Aguamiel de maguey

como fuente natural de compuestos antineoplásicos

Escrito por
Lic. José Armando Narváez Padilla
al211941@univim.edu.mx
Dr. Daniel Méndez Iturbide
danychem@yahoo.com.mx

RESUMEN

En la química aplicada y en la industria alimenticia ha surgido una corriente que fija su mirada en los recursos naturales, los cuales son muchos y muy valiosos en México, entre ellos, el maguey *Agave salmiana*. La presente investigación se centra en el análisis químico de los metabolitos que produce esta planta y que transfiere a su savia, conocida como aguamiel, la cual es ampliamente usada por su contenido de nutrientes y por la presencia de microorganismos que contribuyen a la obtención del pulque, sin embargo, por su contenido nutricional va más a allá de ese objetivo. En este caso, la investigación destaca su importancia como una posible matriz para la conformación de nutracéuticos con actividad antineoplásica y antioxidante.

Palabras clave: agave, aguamiel, alimentos, antineoplásicos, antioxidantes, nutracéuticos.

ABSTRACT

In applied chemistry and the food industry, there is a growing focus on natural resources, which are abundant and highly valuable in Mexico—among them, the *Agave salmiana*. This study explores the chemical analysis of the metabolites produced by this plant and transferred to its sap, known as aguamiel. Widely used for its nutrient content and the microorganisms that aid in pulque production, aguamiel's potential extends far beyond this traditional purpose. This research highlights its significance as a promising matrix for the development of nutraceuticals with both antineoplastic and antioxidant properties.

Keywords: agave, aguamiel, foods, antineoplastic agents, antioxidants, nutraceuticals.

INTRODUCCIÓN

El aguamiel de maguey Agave salmiana es popularmente conocido por ser la materia prima que configura la bebida tradicional conocida como pulque, esto debido a su contenido de carbohidratos diversos, así como microorganismos que se encargan de llevar a cabo procesos metabólicos de orden fermentativo, conformando así una bebida tanto probiótica como prebiótica que mucho ha sido estudiada, aún más, porque se trata de una bebida venerada desde la época precolombina de México, atribuida incluso a las deidades y a las altas clases sociales. No obstante, podemos decir del aguamiel de maguey que se trata de un exudado de la planta, siendo la savia que alimenta el escapo floral, es decir, el medio de la reproducción sexual de la planta, que es rico en diversos componentes químicos y es fuente natural de un número importante de sólidos solubles totales, entre los que destacan carbohidratos complejos y simples, proteínas, antioxidantes, vitaminas solubles, minerales, entre otras moléculas bioactivas producto del metabolismo secundario de la planta. Esta investigación se centra en dichos aspectos, en la composición química, donde se destaca un hecho relevante y poco estudiado: el aguamiel como fuente natural de compuestos antineoplásicos, que en este caso se atribuyen a la presencia de un grupo especial de alcaloides, los cuales han sido identificados con una metodología de investigación que implica una aproximación cualitativa mediante pruebas clásicas, una cromatografía en columna, reacciones químicas colorimétricas y espectrofotometría visible. Así es como podemos evidenciar la presencia de alcaloides de tipo indólico, también conocidos como alcaloides de vinca, que han sido estudiados con éxito en algunos tipos de cáncer (Kumar et al., 2023), como el caso de los linfomas de Hodgkin, tumor de Wilms, linfomas no Hodgkin, entre otros (National Center for Biotechnology Information, 2022).

Cabe destacar que este grupo de alcaloides de vinca hasta el momento solo había sido identificado en especies vegetales del género *Catharanthus* (Raviña, 2008), también conocidas como flores de vinca. Ser identificadas en el aguamiel de maguey pulquero *Agave salmiana* marca un hito en la investigación, dando un valor agregado al producto y beneficiando con ello a todo un ecosistema que involucra tanto a los productores como a los consumidores, lo que impacta en la salud y en el ámbito económico de forma positiva, pues restablece el papel del *Agave salmiana*, en este caso en el municipio de Tepeyahualco, Puebla, como el árbol de las maravillas, tal como lo concibieron nuestros antepasados (Vela et al., 2014).

Esta investigación se centra en la demostración del potencial del aguamiel de maguey como un alimento nutracéutico en medio de un contexto nacional y mundial que requiere la adaptación de hábitos hacia estilos de vida saludables.

Figura 1. *Agave salmiana*. Fotografía tomada en el Rancho "Yolotepec", Tepeyahualco, Puebla.

METODOLOGÍA

La muestra de aguamiel de maguey *Agave salmiana* fue recolectada en los predios del Rancho "Yolotepec", ubicado en la cuenca Libres-Oriental en el municipio de Tepeyahualco, estado de Puebla, esto en el mes de febrero del año 2024, y fue trasladada al Laboratorio de Química de los Alimentos en la Facultad de Ciencias de la Salud campus San Pablo del Monte, en el estado de Tlaxcala, donde se le aplicó el método de congelación a -40°C para su conservación y posterior análisis.

Las pruebas preliminares se hicieron siguiendo la metodología conocida como tamizaje fitoquímico, que incluye un conjunto de pruebas cualitativas que exponen la presencia o ausencia de metabolitos secundarios de una planta, entre los que destacan alcaloides, azúcares reductores, taninos, flavonoides, quinonas, saponinas, donde también hay que destacar las pruebas para la identificación de compuestos con actividad antineoplásica (Domínguez, 1973) (Fragoso, 2001).

Posteriormente, toda vez que se identifican los compuestos con potencial actividad antineoplásica se procede a aplicar una metodología de aislamiento para separarlos en su mayor proporción posible del resto de los componentes del aguamiel; para ello se empleó una metodología de extracción con metanol y evaporación a presión reducida, y enseguida una cromatografía en columna, en la cual se utilizó el gel de sílice como soporte y acetato de etilo/metanol/agua como eluyentes, ya que el conjunto de compuestos antineoplásicos es por su naturaleza química un alcaloide. Se seleccionó una metodología clásica para este tipo de compuestos (Kumar et al., 2020), como se ilustra en la figura 2.

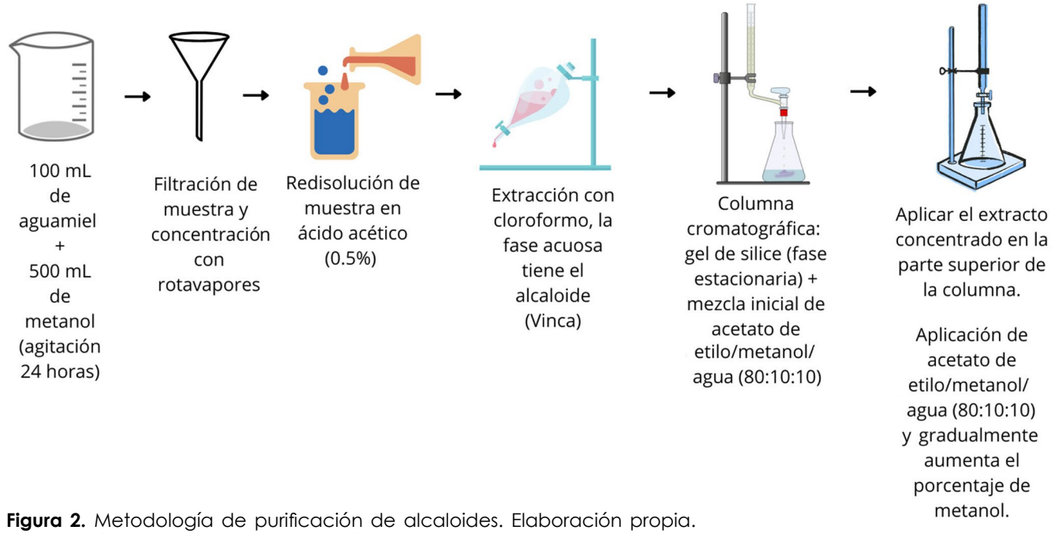


Figura 2. Metodología de purificación de alcaloides. Elaboración propia. Adaptación basada en Kumar et al., 2020.

Para llevar a cabo la identificación y caracterización formal del producto aislado mediante la cromatografía en columna, se empleó una reacción colorimétrica, siguiendo un método sensitivo por espectrofotometría UV-Vis (Nagaraja et al., 2002), el cual consiste en generar una reacción química conocida como "copulación", como se ilustra en la figura 3, muy característica en presencia de compuestos tales como los alcaloides de vinca; para ello además se utilizó un estándar de vincristina, molécula que se ilustra en la figura 4, y su espectro específico, con el cual posteriormente se comparó el espectro obtenido del producto de la separación cromatográfica.

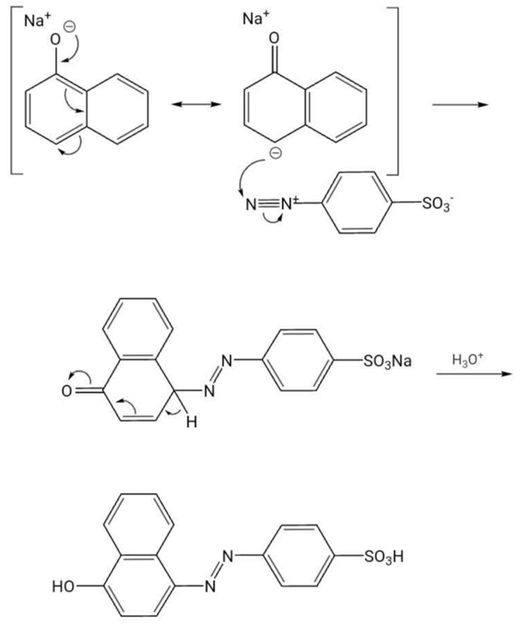


Figura 3. Esquema de reacción de copulación, ejemplo de reacción entre un compuesto aromático de diazonio y un compuesto aromático activado que produce un compuesto azo.

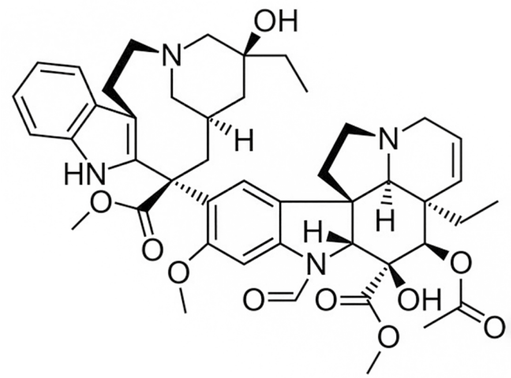


Figura 4. Estructura molecular de vincristina.

DESARROLLO

El aguamiel de maguey Agave salmiana ha sido una de las bebidas más emblemáticas de la cultura mexicana, especialmente conocida por ser la base para la producción del pulque (Pérez et al., 2015). Este líquido se obtiene de la savia del maguey, una planta que juega un papel crucial tanto en la economía rural como en la medicina tradicional mexicana (García et al., 2020).

El aguamiel de maguey es una mezcla compleja de nutrientes, los cuales pueden clasificarse en metabolitos primarios (azúcares, aminoácidos, ácidos orgánicos) y metabolitos secundarios (taninos, saponinas, alcaloides, entre otros) (García et al., 2020). El análisis fitoquímico preliminar, realizado mediante el tamizaje fitoquímico, puede revelar la presencia de una amplia gama de compuestos fenólicos, incluyendo taninos (compuestos con propiedades antioxidantes) y saponinas (Mabry et al., 1970).

Es importante señalar que el hallazgo más significativo de esta investigación es la identificación de alcaloides de vinca; compuestos que hasta el momento solo se habían asociado con especies del género *Catharanthus*, como *Catharanthus roseus,* planta reconocida por sus propiedades antitumorales (Raviña, 2008). Los alcaloides de vinca, como la vincristina y la vinblastina, son conocidos por su capacidad para inhibir la división celular, específicamente mediante la inhibición de la formación de microtúbulos, lo que lleva a la detención del ciclo celular y, en consecuencia, a la apoptosis de células tumorales (Padhy et al., 2018).

La identificación de alcaloides de vinca en *Agave salmiana* no solo contribuye a ampliar el espectro de plantas con propiedades antineoplásicas, sino que también tiene implicaciones económicas, esto en el contexto de que en México el cultivo de maguey se extiende a varias regiones del país, principalmente el centro, y su explotación para la producción de bebidas tradicionales como el pulque tiene una gran importancia cultural y económica (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2018). El descubrimiento de estos compuestos en el aguamiel podría generar un valor agregado, mejorando los ingresos de los productores y promoviendo el uso del maguey en la industria farmacéutica y nutracéutica (García et al., 2020).

Un nutracéutico es un alimento que proporciona beneficios adicionales a la salud más allá de su valor nutricional básico y no requiere aditivos o productos que enriquezcan su posible potencial terapéutico. El aguamiel, con su alta concentración de carbohidratos complejos (fructanos), proteínas, minerales (calcio, magnesio, hierro) y vitaminas (como las del complejo B y vitamina C), es un excelente candidato para ser considerado un alimento nutracéutico (Sánchez et al., 2019).

El uso potencial del aguamiel como nutracéutico no solo tiene implicaciones para la salud pública, sino también para la economía de las comunidades rurales de México. El cultivo de maguey, que históricamente ha sido una actividad agrícola de bajo rendimiento (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2018), podría beneficiarse enormemente del valor añadido que el descubrimiento de estos alcaloides de vinca aporta. Los hallazgos de esta investigación sientan las bases para estudios más profundos en torno a la biodisponibilidad y eficacia terapéutica de los alcaloides de vinca en el aguamiel. Investigaciones futuras deben realizar estudios *in vitro* y en modelos animales para determinar la seguridad y eficacia de los compuestos bioactivos presentes en el aguamiel, además de explorar su biodisponibilidad.

La química aplicada en el análisis del aguamiel de maguey Agave salmiana constituye un eje fundamental para comprender y aprovechar su potencial como alimento nutracéutico. Este enfoque científico permite identificar, cuantificar y aislar los compuestos bioactivos presentes en el aguamiel. La aplicación de técnicas como el tamizaje fitoquímico, cromatografía en columna y espectrofotometría UV-Vis permite validar la composición química del aguamiel.

El conocimiento químico también es esencial para garantizar la estabilidad, biodisponibilidad y seguridad de los compuestos bioactivos en productos derivados del aguamiel, como suplementos dietéticos o bebidas funcionales. Este enfoque multidisciplinario asegura que los beneficios potenciales del aguamiel sean aprovechados de manera óptima, promoviendo su uso sostenible y su integración en el mercado global de alimentos funcionales.

RESULTADOS

El análisis fitoquímico del aguamiel de maguey *Agave salmiana,* recolectado en los predios del Rancho "Yolotepec", permitió identificar la presencia de una importante diversidad de metabolitos secundarios, los cuales se ilustran en la tabla 1, que incluyen alcaloides, taninos, saponinas y de forma especial alcaloides de vinca, compuestos bioactivos con propiedades antineoplásicas ampliamente reconocidas. Este hallazgo resulta innovador al tratarse de una matriz natural no convencional para dichos alcaloides, asociados a especies del género *Catharanthus* (Raviña, 2008).

ANÁLISIS FITOQUÍMICO DEL AGUAMIEL DE MAGUEY		
Metabolito secundario	**Nombre de la prueba**	**Resultados**
Alcaloides	Hager	Positivo
Alcaloides	Meyer	Negativo
Azúcares reductores	Reactivo de Benedict	Positivo
Taninos	Reactivo de cloruro férrico	Positivo
Flavonoides	Magnesio y ácido clorhídrico	Negativo
Quinonas	Hidróxido de amonio	Negativo
Vincristina	Sulfato férrico y ácido fosfórico	Positivo
Vinblastina	Cloruro de bario	Positivo
Saponinas	Inducción de espuma	Positivo

Tabla 1. Análisis y resultado de las pruebas fitoquímicas aplicadas al aguamiel de maguey *Agave salmiana* del Rancho "Yolotepec".

Para la extracción de los alcaloides, se utilizó un procedimiento basado en técnicas clásicas de separación líquido-líquido, empleando solventes polares como el metanol (Sasidharan et al., 2011). Posteriormente, los extractos obtenidos fueron purificados mediante cromatografía en columna, utilizando gel de sílice como fase estacionaria y una mezcla de acetato de etilo/metanol/agua como fase móvil, lo que permitió la separación de los compuestos de interés. La identificación de los alcaloides de vinca se realizó mediante una reacción de copulación, siguiendo el método propuesto por Nagaraja et al. (2002). Este enfoque se basa en la interacción del grupo indol presente en los alcaloides de vinca con el 4-nitrofenol, produciendo un cambio de color característico (amarillo) que se confirma mediante espectrofotometría UV-Vis a una longitud de onda de 400 nm a 550 nm, con lo que se corrobora la presencia de estos compuestos por comparación con el espectro del estándar de vincristina; ambos se caracterizan por alcanzar un máximo de absorción a 430 nm frente a blanco de agua, como se muestra en la figura 5.

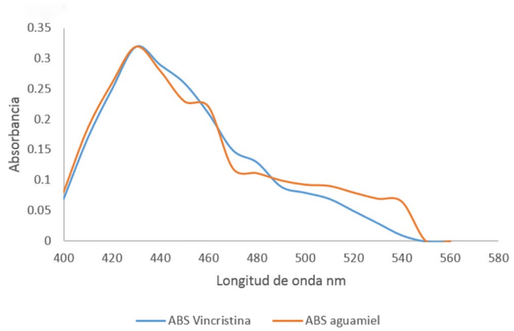


Figura 5. Comparación de espectros específicos del estándar de vincristina con el extracto de alcaloides del aguamiel de maguey *Agave salmiana* del Rancho "Yolotepec". Fuente: elaboración propia.

El uso de cromatografía en columna fue fundamental para aislar los alcaloides de vinca, mientras que la reacción de copulación con 4-nitrofenol permitió su identificación precisa. Este método, basado en la formación de un complejo colorimétrico mediado por un compuesto azo (Nagaraja et al., 2002), es adecuado para matrices complejas y ofrece resultados confiables.

El descubrimiento de alcaloides de vinca en el Agave salmiana demuestra cómo una planta endémica de México puede ofrecer compuestos bioactivos de alto valor farmacológico. Los estudios futuros deben centrarse en lo siguiente:

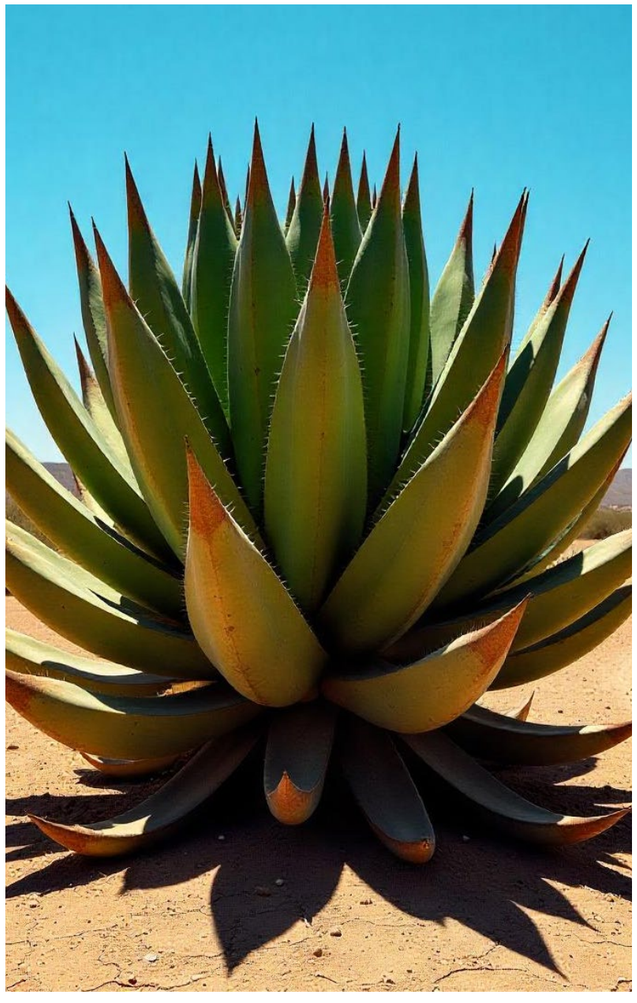
1. *Caracterización estructural:* confirmar las estructuras moleculares mediante cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) acoplada a masas o resonancia magnética nuclear (RMN).
2. *Pruebas biológicas:* evaluar su efecto en líneas celulares y modelos animales.
3. *Producción sostenible:* desarrollar métodos que permitan la extracción eficiente y ecológica de estos compuestos.

CONCLUSIÓN

El aguamiel de *Agave salmiana* no solo representa un legado cultural y nutricional de México, sino que también se perfila como una fuente prometedora de compuestos bioactivos con aplicaciones en la salud humana. Esta investigación destaca la identificación de alcaloides de vinca en el aguamiel, un hallazgo innovador que trasciende las fronteras del conocimiento previo al asociar estos compuestos, tradicionalmente vinculados a plantas del género *Catharanthus*, con una especie de agave nativa de nuestro país. La presencia de estos alcaloides, conocidos por su actividad antineoplásica, enriquece el valor funcional del aguamiel y abre una ventana hacia su aprovechamiento en el desarrollo de nutracéuticos.

Este trabajo reafirma la importancia de la biodiversidad mexicana y el papel de la química aplicada en el estudio y revalorización de los recursos naturales. Al integrar el conocimiento científico con las tradiciones culturales, es posible generar oportunidades económicas sostenibles para las comunidades locales, fomentar la preservación de los ecosistemas y potenciar el impacto social de la ciencia en la vida cotidiana.

REFERENCIAS

- Arrieta-Báez, D. y Miranda, M. I. (2020). "Metabolitos secundarios de las plantas: su papel en el sistema de defensa de las plantas". Journal of Integrative Plant Biology, 62(1), 1-19. https://doi.org/10.1111/jipb.12895
- Domínguez, X. A. (1973). Métodos de investigación fitoquímica. Limusa.
- Fragoso, G. (2001). Fitoquímica aplicada. Universidad Nacional Autónoma de México.
- García, M., González, G. y Pérez, J. (2020). "Actividad antioxidante y compuestos bioactivos en el aguamiel de maguey (Agave salmiana)". Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 11(4), 789-798.

- García, M., González, G. y Pérez, J. (2020). "Propiedades medicinales del aguamiel de Agave salmiana: una revisión". Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas, 51(2), 34-45.
- González-Esquinca, A. R. y Miranda-Ham, M. L. (2019). "Biosíntesis de alcaloides: Avances y perspectivas". Acta Botánica Mexicana, 127, 1-20. https://doi.org/10.21829/abm127.2019.1397
- Gupta, S., Gupta, A. K. y Jha, R. (2021). "Alcaloides naturales de la vinca: una perspectiva de su química, biosíntesis y aplicaciones terapéuticas". Natural Product Reports, 38(8), 1247-1272. https://doi.org/10.1039/D1NP00025E
- Kumar, P., Nagarajan, A. & Uchil, P. D. (2023). Vincristine-based nanoformulations: A preclinical and clinical perspective. Frontiers in Oncology, 13, 10746576. https://doi.org/10.3389/fonc.2023.10746576
- Kumar, S., Singh, A. y Pandey, A. K. (2020). "Productos naturales y sus derivados contra el cáncer". Frontiers in Bioscience, 25(4), 1381-1410. https://doi.org/10.2741/4866
- Mabry, T. J., Markham, K. R. & Thomas, M. B. (1970). The Systematic Identification of Flavonoids. Springer-Verlag. https://doi.org/10.1007/978-3-642-88458-0
- Nagaraja, P., Sunil, K., Shivakumar, A. y Gowda, N. (2002). "Determinación espectrofotométrica de vincristina y vinblastina en preparaciones farmacéuticas". Analytica Chimica Acta, 452(2), 181-186. https://doi.org/10.1016/S0003-2670(01)01439-9
- National Center for Biotechnology Information (2022). Vincristine. StatPearls Publishing. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK537122/
- Padhy, B. M., Gupta, Y. K. y Yadav, M. P. (2018). "Vincapervinca y cáncer: perspectivas para el descubrimiento de fármacos anticancerígenos de origen vegetal". Pharmacognosy Reviews, 12(24), 192-199. https://doi.org/10.4103/phrev.phrev_25_18
- Pérez, L. M. y Sánchez, E. R. (2015). "Análisis de los compuestos bioactivos presentes en el aguamiel de Agave salmiana y su actividad antioxidante". Revista Fitotecnia Mexicana, 38(4), 297-304.
- Raviña, R. E. (2008). Medicamentos: Un viaje a lo largo de la evolución histórica del descubrimiento de los fármacos. Universidad de Santiago de Compostela.
- Sánchez, C., Pérez, R. y Juárez, C. (2019). "Evaluación química y bioquímica del aguamiel como recurso agroindustrial". Ciencia Rural, 49(12), 1-10.
- Sasidharan, S., Chen, Y., Saravanan, D., Sundram, K. M. y Yoga Latha, L. (2011). "Extracción, aislamiento y caracterización de compuestos bioactivos de extractos de plantas". Revista Africana de Medicinas Tradicionales, Complementarias y Alternativas, 8(1), 1-10. https://doi.org/10.4314/ajtcam.v8i1.60483
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (2018, 5 de marzo). "Maguey pulquero: el estado de Hidalgo destacó en 2017 con 69.6 % de la producción nacional". Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. https://www.gob.mx/siap/articulos/maguey-pulquero?idiom=es
- Sharapin, N., Rodríguez, J. A. y Rodríguez, G. (2000). Métodos de análisis fitoquímico para la identificación de metabolitos secundarios. Laboratorios Bioquímicos Latinoamericanos.
- Vela, E. (2014), "Breve historia del maguey". Arqueología Mexicana, edición especial, 57, 10-11.