumiantes alimentado con silos producidos a partir de esta planta, se genera una buena retención de nitrógeno sin diferencias nutricionales significativas asociadas a la edad de la planta.<sup>16</sup>

En Colombia se cultiva el fique, planta de la subfamilia *Agavoideae*, género *Furcraea* y de las especies *macrophylla*, *castilla*, *cabuya*, *foetida*, *selloa*, pero a diferencia de las plantas ya mencionadas, su utilidad comercial se limita a la extracción de la fibra obtenida de la hoja para la producción de cordeles, sacos y artículos artesanales,<sup>17</sup> los componentes químicos que se encuentran en las hojas y la base (piña) de estas plantas, se desechan en los terrenos y fuentes de agua aledaños.

En México, el éxito comercial de sus licores ha promovido la investigación de la especie *Agave tequilana* F.A.C. Weber, encontrándose varias sustancias de interés científico y comercial en sus extractos. Esta información es clave para direccionar nuevas investigaciones que permitan la explotación más eficiente y rentable de estas plantas, además de la valoración de sus potencialidades. Los diversos usos reportados son una evidencia de la heterogeneidad de compuestos químicos que estas plantas producen y almacenan en sus hojas y tallos.

En este documento se pretende explorar la diversidad de sustancias químicas y usos derivados de las plantas de los géneros *Agave* y *Furcraea*. Inicialmente se presenta el método de búsqueda y clasificación de los artículos encontrados, posteriormente se presentan los resultados obtenidos, clasificados de acuerdo al tipo de planta, finalmente, las conclusiones y perspectivas futuras.

## MÉTODOS

Se realizó una búsqueda en las bases de datos ScienceDirect, SpringerLink, Academic Search Complete (EBSCO) y Redalyc revisando documentos científicos publicados entre los años de 1995 y 2012, de los que se seleccionaron aquellos artículos que involucran la caracterización química de las plantas, usos alternativos y algunos métodos químicos de análisis. La búsqueda contempló el uso de palabras clave como *Furcraea*, *Agave*, fructanos, inulinas, caracterización y composición química, metabolitos, entre otras.

## RESULTADOS

Las plantas de estos géneros se clasifican como xerófitas que se han adaptado para sobrevivir en ambientes desérticos, con suelos con bajo contenido nutricional, incidencia directa de viento seco y luz solar abundante. Una adaptación común es la reducción de área superficial, produciendo hojas suculentas compactadas en la base (piña), evitando la generación de tallos y ramificaciones, lo que favorece adicionalmente que la condensación y la lluvia sea dirigida hacia las raíces.<sup>18</sup> También almacenan agua en sus hojas y en la base, modifican su proceso fotosintético, evidenciando el Metabolismo Ácido de las Crasuláceas (CAM) y el almacenamiento prolongado de moléculas energéticas como oligo y polisacáridos. A continuación se presentan algunos estudios realizados sobre estas plantas:

### *Furcraea macrophylla* Baker

Esta especie originaria de Colombia es una de la más ampliamente cultivada para la producción de fibra de fique<sup>19</sup> se desconoce su caracterización química o fitoquímica precisa, encontrándose tan sólo algunos reportes de la relación del medio ambiente y el crecimiento de sus hojas y su potencial uso como bioherbicida, lo cual se resume a continuación.

Se estudió el crecimiento foliar y radicular de esta planta cultivada en Tunja, Colombia, cuando el suelo es sometido a encharcamiento.<sup>20</sup> El encharcamiento del suelo, conlleva principalmente a un incremento del pH, en aproximadamente 1,4 unidades (de 5 a 6.4). Esta especie, en particular evidenció una disminución de la formación de la materia seca en un 48 %, concluyendo que esta planta no se adapta adecuadamente al exceso de agua en el suelo, y adicionalmente, bajo esta condición, se perjudica la producción de fibra por hoja, aunque incrementa el metabolismo interno de la planta, favoreciendo posiblemente la concentración de compuestos químicos. Casierra-Posada y González estudiaron la acidez titulable y el pH del extracto de las hojas de esta planta cada hora durante un día completo, concluyéndose que esta especie presenta el Metabolismo Ácido de las Crasuláceas (CAM), por lo tanto acumula ácidos carboxílicos en la noche. Por otro lado, el incremento en salinidad del suelo también reduce la formación de materia seca, entendiéndose esta como las fibras formadas por celulosa, hemicelulosa y lignina en la dirección longitudinal de las hojas.<sup>21,22</sup>

En el bagazo, residuo sólidos producido en la extracción de la fibra, se cuantificó entre el 0,18 y 0,45 % de al menos dos tipos de sapogeninas, para ello se empleó el método de extracción semicontinua con solvente líquido, Soxhlet, con separación por cromatografía de columna e hidrólisis de saponinas.<sup>23</sup>

Osorio *et al.*, también utilizaron el método Soxhlet empleando etanol y cloroformo como solventes para la obtención de extractos puros y determinar su eficacia en el control de la germinación de las plantas: *Coriandrum sativum* L. (cilantro), *Bidens pilosa* L. (papunga), *Amaranthus dubius* Mart (bledo). De esta investigación se concluye que la planta produce sustancias con efecto fitotóxico, particularmente metabolitos polares, probablemente saponinas y cumarinas, que las convierten en potenciales bioherbicidas.<sup>24</sup>

#### ***Furcraea castilla***

Al igual que la especie analizada anteriormente, no se conoce su caracterización fitoquímica precisa, por lo tanto se presenta a continuación la información relacionada con su cultivo. Casierra-Posada y González evaluaron el efecto del encharcamiento en la formación de materia seca, encontrando una reducción de un 32 %, esto se traduce en una mejor adaptación frente que la *F. macrophylla* pero en términos generales, se reconoce que esta condición no es apropiada para el cultivo enfocado en la producción de fibra.<sup>20</sup> Casierra-Posada y González igualmente determinan que esta planta presenta un comportamiento CAM, similar a la especie *F. macrophylla*<sup>21</sup> y que la salinidad del suelo afecta negativamente la formación de materia seca.<sup>22</sup>

#### ***Furcraea cabuya* Trel**

Esta es otra especie cultivada en Colombia para la producción de fibra enfocada básicamente a la fabricación de artesanías.<sup>17</sup> Se estudió el comportamiento como respuesta a un incremento en la salinidad del suelo, concluyéndose que se disminuye la formación de materia seca.<sup>22</sup> Se investigó también, el efecto sobre algunas propiedades del hormigón fresco y endurecido del subproducto del beneficio de esta especie, utilizado como aditivo orgánico, demostrándose que este jugo actúa como surfactante en el hormigón, formando pequeños poros que disminuyen la densidad de la mezcla y mejoran la durabilidad del hormigón endurecido.<sup>25</sup>

#### ***Furcraea foetida* (L.) Haw**

Las hojas de esta planta se recolectaron en Khon Kaen, Tailandia, se realizó un proceso de secado, extracción con metanol como solvente, precipitando con acetona y purificación en una columna de gel. La molécula encontrada es la furcraestatina, una saponina esteroideal que disminuye la viabilidad de la mutación del gen p53, siendo una molécula con potencial para el tratamiento del cáncer, evitando la proliferación de células anormales. La caracterización estructural y química de esta molécula se realizó mediante el uso del aparato de Yanagimoto para la determinación de los puntos de fusión, los espectros de Rayos Ultravioleta (RUV) y rayos infrarrojos (RI), para definir las rotaciones ópticas y el Espectrómetro de Masas (EM) y Resonancia Magnética Nuclear (NMR) para describir la estructura química.<sup>26</sup>

#### ***Furcraea selloa* K. Koch**

De la variedad *marginata*, proveniente de la Universidad Drive, Saint Michel, Barbados, se extrajo de las hojas un líquido viscoso, empleando metanol como solvente y se fraccionó usando cromatografía flash de columna, con esto se aisló cuatro saponinas esteroideas, entre las que se identificó una saponina de furostanol (furcreafurostatina) y tres saponinas de espirostanol. Para determinar las estructuras químicas de estas sustancias se realizaron técnicas espectroscópicas combinadas de Resonancia Magnética Nuclear.<sup>27</sup>

### **A. sisalana**

De esta planta originaria de Yucatán, México, se extrae comercialmente el sisal, un material duro y fibroso con el que se producen cordeles, sacos, alfombras y otros productos artesanales.<sup>28,29</sup> En cuanto a la composición química de la fibra de sisal, se ha determinado que las fibras de la planta cultivada en Brasil tienen 75,2 % de celulosa, 13,9 % de hemicelulosa, 8 % de lignina y 0,87 % de ceniza.<sup>30</sup>

Los compuestos característicos de la fibra presentan cualidades químicas adecuadas para la absorción de iones metálicos. Dos Santos *et al.*, analizaron las isotermas de Freundlich para evaluar el comportamiento de la absorción frente a los iones Pb (II) y Cd (II) utilizando como fase sólida la fibra de *A. sisalana*. La superficie de adsorción calculada de 0,0233 m<sup>2</sup>/g demuestra que esta fase sólida puede ser utilizada como bioadsorbente de cadmio y plomo en aguas naturales contaminadas.<sup>31</sup>

A través de Cromatografía de Gases (GC) y Espectrometría de Masas (MS), se analizaron los extractos lipofílicos obtenidos de plantas de sisal. Los compuestos lipídicos más abundantes encontrados son los ácidos grasos (30 % de los lípidos totales) incluyendo los hidroxiácidos grasos, alcoholes grasos (20 %), esteroides libres (11 %), alcanos (11 %) y una serie de ésteres de ácido ferúlico, alcoholes de cadena larga, e hidroxiácidos grasos (10 %). Adicionalmente, los hidrocarburos y cetonas esteroidales, monoglicéridos, aldehídos, ceras, esteroides y glucósidos también se encontraron junto con pequeñas cantidades de diglicéridos, y ésteres de esteroides.<sup>28</sup>

El fraccionamiento en cromatografía de columna de un extracto etanólico obtenido del residuo líquido de *A. sisalana* dio como resultado el aislamiento de D-manitol. La elucidación estructural de este compuesto así como un derivado acetilado se determinó a través del punto de fusión, actividad óptica en solución de bórax, espectroscopía IR, Espectroscopía de Masas con Ionización Química a Presión Atmosférica (APCI-MS) y NMR 1D y 2D. El D-manitol presente en los residuos de la biomasa puede ser utilizado en la industria farmacéutica y como materia prima para la producción de varios tipos de polímeros.<sup>32</sup>

También se realizó la caracterización estructural de un heteroxilano, sustancia obtenida por extracción química del extracto de las hojas de la planta y analizada mediante NMR, esta sustancia es empleada para la producción de papel en Kenia (África) y se encontró que fracciones de esta sustancia sobreviven aún después de los tratamientos químicos realizados para el blanqueo de la pulpa.<sup>33</sup>

### **A. tequilana**

Esta planta tiene un gran interés en México puesto que de ella se produce el tequila. La variedad *azul* es la que tradicionalmente se asocia con este licor, acumula en sus hojas mayores niveles de fructanos que se fermentan para producir el alcohol del tequila. Gil-Vega *et al.* propone la utilización de variedades genéticamente cercanas a la variedad *azul*, como la variedad *manso*, para la producción de tequila, ya que no presentan espinas y puede resultar mucho más fácil su manipulación durante la cosecha y procesamiento.<sup>34</sup>

Los fructanos son los principales polisacáridos de almacenamiento encontrados en las especies de *Agave*, a través de su hidrólisis ácida térmica controlada es posible producir una mezcla de prebióticos, oligosacáridos funcionales con poder edulcorante. Cortés-Romero *et al.* introdujeron el término *Fructosa Equivalente* (FE)

como parámetro análogo al Equivalente de Dextrosa (DE) utilizado en la industria del almidón con el objetivo de caracterizar la hidrólisis de fructanos, encontrando una producción máxima de oligosacáridos cuando la FE alcanzó valores entre 27 - 48, este análisis se realizó por Cromatografía de Intercambio Aniónico HPAEC-PAD.<sup>35</sup>

Estos fructooligosacáridos se pueden emplear como edulcorantes no hiperglucemiantes y por lo tanto es fundamental eliminar los residuos de glucosa y fructosa que pueden acompañarlos. Avila-Fernández *et al.* propone la purificación biológica de fructooligosacáridos (FOS) empleando *Pichia pastoris* para consumir selectivamente la glucosa y la fructosa, este proceso se desarrolló después de la hidrólisis ácida del extracto obtenido de la base de la planta y permite refinar los FOS.<sup>36</sup>

Los fructanos encontrados en las hojas de la planta se caracterizaron mediante cromatografía de capa delgada de alto desempeño (HP-TLC), Espinosa-Andrews y Urías-Silvas, encontraron que son una mezcla compleja de mono, di y polisacáridos y determinaron mediante una Exploración Calorimétrica Diferencial Modulada, que la descomposición térmica de los fructanos es alrededor de los 200 °C. En esta misma investigación se calcula la actividad de agua ( $a_w$ ) del material en polvo, rico en fructanos obtenido de las hojas de esta planta y se concluye que para garantizar que se mantengan sus características de sólido amorfo en polvo, la  $a_w$  no debe superar 0,4.<sup>37</sup> El material en polvo rico en fructanos, se puede emplear como ingrediente para el enriquecimiento de lácteos y productos de panadería.

La edad de la planta es un factor que modifica el contenido y el tipo de carbohidratos hidrosolubles. Arrizon *et al.* investigaron plantas de *A. tequilana* de 2, 4 y 6 años empleando HPLC, HPAEC-PAD, Espectrometría de Masas con ionización suave y tiempo de vuelo (MALDI-TOF-MS) y Cromatografía de Gases - Espectrometría de Masas (GC-MS). Las plantas de 2 años muestran niveles más altos de monosacáridos libres y fructanos de bajo peso molecular, con índices de polimerización media de 3 y 6, los cuales pueden tener aplicación potencial como prebióticos. Las plantas de 4 años exhiben mayor polimerización de fructanos con un índice entre 3 a 30 y las plantas de 6 años entre 4 a 24 unidades.<sup>38</sup>

Además de los usos directos de las hojas de la planta, también es común usar los residuos generados después de la extracción del alcohol. Iñiguez-Covarrubias, Lange y Rowell utilizaron el bagazo de *A. tequilana* como una opción para la alimentación animal sustituyendo el residuo del maíz empleado tradicionalmente, encontrando un incremento significativo en el peso de las ovejas evaluadas.<sup>39</sup>

El bagazo también posee la capacidad de absorber iones metálicos, Romero *et al.* evaluaron la capacidad para adsorción de Pb(II), encontrando que el mejor porcentaje de adsorción ( $105,52 \cdot 10^{-2} \text{ moles} \cdot \text{g}^{-1}$ ) se logra a un pH de 5,0 y 298 K.<sup>40</sup> Esto lo convierte en un candidato aceptable para la absorción de estos iones a temperatura ambiente.

### ***Agave lecheguilla* Torr**

El *A. lecheguilla* se encuentran entre los productos forestales no madereros que son una fuente importante de ingresos para los habitantes de las regiones áridas y semi-áridas de México<sup>41</sup>. Juárez *et al.* reforzaron el cemento "portland" con fibras de *A. lecheguilla* obteniendo un incremento en la resistencia a la tracción en comparación con el cemento sin reforzar.<sup>42</sup>

Al igual que la materia seca del *A. tequilana*, las fibras de *A. lecheguilla* poseen capacidad de absorción de iones metálicos. La absorción de iones Cr (VI) se evaluó

en fibras secas y molidas, los resultados obtenidos por Romero-González *et al.* demuestran que son una alternativa renovable para retirar este elemento altamente contaminante de las aguas residuales industriales. Con base en el análisis de las constantes de distribución y la ecuación de Dubinin-Radushkevick, se sugiere que una porción de Cr(VI) puede estar unida a grupos funcionales en la superficie de la biomasa adsorbente y que luego puede ser reducida a Cr(III) con lo que se reduce la toxicidad del cromo.<sup>43</sup> Adicionalmente se demostró mediante los modelos de Freundlich y Langmuir, que el *A. lecheguilla* es eficaz para la eliminación de Cr(III) en solución acuosa, el enlace de Cr (III) interactúa con grupos funcionales tales como el carboxilo presentes en la superficie exterior del tejido celular del bioadsorbente.<sup>44</sup>

### ***A. americana***

Ben Hamissa *et al.* optimizaron el proceso de extracción de polifenoles y flavonoides provenientes del *A. americana*, utilizando un reactor de alta presión PARR quienes además determinaron la actividad antioxidante de estos compuestos analizando el radical DDPH.<sup>45</sup> En los extractos del *A. americana* y *Agave barbadensis* Trel. cosechadas en Barbados, se identificaron nuevas moléculas *homoisoflavonoides*. Tinto *et al.* emplearon los espectros IR, UV y NMR para caracterizar estas sustancias que se encuentran en porcentajes relativamente bajos, concluyendo que es necesario ampliar la investigación para determinar los posibles usos de estos compuestos.<sup>46</sup> En contraposición con los efectos benéficos de los antioxidantes, se encontró que el contacto de los líquidos provenientes de esta planta producen Dermatitis Púrpura del *Agave*, que es una enfermedad de la piel que se manifiesta como una vasculitis leucocitoclástica caracterizada por la inflamación de los vasos sanguíneos de pequeño tamaño y el fraccionamiento de neutrófilos.<sup>47</sup>

Esta planta también es un bio-absorbente de Cd (II) y Pb (II) con una capacidad máxima de absorción de 40 mg de plomo y de 12,5 mg de cadmio por cada gramo de la fibra a un pH superior a 2,6. El estudio se realizó sobre la fibra del *A. americana* recolectada en Sousse, Túnez. Por otro lado, Hamissa *et al.* afirman que la presencia de saponinas esteroidales tales como yuccagenina y ruizgenina, incrementan la actividad quelante de esta planta convirtiéndose en una alternativa para la remoción de metales pesados tales como Cr, Cd, Cu, Pb, y Zn.<sup>48</sup>

Las fibras insolubles de la planta que se componen de celulosa, hemicelulosa y lignina, se proponen como refuerzo de materiales compuestos, aprovechando sus propiedades mecánicas y baja densidad, sin embargo las investigaciones buscan aumentar su resistencia a la humedad y mejorar la adherencia entre la fibra y una matriz polimérica;<sup>49</sup> para lograrlo, se han sometido las fibras a diferentes tratamientos químicos que modifican sus características superficiales, demostrándose a través de la interpretación de las isotermas de absorción de agua, que las fibras mejoran su resistencia a la humedad al tratarse con ácido acético anhidro, ácido acrílico y estireno,<sup>50</sup> alternativamente también se evalúa el uso de hipoclorito de sodio e hidróxido de sodio.<sup>51</sup>

### ***Agave fourcroydes* Lem**

Los extractos de esta especie cultivada en Tailandia, se solubilizaron en n-butanol, evidenciando citotoxicidad contra las células HeLa. Ohtsuki *et al.* realizaron separación de componentes por Cromatografía en Columna y purificación final por HPLC, encontrando 5 saponinas esteroidales, una de las cuales es una *clorogenina* que no se había reportado con anterioridad cuya estructura se analizó mediante (NMR).<sup>52</sup>

Por otro lado, García *et al.* afirman que el *A. fourcroydes* representa una alternativa como fuente de fructanos que podrían usarse como prebióticos en la alimentación de animales y del hombre. A esta conclusión llegaron al determinar la cantidad de glucosa, fructosa, sacarosa, fructanos y almidón en hojas apicales e intermedias de plantas cultivadas en Matanzas, Cuba.<sup>53</sup> Igualmente la fermentación de estas sustancias hacen de esta planta una alternativa viable para la producción de etanol, de acuerdo con el análisis realizado por Cáceres-Farfán *et al.*, quienes emplearon mezclas de bacterias para la fermentación alcohólica.<sup>54</sup>

### ***Agave utahensis* Engelm**

Esta especie se caracterizó fitoquímicamente a partir de muestras de hojas provenientes de un centro de jardinería japonés, encontrándose saponinas muy poco comunes y que de acuerdo con Yokosuka y Mimaki, sólo se han encontrado en *Solanum lyratum*, una planta solanácea originaria del Japón. La extracción de las sustancias de interés se realizó mediante la disolución en metanol, la separación en CC y la caracterización mediante NMR. En este estudio también se evaluó la citotoxicidad de dichos compuestos, concluyéndose que sólo cuatro de ellos son moderadamente tóxicos contra células de leucemia promielocítica humana de HL-60s.<sup>55</sup>

### ***Agave mapisaga* Trel**

A partir de los tallos del *A. mapisaga*, planta empleada para la producción de *aguamiel* o pulque, originaria de Puebla México, se logró aislar y caracterizar por cromatografía de exclusión por tamaño, un pequeño polisacárido péptico, el *ramnogalacturonano II*, que de acuerdo con los autores, no se ha determinado su función específica en el pulque, pero de forma similar que en el vino, se valora por poseer doce tipos de monosacáridos poco comunes en una molécula con un grado de polimerización relativamente débil (30 residuos en total). Para su extracción, se sometieron los restos del tallo a licuefacción enzimática y se compararon los resultados cromatográficos con muestras de vino.<sup>56</sup>

### ***Agave macroacantha* Zucc**

Las hojas de esta planta se obtuvieron del Jardín Botánico Público de El-Omar, en Giza, Egipto en ellas se encontró una nueva saponina monodesmosídica de espirostanol. Se determina la estructura mediante una combinación de técnicas NMR de 1D y 2D y MS. La extracción y aislamiento de las saponinas encontradas se realizó secando las hojas de la planta y posteriormente empleando metanol como solvente, precipitando las saponinas con acetona y eliminando los azúcares libres mediante el uso de una resina porosa de intercambio iónico. Dos de las saponinas encontradas se habían reportado anteriormente como componentes del *A. americana*, *Agave cantala*, y *Hosta longipes*, pero una de ellas no se había aislado previamente. Estas saponinas, pueden emplearse como precursores de hormonas esteroideas artificiales, como las empleadas para la producción de anticonceptivos.<sup>57</sup>

### ***Agave brittoniana* subsp. *brachypus* (Trel.) A. Álvarez**

Las hojas secas y pulverizadas de esta planta recolectadas en la zona de Cubanacán, Santa Clara, Cuba, se sometieron a un proceso de extracción con metanol y n-butanol, el producto obtenido se separó mediante cromatografía de capa fina y las sustancias predominantes fueron analizadas por NMR para establecer y confirmar su estructura. El estudio ratifica la actividad antiparasitaria sobre la *Tricomona vaginalis* de dos de las saponinas de esta planta, la *diosgenina* y *yucagenina*. Estas moléculas presentan una actividad antibiótica moderada comparadas con el medicamento de uso común, metronidazol.<sup>58</sup>

## CONCLUSIONES

Los géneros *Agave* y *Furcraea* comprenden un gran número de plantas diseminadas alrededor del mundo particularmente en las regiones tropicales y subtropicales. El interés investigativo se encuentra centralizado en México y Brasil, lo que se explica por la elevada explotación comercial para la obtención de alcohol y fibra que estos países realizan respectivamente. La adaptabilidad a diversas condiciones climáticas y nutricionales hace que estas plantas se cultiven en lugares diversos como Japón, Túnez, Cuba, Colombia, Egipto, Tailandia y Barbados.

La producción de los licores y bebidas mexicanas, tiene una relación directa con el contenido de carbohidratos que se acumulan en la base (piña) y hojas, principalmente de las plantas *A. tequilana* y *A. mapisaga*. Otros carbohidratos como los fructanos hallados en la especie *A. fourcroydes* y la celulosa y hemicelulosa encontrados en las especies *A. americana*, *A. sisalana*, *A. lecheguilla*, *F. macrophylla*, *F. cabuya*, *F. castilla*, hacen de estas plantas fuentes alternativas para la obtención de alcohol, principalmente si se fermentan los azúcares libres almacenados y se liberan monosacáridos mediante procesos hidrolíticos y/o enzimáticos, empleando celulasas y posteriormente levaduras alcohólicas. Por otro lado, teniendo en cuenta que estas plantas comparten el metabolismo CAM, sería interesante investigar la presencia de fructanos, fructosa y glucosa en especies diferentes a las mexicanas.

Los fructanos y en particular las inulinas, son carbohidratos que tienen gran interés en la actualidad, particularmente porque son una de las cuatro sustancias catalogadas como prebióticos, compuestos químicos indigeribles por el aparato digestivo, fermentables por las bacterias del colón y que estimulan el crecimiento de las mismas, provocando efectos altamente benéficos para la salud humana.<sup>59</sup>

La celulosa y hemicelulosa presentes en la fibra de estas plantas presentan cualidades deseables como quelantes de origen biológico para la purificación de aguas residuales contaminadas con metales pesados. Además de sus conocidos efectos como fibra insoluble en la dieta del hombre y animales.

Otras moléculas que dirigen una buena parte de las investigaciones consultadas son las saponinas y hecogeninas, éstas se reconocen como precursores de fármacos esteroides. Al igual que los carbohidratos y bajo la evidencia de encontrarse en varias de las especies descritas previamente, sería pertinente estudiar la presencia de estas sustancias en las plantas en las que todavía no se han detectado, como es el caso de las *Furcraea* originarias de Colombia y las *Agave* mexicanas.

La especificidad en la producción de estas sustancias hace que se encuentren moléculas tan diversas como *furcraestatina*, *furcreafurostatina*, *yuccagenina*, *ruizgenina*, *clorogenina*, *saponina monodesmosídica de espirostanol* entre otras. Habrá que demostrarse si la diversidad de moléculas encontradas es proporcional a la diversidad de especies y condiciones relacionadas con la subfamilia *Agavoideae.*, además de la utilidad potencial. Los efectos sobre las células HeLa, premiolítica humana y la inhibición de la viabilidad de la mutación del gen p53, son evidencias del potencial para el tratamiento del cáncer, en el que las saponinas tienen un papel importante. Lo anterior contrasta con el hecho de que el contacto con los líquidos del *A. americana* producen Dermatitis Púrpura del *Agave*, enfermedad que nos indica que alguno o algunos de sus compuestos químicos tienen efectos inflamatorios.

Es evidente que muchas sustancias aún no se han estudiado a profundidad, compuestos aromáticos, lípidos, proteínas y flavonoides, hacen parte también de los metabolitos de estas plantas.

De acuerdo con las evidencias escritas consultadas, las técnicas para el análisis químico de las moléculas de interés se pueden clasificar en dos grupos, el primero comprende los métodos directos en los que se determinan instrumentalmente la concentración y estructura de las sustancias de interés y el segundo los métodos indirectos en los que se recurre a reacciones químicas para estimar a través de intermediarios el contenido de las sustancias. Entre los métodos directos encontrados están diferentes técnicas de Cromatografía, que unida a Espectrometría de Masas y Resonancia Magnética Nuclear, son útiles en la identificación estructural de los diferentes compuestos hallados. En cuanto a los métodos indirectos, se encontraron en menor proporción y básicamente se basan en técnicas enzimáticas para la cuantificación de los compuestos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Verduzco-Martínez J, Predo-Rojas CI, Mercado-Hernández R. VII Simposium - Taller "Producción y Aprovechamiento del Nopal en el Noreste de México". Caracterización e Identificación Taxonómica del Maguey. Mina;2008. [citado abril 2012]. Disponible en: <http://www.respyn.uanl.mx/especiales/2009/ee-02-2009/documentos/06.pdf>
2. Ramírez J. Los magueyes, plantas de infinitos usos. CONABIO. Biodiversitas. 1995;3:1-7.
3. Peña-Alvarez A, Díaz L, Medina A, Labastida C, Capella S, Vera LE. Characterization of three *Agave* species by gas chromatography and solid-phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry. J Chromatogr A [serie en Internet]. 2004 Feb [citado 2012 Apr 2]; 1027(1-2):131-6. Disponible en: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0021967303019605>
4. Chávez-Guerrero L, Hinojosa M. Bagasse from the mezcal industry as an alternative renewable energy produced in arid lands. Fuel [serie en Internet]. 2010 Dec [citado 2012 May 6];89(12):4049-52. Disponible en: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S001623611000373X>
5. Ortiz-Tovar G, López-Miranda J, Cerrillo-Soto MA, Juárez-Reyes A, Favela-Torres E, Soto-Cruz O. Effect of solid substrate fermentation on the nutritional quality of agro-industrial residues. Interciencia. 2007;32(5):339-43.
6. Sanjuan-Raygoza RJ, Jasso-Gastinel CF. Efecto de la Fibra de *Agave* de desecho en el reforzamiento de polipropileno virgen o reciclado. Revista Mexicana de Ingeniería Química. 2009;8(3):319-27.
7. Syamani FA, Subiyanto B, Massijaya MY. Termite Resistant Properties of Sisal Fiberboards. Insects [serie en Internet]. 2011 Oct 31 [citado 2012 May 23]; 2(4):462-8. Disponible en: <http://www.mdpi.com//2075-4450/2/4/462/>
8. Iñiguez-Covarrubias G, Díaz-Teres R, Sanjuan-Deñás R, Anzaldo-Hernández J, Rowell RM. Utilization of by-products from the tequila industry. Part 2: Potential value of *Agave tequilana* Weber azul leaves. Bioresour Technol [serie en Internet]. [citado 2012 May 23]; 2001 May;77(2):101-8. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11272015>

9. Domínguez MS, González Jiménez M de la L, Rosales Gómez C, Quiñones Valles C, Delgadillo Días de León S, Mireles Ordaz SJ, et al. El cultivo *in vitro* como herramienta para el aprovechamiento, mejoramiento y conservación de especies del género *Agave*. *Investig Cienc.* 2008;16(41):53-62.
10. Brand N, Pereira R, Azev G, Santos D, Arag L, Voltolini V, et al. Valor nutricional de componentes da planta e dos coprodutos da *Agave sisalana* para alimentação de ruminantes. *Arq Bras Med Vet Zootec.* 2011;63(6):1493-501.
11. Zwane PE, Dlamini AM, Nkambule N. Antimicrobial Properties of Sisal (*Agave sisalana*) Used as an Ingredient in Petroleum Jelly Production in Swaziland. [serie en Internet]. [citado 2012 May 23]; *Curr Res J Biol Sci.* 2010;2(6):370-4. Disponible en: <http://maxwellsci.com/print/crjbs/v2-370-374.pdf>
12. Ferreira Domingues L, Borges Botura M, Ferreira Guedes da Cruz AC, Yuki CC, Dias da Silva G, Silva Costa M, et al. Evaluation of anthelmintic activity of liquid waste of *Agave sisalana* (sisal) in goats. *Ver Bras Parasitol Vet.* 2010;19(4):2702.
13. Botura MB, Silva GD, Lima HG, Oliveira JV, Souza TS, Santos JDG, et al. In vivo anthelmintic activity of an aqueous extract from sisal waste (*Agave sisalana* Perr.) against gastrointestinal nematodes in goats. *Vet Parasitol.* [serie en Internet]. Elsevier B.V.; 2011 Apr 19 [citado 2012 Apr 12]; 177(1-2):104-10. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21156340>
14. De-la-Cruz H, Vilcapoma G, Zevallos P. Ethnobotanical study of medicinal plants used by the Andean people of Canta, Lima, Peru. [citado 2012 May 6]; *Ethnopharmacol.* 2007 [serie en Internet] May 6];111(2):284-94. Disponible en: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378874106006210>
15. Tovar-Robles CL, Perales-Segovia C, Nava-Cedillo A, Valera-Montero LL, Gómez-Leyva JF, Guevara-Lara F, et al. Effect of aguamiel (*Agave sap*) on hematic biometry in rabbits and its antioxidant activity determination. *Ital. J. Anim. Sci.* [serie en Internet]. 2011 Apr 4 [citado 2012 Mar 5];10(2). Disponible en: <http://www.aspajournal.it/index.php/ijas/article/view/1825>
16. Pinos-Rodríguez JM, Zamudio M, González SS, Mendoza GD, Bárcena R, Ortega ME, et al. Effects of maturity and ensiling of *Agave salmiana* on nutritional quality for lambs. *Anim. Feed Sci. Technol.* [serie en Internet]. 2009 Aug [citado 2012 May 6];152(3-4):298-306. Disponible en: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0377840109001837>
17. Peinado JE, Ospina LF, Rodríguez L, Miller J, Carvajal C, Negrete R. Guía ambiental del subsector figuero [serie en Internet]. 2nd ed. Bogotá D.C.: Cadena Productiva Nacional del Figue; 2006 [citado 2012 May 21]. p. 122. Disponible en: <http://201.234.78.28:8080/jspui/handle/123456789/1146>
18. Rivas Rossi M. Cactáceas y Suculentas del Jardín Botánico Lankester. 1st ed. Editorial Universidad Estatal a Distancia; 1996. p. 88.
19. Castellanos OF, Torres LM, Rojas JC. Agenda Prospectiva de Investigación y Desarrollo Tecnológico para la Cadena Productiva de Figue en Colombia. Giro Editores Ltda., editor. Bogotá D.C.: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural; 2009. p. s804-s807.
20. Gómez G Nancy, Casierra-Posada F, Gómez G NE. Crecimiento foliar y radical en plantas de figue (*Furcraea castilla* y *F. macrophylla*) bajo estrés por encharcamiento. *Agron. colomb.* Universidad Nacional de Colombia [serie en Internet]. [citado 2012 May 23]; 2008;26(3):381-7. Disponible en: <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=180314731002>

21. Casierra-Posada F, González DM. Cambio circadiano de pH y acidez titulable en la savia de fique (*Furcraea castilla* y *F. macrophylla*). Orinoquia. 2004th ed. Reverte; 2009;13(1):5-13.
22. Casierra-Posada F, Pérez W, Portilla F. Relaciones hídricas y distribución de materia seca en especies de fique (*Furcraea* sp. Vent.) cultivadas bajo estrés por NaCl. Agron. colomb [serie en Internet]. 2006 Oct [citado 2012 Jun 5];24(2):280-9. Disponible en: <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=180318104010>
23. Osorio CA, Blanco Tirado C, Combariza MY. Saponinas obtenidas a partir de bagazo de fique (*Furcraea Macrophylla*). XXIX Congreso Latinoamericano de Química- CLAQ 2010. Cartagena; 2010. p. 120.
24. Osorio Salazar L, Valverde FAFA, Bonilla Correa CR, Sánchez Orozco MS, Mier Barona CE. Evaluación de extractos de fique, coquito, sorgo y ruda como posibles bio-herbicidas. Acta Agron [serie en Internet]. 2009 [citado 2012 Aug 27];58(2):103-7. Disponible en: <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=169913325007>
25. Ochoa JC, Jaramillo L. Uso del jugo de fique como aditivo orgánico en el hormigón. Scientia Et Technica [serie en Internet]. [citado 2012 May 23], 2007 Sep;XIII(36):455-9. Disponible en: <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=84903681>
26. Itabashi M, Segawa K, Ikeda Y, Kondo S, Naganawa H, Koyano T, et al. A new bioactive steroidal saponin, furcreastatin, from the plant *Furcraea foetida*. Carbohydr Res [serie en Internet]. 1999 Jan [citado 2012 May 6]; 323(1-4):57-62. Disponible en: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0008621599002554>
27. Simmons-Boyce JL, Tinto WF, McLean S, Reynolds WF. Saponins from *Furcraea selloa* var. *marginata*. Fitoterapia. [serie en Internet]. 2004 Dec [citado 2012 Apr 4]; 75(7-8):634-8. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15567237>
28. Gutiérrez A, Rodríguez IM, Del Río JC. Chemical composition of lipophilic extractives from sisal (*Agave sisalana*) fibers. IndCropsProd. [serie en Internet]. 2008 Jul [citado 2012 Mar 17];28(1):81-7. Disponible en: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0926669008000149>
29. Li Y, Mai Y, Ye L. Sisal fibre and its composites: a review of recent developments. Compos Sci Technol [serie en Internet]. 2000 Aug [citado 2012 May 21]; 60(11):2037-55. Disponible en: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0266353800001019>
30. Martins MA, Forato LA, Mattoso LHC, Colnago LA. A solid state <sup>13</sup>C high resolution NMR study of raw and chemically treated sisal fibers. Carbohydr Polym [serie en Internet]. 2006 Apr [citado 2012 May 6]; 64(1):127-33. Disponible en: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0144861705005436>
31. Dos Santos WNL, Cavalcante DD, Da Silva EGP, Das Virgens CF, Dias FDS. Biosorption of Pb(II) and Cd(II) ions by *Agave sisalana* (sisal fiber). Microchem J [serie en Internet]. Elsevier B.V.; 2011 Mar [citado 2012 May 6];97(2):269-73. Disponible en: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0026265X10002031>
32. Branco A, Santos JDG, Pimentel MM, Osuna JT, Lima LS, David JM. d-Mannitol from *Agave sisalana* biomass waste. IndCropsProd [serie en Internet]. Elsevier B.V.; 2010 Nov [citado 2012 May 6]; 32(3):507-10. Disponible en: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0926669010001755>
33. Marques G, Gutiérrez A, Del Río JC, Evtuguin DV. Acetylated heteroxylan from *Agave sisalana* and its behavior in alkaline pulping and TCF/ECF bleaching. Carbohydr Polym [serie en Internet]. 2010 Jul [citado 2012 May 6]; 81(3):517-23. Disponible en: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0144861710001359>
-

34. Gil-Vega K, Díaz C, Nava-Cedillo A, Simpson J. AFLP analysis of *Agave tequilana* varieties. Plant Sci [serie en Internet]. 2006 Apr [citado 2012 May 6] ;170(4):904-9. Disponible en: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0168945205004498>
35. Cortés-Romero C, Martínez-Hernández A, Mellado-Mojica E, López MG, Simpson J. Molecular and Functional Characterization of Novel Fructosyltransferases and Invertases from *Agave tequilana*. Hofmann A, editor. PLoS ONE [serie en Internet]. 2012 Apr 30 [citado 2012 May 7]; 7(4):e35878. Disponible en: <http://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0035878>
36. Ávila-Fernández Á, Galicia-Lagunas N, Rodríguez-Alegría ME, Olvera C, López-Munguía A. Production of functional oligosaccharides through limited acid hydrolysis of *Agave fructans*. Food Chem [serie en Internet]. 2011 Nov [citado 2012 Mar 5]; 129(2):380-6. Disponible en: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0308814611006546>
37. Espinosa-Andrews H, Urias-Silvas JE. Thermal properties of *Agave fructans* (*Agave tequilana* Weber var. Azul). Carbohydr Polym [serie en Internet]. Elsevier Ltd.; 2012 Mar [citado 2012 May 6]; 87(4):2671-6. Disponible en: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0144861711010460>
38. Arrizon J, Morel S, Gschaedler A, Monsan P. Comparison of the water-soluble carbohydrate composition and fructan structures of *Agave tequilana* plants of different ages. Food Chem [serie en Internet]. ElsevierLtd; 2010 Sep [citado 2012 Mar 19]; 122(1):123-30. Disponible en: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0308814610001925>
39. Iñiguez-Covarrubias G, Lange SE, Rowell RM. Utilization of byproducts from the tequila industry: part 1: *Agave bagasse* as a raw material for animal feeding and fiberboard production. Bioresour Technol [serie en Internet]. 2001 Mar [citado 2012 May 6]; 77(1):25-32. Disponible en: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0960852400001371>
40. Romero González J, Parra-Vargas F, Cano-Rodríguez I, Rodríguez E, Rios-Alana J, Fuentes-Hernández R, et al. Biosorption of Pb (II) by *Agave tequilana* Weber (*Agave azul*) biomass. Revista Mexicana de Ingeniería Química. 2007; 6(3):295-300.
41. Pando-Moreno M, Pulido R, Castillo D, Jurado E, Jiménez J. Estimating fiber for lecheguilla (*Agave lecheguilla* Torr., Agavaceae), a traditional non-timber forest product in Mexico. For Ecol Manage [serie en Internet]. 2008 Jun [citado 2012 May 6]; 255(11):3686-90. Disponible en: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378112708002211>
42. Juárez C, Durán A, Valdez P, Fajardo G. Performance of "Agave lecheguilla" natural fiber in Portland cement composites exposed to severe environment conditions. Build Environ [serie en Internet]. 2007 Mar [citado 2012 Apr 11]; 42(3):1151-7. Disponible en: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360132305005196>
43. Romero-González J, Peralta-Videa JR, Rodríguez E, Ramirez SL, Gardea-Torresdey JL. Determination of thermodynamic parameters of Cr(VI) adsorption from aqueous solution onto *Agave lecheguilla* biomass. J ChemThermodyn [serie en Internet]. 2005 Apr [citado 2012 May 6]; 37(4):343-7. Disponible en: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0021961404002071>
44. Romero-Gonzalez J, Peralta-Videa J, Rodriguez E, Delgado M, Gardea-Torresdey J. Potential of *Agave lecheguilla* biomass for Cr (III) removal from aqueous solutions: Thermodynamic studies. Bioresour Technol [serie en Internet]. 2006 Jan [citado 2012 May 6]; 97(1):178-82. Disponible en: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S096085240500101X>
-

45. Ben Hamissa AM, Seffen M, Aliakbarian B, Casazza AA, Perego P, Converti A. Phenolics extraction from *Agave americana* (L.) leaves using high-temperature, high-pressure reactor. Food and Bioproducts Processing [serie en Internet]. Institution of Chemical Engineers; 2012 Jan [citado 2012 Apr 2]; 90(1):17-21. Disponible en: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0960308510001203>
46. Tinto WF, Simmons-Boyce JL, McLean S, Reynolds WF. Constituents of *Agave americana* and *Agave barbadensis*. Fitoterapia [serie en Internet]. 2005 Sep [citado 2012 Mar 16]; 76(6):594-7. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15979249>
47. Ricks MMR, Vogel LPS, Elston LDM, Hivnor CC. Purpuric *Agave dermatitis*. J Am Acad Dermatol [serie en Internet]. 1999 Feb [citado 2012 May 6]; 40(2):356-8. Disponible en: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0190962299704858>
48. Hamissa AM Ben, Lodi A, Seffen M, Finocchio E, Botter R, Converti A. Sorption of Cd(II) and Pb(II) from aqueous solutions onto *Agave americana* fibers. Chem Eng J [serie en Internet]. 2010 May 1 [citado 2012 May 6]; 159(1-3):67-74. Disponible en: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1385894710001622>
49. Bessadok A, Marais S, Roudesli S, Lixon C, Métayer M. Influence of chemical modifications on water-sorption and mechanical properties of *Agave* fibres. Compos Part A Appl Sci Manuf [serie en Internet]. 2008 Jan [citado 2012 Mar 17]; 39(1):29-45. Disponible en: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1359835X07001807>
50. Bessadok A, Langevin D, Gouanvé F, Chappey C, Roudesli S, Marais S. Study of water sorption on modified *Agave* fibres. CarbohydrPolym [serie en Internet]. ElsevierLtd; 2009 Mar [citado 2012 Mar 9]; 76(1):74-85. Disponible en: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0144861708004487>
51. Ben Sghaier AEO, Chaabouni Y, Msahli S, Sakli F. Morphological and crystalline characterization of NaOH and NaOCl treated *Agave americana* L. fiber. Ind Crops Prod [serie en Internet]. Elsevier B.V.; 2012 Mar [citado 2012 May 6]; 36(1):257-66. Disponible en: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0926669011003876>
52. Ohtsuki T, Koyano T, Kowithayakorn T, Sakai S, Kawahara N, Goda Y, et al. New chlorogenin hexasaccharide isolated from *Agave fourcroydes* with cytotoxic and cell cycle inhibitory activities. Bioorg Med Chem [serie en Internet]. 2004 Jul 15 [citado 2012 Mar 12]; 12(14):3841-5. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15210151>
53. García Curbelo Y, López MG, Bocourt R. Fructanos en *Agave fourcroydes*, potencialidades para su utilización en la alimentación animal. Revista Cubana de Ciencia Agrícola. 2009;43(2):175-7.
54. Cáceres-Farfán M, Lappe P, Larqué-Saavedra A, Magdub-Méndez A, Barahona-Pérez L. Ethanol production from henequen (*Agave fourcroydes* Lem.) juice and molasses by a mixture of two yeasts. Bioresour Technol [serie en Internet]. 2008 Dec [citado 2012 Feb 8]; 99(18):9036-9. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852408003866>
55. Yokosuka A, Mimaki Y. Steroidal saponins from the whole plants of *Agave utahensis* and their cytotoxic activity. Phytochemistry [serie en Internet]. Elsevier Ltd; 2009 Apr [citado 2012 Apr 2]; 70(6):807-15. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19394982>
-

56. Ortiz-Basurto RI, Williams P, Belleville MP, Doco T. Presence of rhamnogalacturonan II in the juices produced by enzymatic liquefaction of *Agave pulquero* stem (Agavemapisaga). Carbohydr Polym [serie en Internet]. Elsevier Ltd; 2009 Jul 19 [citado 2012 May 6]; 77(4):870-5. Disponible en: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0144861709001313>
57. Eskander J, Lavaud C, Harakat D. Steroidal saponins from the leaves of *Agave macroacantha*. Fitoterapia [serie en Internet]. Elsevier B.V.; 2010 Jul [citado 2012 Apr 2]; 81(5):371-4. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19909800>
58. Orestes Guerra J, Meneses A, Simonet AM, Macías FA, Nogueiras C, Gómez A, et al. Saponinas esteroidales de la planta *Agave brittoniana* (Agavaceae) con actividad contra el parásito *Trichomona vaginalis*. Ver Biol Trop. 2008;56(4):1645-52.
59. Aguilera Garca C, Barberá Mateos JM, Esperanza Díaz L, Duarte de Prato A, Gálvez Peralta J, Gómez S, et al. Alimentos Funcionales. Aproximación a una nueva alimentación. Dirección General de Salud Pública y Alimentación, editor. Madrid: Instituto de Nutrición y Transtornos Alimentarios; 2008. p. 238.

Recibido: 21 de junio de 2013.

Aprobado: 4 de mayo de 2014.

#### **Apoyo Financiero**

La Universidad Cooperativa de Colombia – Sede Pasto patrocina la totalidad del proyecto de investigación.

#### **Autor para la correspondencia:**

*Claudia Sofía Guevara Apráez*. Calle 18 # 46-25 Pasto, Nariño, Colombia.  
Correo electrónico: [claudia.guevara@campusucc.edu.co](mailto:claudia.guevara@campusucc.edu.co)