

La producción de sotol: revisión de literatura sistemática

The elaboration process of sotol: A systematic review

^aJuan Manuel Madrid-Solorzano ^bJorge Luis Garcia-Alcaraz ^cDelia Julieta Valles-Rosales

 ^aUniversidad Autónoma de Ciudad Juárez, jmadrid@uacj.mx. Ciudad de Juárez,

 ^bUniversidad Autónoma de Ciudad Juárez, jorge.garcia@uacj.mx. Ciudad de Juárez, México

 ^cNew Mexico State University, dvalles@nmsu.edu. Las Cruces, Estados Unidos

Recibido: Mayo 22 de 2021 **Aceptado:** Agosto 27 de 2021

Forma de citar: J.M. Madrid-Solarzano, J.L. Garcia-Alcaraz, D.J. Valles-Rosales, "La producción de sotol: revisión de literatura sistemática", *Mundo Fesc*, vol 11, no. S2 pp. 7-20, 2021.

Resumen

Sotol es una bebida tradicional producida en el Norte de México. Se estima que se produce alrededor de 520,000 litros anuales de sotol. Esta industria crece a un ritmo promedio del 5% anual. La producción es consumida en su mayoría por el mercado internacional. Debido a la importancia de esta bebida, este artículo describe una revisión de literatura sistemática para mostrar el conocimiento generado en distintas áreas de la ciencia sobre el proceso de elaboración del sotol. El método de revisión de literatura sistemática fue diseñado a partir de varios autores. Los resultados muestran que la generación de conocimiento se ha centrado en la producción de plántulas, regular la calidad del producto, aplicaciones distintas de la planta y afectaciones a la salud humana.

Palabras clave: Dasyliirion, DO, Chihuahua, bebida alcohólica.

Autor para correspondencia:

***Correo electrónico:**



Abstract

Sotol is a distilled spirit of Mexican produced in Northern Mexico. The estimated annual production of sotol is at around 520,000 liters per year. This industry is growing at an average rate of 5.0 percent per year. It is mostly consumed by the international market. Due to the importance of this drink, this paper describes a systematic literature review to shed light on current knowledge in the production of this distillate and future research to stakeholders. The method of systematic literature review was determined from different authors. The results show that knowledge has been centered in seedling production, product quality and regulation, potential applications, and health effects.

Keywords: Dasylyrion, DO, Chihuahua, alcoholic beverage

Introducción

El estado de Chihuahua se localiza en la frontera Norte de México y colinda con el Sur de Estados Unidos de América y en México con los estados de Durango, Coahuila de Zaragoza, Sonora y Sinaloa. La superficie del estado representa el 12.6% del total de México, con una superficie de 247, 200 Km² [1]. En esta extensión predominan los ecosistemas de matorral desértico y pastizal, ambos cubren alrededor del 65% del área total del estado; asimismo, el 75% de su superficie domina el clima seco semiárido y árido con precipitaciones que oscilan entre los 300 y 500 milímetros anuales [2]–[4].

Bajo estos ecosistemas, crece una planta llamada sotol. Los pobladores nativos de esta región supieron sacar provecho de dicha planta para satisfacer distintas necesidades; por ejemplo, como fuente de alimento [5], [6] y fabricación de utensilios domésticos [7]; sin embargo, es su uso mayormente utilizada en la producción de la bebida alcohólica denominada sotol donde es más conocida y exaltada en el estado de Chihuahua.

La importancia de esta bebida fue incrementando con el paso de los años hasta que un grupo de empresarios chihuahuenses gestionó la Denominación de Origen (DO), ésta fue adquirida en el año del 2002 y la NOM-159-SCFI-2004 es la norma que regula su producción. La DO es compartida entre los estados de Chihuahua, Coahuila y Durango, pero existen opiniones que el estado de

Nuevo León debe ser considerado como parte de los estados con dicha denominación por poseer un territorio con vastas cantidades de especies de *Dasylyrion* óptimos para producir sotol [8]. Existen dos asociaciones que buscan ser el organismo certificador y regulador de la producción y comercialización de este producto; el primero, es el Consejo Mexicano del Sotol A.C. (CMS) formado en el año de 2006 y, el segundo, el Consejo Certificador del Sotol (CCS) constituido en el 2018.

De acuerdo con estimaciones del CMS, existen 250 productores entre los tres estados mencionados que en conjunto producen alrededor de 520,000 litros anuales de sotol; asimismo, esta industria genera alrededor de 200 empleos directos en el estado de Chihuahua, y no hay datos sobre las demás entidades [8].

El CCS posee 12 empresas asociadas a este organismo, una sola de estas proviene del estado de Durango; igualmente, de las 12 empresas, cinco son exclusivamente comercializadores del producto, es decir, compran la bebida destilada a productores para ser envasada y comercializada con su propia marca; el resto de los asociados son productores y comercializadores [9].

Acorde con estimaciones del CMS, la producción de sotol crece a un ritmo promedio del 5% anual por dos motivos; primero, la confianza generada en el mercado estatal por la inversión creada por la empresa Vinomex S.A. de C.V desde el 2000 para

industrializar su proceso de producción; este hecho la convirtió en la productora de sotol más grande del mundo localizada en Delicias, Chihuahua con su marca comercial llamada Sotol Hacienda de Chihuahua; segundo, cuando se funda el CMS la cual vino a promover el cultivo tecnificado y a la producción del mismo; por otro lado, en la década de los 20 se producían entre 300,000 y 500,000 litros anuales; esta cantidad se generaba entre muchos pequeños productores del estado que se encontraban en zonas muy marginadas, generando una derrama económica que beneficiaba a una gran cantidad de familias; además, estos litros se consumían en su mayoría localmente. Hoy en día, un 70% de la producción de sotol es generada por la productora más grande de sotol; aunque, esta producción es consumida en su mayoría por el mercado internacional; localmente el consumo de este producto ha disminuido [8], [9].

Por todo lo anterior, el objetivo de este trabajo es proporcionar a interesados los siguientes beneficios:

- Primero, reunir conocimiento que permita realizar comparaciones con otras empresas del ramo de producción de bebidas alcohólicas.
- Segundo, identificar áreas de oportunidad en esta industria.

De igual manera, se responde a las siguientes preguntas: (1) ¿cuáles son las actividades más críticas en el proceso de producción del sotol? y (2) ¿cuáles son líneas de investigación que han abordado con mayor interés la producción de la bebida?.

El siguiente texto consta de tres secciones; primero, se presenta el método usado para realizar la revisión de literatura; segundo, resultados de la búsqueda; por último, síntesis de la información a manera de

conclusiones.

2. Método de búsqueda

El método usado para realizar la revisión de literatura sistemática fue diseñado a partir de varios trabajos académicos [10]–[14]. Science Direct, EBSCOhost y Wiley Online Library fueron bases de datos comerciales considerados porque cubren un rango amplio de tópicos en distintas áreas disciplinares de la ciencia; además, incluyen revistas con factor de impacto e indexadas; asimismo, Google Académico fue usado por su utilidad para la búsqueda de artículos provenientes de repositorios de universidades o entidades estatales o federales que no se encuentran en las base de datos antes mencionadas; por ejemplo, reportes o folletos técnicos de instituciones gubernamentales y publicaciones académicas con o sin indexación a un sistema de información académica. En caso de que no se tuviera acceso a los artículos o documentos académicos en las bases de datos antes mencionadas, se utilizó ResearchGate para contactar al autor y adquirir el documento académico. Aquellos a los que no se tuvo acceso por ninguno de los medios antes mencionados fueron descartados del análisis.

La búsqueda se llevó a cabo a través de combinar las siguientes palabras claves, tanto en español como en inglés: (bebida AND dasyllirion) AND (Chihuahua OR Coahuila OR Durango OR Nuevo León), (proceso AND dasyllirion) AND (destilación OR destilado), (producción AND sotol) AND (fermentación OR fermentado) y, por último, (licor AND dasyllirion AND wheeleri OR leiophyllum OR sereque).

Para cumplir con el objetivo del presente trabajo, se establecieron los siguientes criterios de selección de las fuentes. Primero, se fijó un límite temporal de búsqueda de 20 años, del 2000 al 2020. Aunque,

en los trabajos académicos de consulta para establecer el método de revisión de literatura establecieron un límite temporal de 10 años, se consideró apropiado el límite aquí propuesto para comprender mejor la importancia de este tema en la comunidad científica. Segundo, se establecieron los siguientes criterios de inclusión y exclusión de las fuentes. Los criterios de inclusión fueron: i) fuentes que aporten conocimiento sobre el proceso de elaboración del sotol; así como, incluir los desperdicios que se generan, ii) aporte de mejoras a la fabricación de la bebida. Los criterios de exclusión fueron: iii) no considerar aquellas fuentes con conocimiento generado fuera de los estados pertenecientes a la DO y a Nuevo León y, por último, iv) descartar aquellos documentos académicos que estén analizados en fuentes con fecha de publicación reciente.

3. Resultados de la búsqueda

Un total de 148 documentos fueron encontrados bajo los criterios antes mencionados. La eliminación de los duplicados se redujo a 142 solamente. 26 artículos fueron excluidos por no aportar información que permitiría responder a las preguntas de investigación. Por ejemplo, artículos que abordan el estudio del género *Dasyliirion* desde el enfoque de la paleontología, gastronomía e historia. En un siguiente escrutinio se descartaron 80 documentos por centrarse a estudiar especies del género *Dasyliirion* fuera de la DO y de la entidad de Nuevo León; de igual manera, todos aquellos documentos académicos que analizan esta planta desde el área disciplinar de la botánica, el análisis de las propiedades alimenticias del tallo de la planta y métodos para la extracción de azúcares de la biomasa verde del tallo de la planta, también llamada piña.

Treinta y seis artículos fueron considerados como potenciales para responder a las preguntas de investigación; sin embargo,

tres capítulos de libro [15]–[17] presentan y analizan referencias de años anteriores a la publicación de éstos; por lo tanto, 15 fuentes más fueron excluidas; sin embargo, Sierra-Tristán, et al. (2008), fuente referenciada en dos de los tres capítulos antes mencionados, se incluyó para el análisis porque presenta información que ayuda a responder a las preguntas de investigación; por consiguiente, un total de 14 fuentes fueron descartados y solo se consideró para su síntesis y análisis a 22 documentos académicos.

La base de datos Wiley Online Library ofrece una clasificación de los resultados de búsqueda en su sistema por temas, esta clasificación ayudó a categorizar los artículos leídos (N= 116) por áreas de conocimiento, estas fueron: Ingeniería industrial, Antropología cultural y social, Biotecnología (Química), Bioquímica (Química biológica) y, Agricultura y ecología. Al graficar los artículos leídos (N = 116), pero sin considerar los tres capítulos mencionados (N = 113). En la Figura 1 se observa que son dos conocimientos especializados los que más han abordado el estudio de especies del género *Dasyliirion* para producir la bebida alcohólica y etapas de su proceso de elaboración; primero, Agricultura y Ecología, los tópicos se han centrado en mejorar las prácticas para el entendimiento, conservación y domesticación de la planta. Segundo, desde la Biotecnología (Química), se han enfocado a comprender los compuestos químicos que resultan del proceso de trituración de la piña cocida, fermentación, destilación y producto final, así como, la búsqueda de métodos para la extracción de fructosa y obtención de productos alimenticios a partir del tallo o piña. Igualmente, se puede observar en la Figura 1 la evolución que han tenido las publicaciones en las distintas áreas del conocimiento, observándose una clara tendencia de constancia en la Biotecnología (Química) y, la Agricultura y ecología.

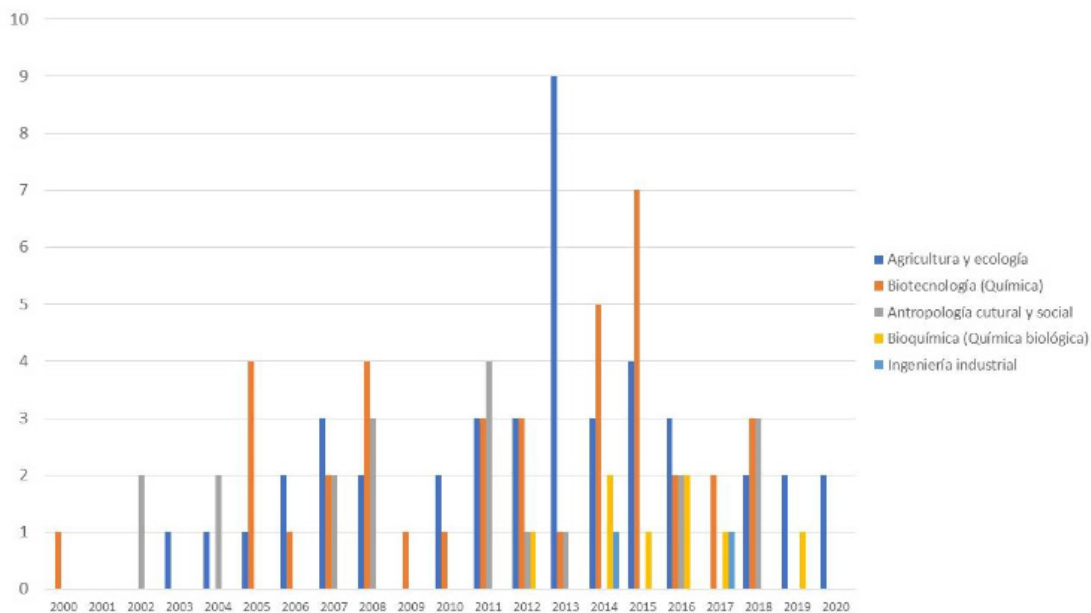


Figura 1. Evolución del número de publicaciones.

4. Conclusiones: síntesis de la información

En la Figura 2 se muestra que el 45% de los textos analizados, producidos dentro de la DO, provienen del estado de Coahuila; la entidad de Chihuahua ocupa el tercer lugar con un 18% y, en último lugar, aparece el estado de Durango con 9%. La mayoría de estos textos han sido publicados en congresos, como se muestra en la Figura 3. Un libro [18] y dos capítulos de libro [15], [16] ofrecen un panorama general sobre la reproducción, clasificación y caracterización física y química de la especie; asimismo, estos describen el proceso de elaboración de la bebida desde la cosecha hasta el empaque, presentaciones de la bebida y análisis de sus compuestos volátiles.

En el área de Biotecnología (Química) son tres líneas de investigación que han sido de mayor interés sobre la producción de la bebida; estas son, regulación de la calidad del producto, salud y agroindustria. En el área de Agricultura y ecología, la producción de plántulas es la principal. En la Figura 4 se muestra un Diagrama de Venn en donde se presentan estas líneas de investigación con sus respectivos aportes (texto en color negro) y futuras investigaciones (texto en rojo). También, se presenta el porcentaje en el que han sido abordados cada una de estas líneas de investigación en los textos analizados; por ejemplo, la producción de plántulas corresponde a un 40% en los textos analizados.

4.1 Producción de plántulas

La deforestación de plantas de sotol para la producción de la bebida alcohólica tiene un impacto negativo sobre el ecosistema de la región por ser fuente de alimento para la fauna silvestre (Espinosa & Contreras-Balderas, 2010; Hellgren, Onorato, & Skiles, 2005). Se han realizado intentos de reforestación con resultados negativos debido a que las plántulas tienen bajo porcentaje de sobrevivencia por falta de humedad, daños por lagomorfos y el pastoreo por ganado bovino. Por lo anterior, es de suma importancia generar siembras comerciales

de sotol.

Existe dos tipos de tratamientos pregerminativo para la propagación de la especie bajo condiciones de laboratorio-invernadero. Primero, las semillas son tomadas de poblaciones naturales; enseguida, se realizan los pasos de escarificación física y química. H₂O, H₂SO₄, NaClO y el consumo de energía para originar calor son elementos de entradas en este tipo de tratamientos [18]–[21]. Sin embargo, se ha propuesto el sustituir el uso de estas sustancias químicas altamente tóxicas como es el NaClO; por ejemplo, Arce-González et al. (2007) plantean el uso de un extracto orgánico hecho partir de la raíz de Agave de lechuguilla para la escarificación química. Villavicencio-Gutiérrez, et al. (2007) sugieren el uso de desinfectantes no tóxicos, aunque estos no son mencionados. Segundo, la germinación in Vitro [22], [23] reporta hasta el 100% de efectividad [22].

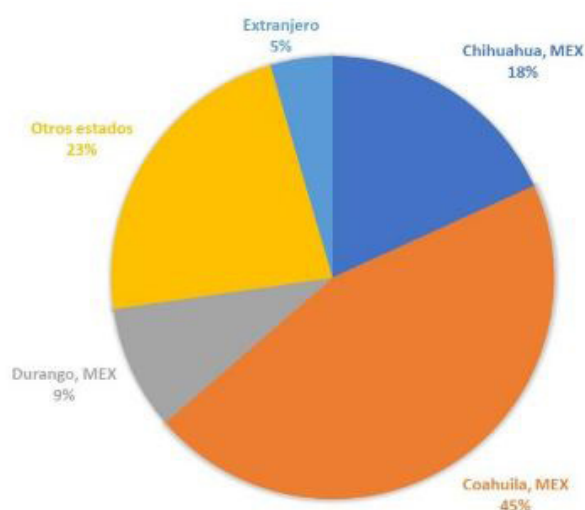


Figura 2. Estadística de los textos analizados producidos en la DO.

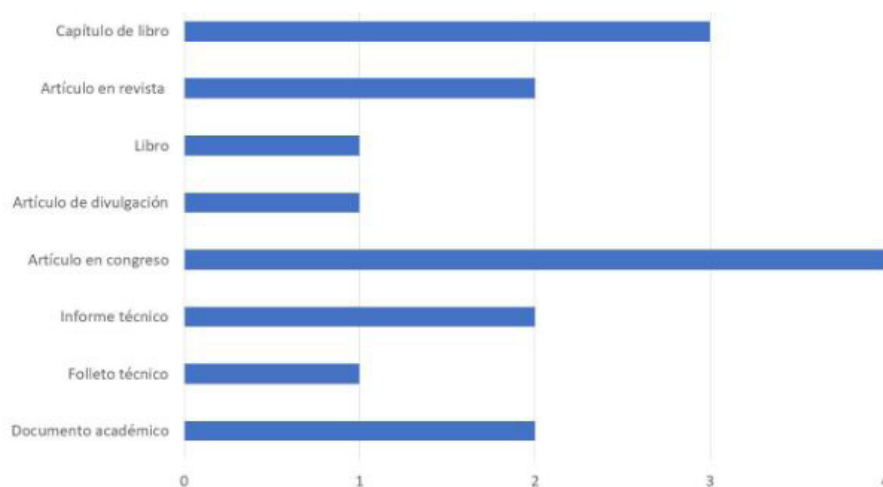


Figura 3. Estadística de los textos analizados producidos en la DO.

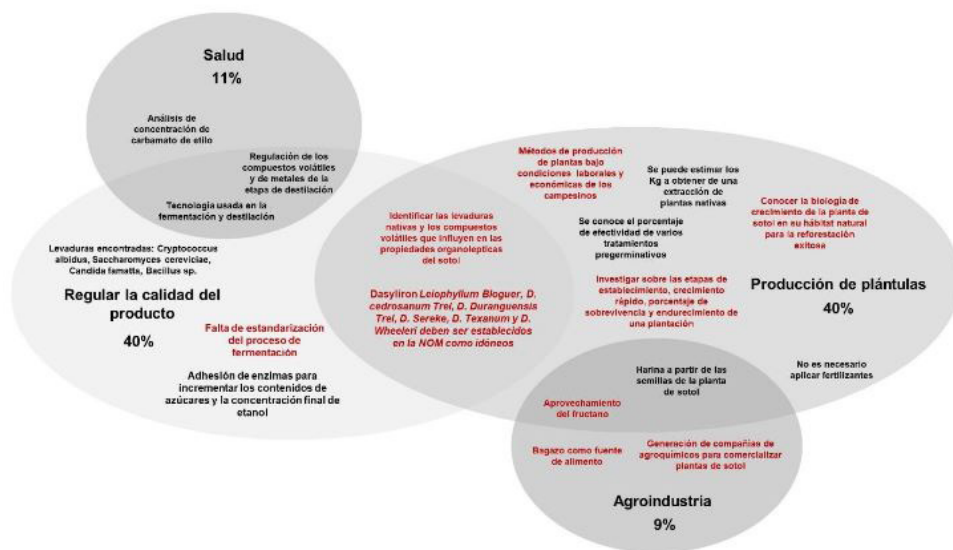


Figura 4. Diagrama de Venn.

En ambos tipos de tratamientos, las condiciones de trabajo y la mayoría de los elementos de entrada no son las adecuadas para ser replicados por campesinos con un nivel económico bajo. No se encontraron investigaciones sobre propuestas de tratamientos para el cuidado de las plántulas durante su estancia en el invernadero, la etapa de su madurez y de su plantación en el área de siembra. Empero, Sierra-Tristán, et al. (2008) sugieren que las plántulas que se desarrollan bajo condiciones de vivero se adaptan mejor que las de *in vitro*. No obstante, se conoce que la aplicación de sustratos y fertilización química a plántulas de sotol no ayudan a mejorar su desarrollo [18].

Entonces, es necesario establecer un método de producción de plantas de sotol que describa el proceso de establecimiento y crecimiento de una plantación comercial y con fines de reforestación; además, que esté acorde con las condiciones socioeconómicas de los campesinos que residen dentro de la biosfera en donde crece el sotol. De igual manera, es necesario conocer más sobre la biología de crecimiento de la planta en su hábitat natural para lograr una reforestación

exitosa.

4.2 Agroindustria

Estos avances en tratamientos pregerminativo pueden dar pie a la creación de empresas agroindustriales; por ejemplo, generación de compañías de agroquímicos y biotecnología para comercializar plantas con calidad fitosanitaria porque plantaciones comerciales de sotol requerirían de un gran volumen. En este mismo sentido, se conoce la viabilidad de producir harina a partir de semillas provenientes del *D. cedrosanum* con un valor nutricional mayor que la harina de trigo [24]; también, por el alto contenido de fructano en la piña del sotol, este puede ser utilizado como materia prima para la industria alimentaria y farmacéutica [16]. El bagazo, residuo del proceso de fabricación del sotol en la etapa de destilación, se utilizó como material para desarrollar fermentación en estado sólido, el resultado fue negativo [25]. El uso del bagazo representa un área de investigación por incursionar para conocer sus posibilidades como fuente de alimento; por lo tanto, hay áreas de oportunidad para diversificar los productos que se pueden obtener a partir de esta planta.

4.3 Regular la calidad del producto

La etapa de fermentación no es regulada por los organismos CMS y CSS; además, la NOM-159-SCFI-2004 no controla dos aspectos del proceso de elaboración de esta bebida; primero, si el proceso de elaboración es de tipo artesanal o de tipo industrial y, segundo, el tipo de especie del género *Dasyliirion* apto para garantizar un sabor y aroma apegados a la tradición histórica [26]. Se han identificado las especies del género *Dasyliirion* adecuados para producir esta bebida. *D. cedrosanum* Trel., *D. leiophyllum* y *D. durangensis* son tres de las seis especies, de un total de 22 [15] idóneas por generar un alto contenido de carbohidratos en la etapa de fermentación [18]. El resto de las especies son *D. wheeleri*, *D. texanum* [16] y *D. sereke* [18].

Se critica que cada productor de sotol cuenta con un procedimiento de fermentación acorde con sus experiencias; como resultado, se origina una diversidad de microorganismos nativos que afectan a los azúcares reductores que ocasiona características organolépticas distintas de la bebida entre las regiones que conforman la DO. Se ha hecho un esfuerzo por identificar los tipos de levaduras que emergen en la fermentación. En un muestreo realizado a distintas productoras de sotol en el estado de Chihuahua, se identificó las siguientes levaduras. *Bacillus* sp se encontró en todos los casos; la *Cryptococcus albidus* se ubicó en el poblado de Aldama; en la localidad de Janos del mismo estado, se reconoció a levadura *Candida famatta* y la levadura *Saccharomyces cerevisiae* se detectó en el poblado de Madera. Esta última, es una levadura predominante en el sotol que se piensa es adicionada por los productores para incrementar la concentración de etanol [27]. Otras levaduras detectadas en la fermentación son *Kluyveromyces marxianus*, *Kloeckera* sp. y *Torulopsis* sp. [16], [18].

4.4 Salud

Con respecto al producto final, se encontró, que existe una preocupación latente en conocer los compuestos volátiles y metálicos de esta bebida, ya sea para comparar esta con otras bebidas o para verificar que no existe riesgo para la salud del consumidor. Es por ello, que varios estudios sobre la caracterización del producto fueron encontrados. La caracterización que se ha realizado al producto final ha resultado que éste posee compuestos similares al tequila y mezcal, pero se diferencia de estos en sus cantidades; además, el sotol posee un compuesto distinto a los demás que es el 5-Metil-2-(1-Metiletil)-Ciclohexanol [28]. De igual manera, se ha descartado que el compuesto Carbamato de Etilo, contenido en una muestra de 16 marcas de sotol, provoque cirrosis hepática [29]. Sin embargo, se sugiere que la NOM-159-SCFI-2004 debe promover la regulación del contenido de metal en esta bebida porque a partir de una muestra (n=2) se presentó niveles de Cadmio mayores a los niveles que maneja el agua normalmente [30]. También, muestras tomadas en el estado de Durango demostró que existen compuestos con contenido mayor a la norma permisible. Por lo tanto, se concluye que no se cuenta con mecanismos de control y verificación de calidad para la elaboración de esta bebida [26], [31], [32].

Referencias

- [1] C. Ortega-Ochoa, J. Martínez-Nevárez, C. Villalobos, C. M. Britton, and R. E. Sosebee, "Chihuahua's Cattle Industry and a Decade of Drought: Economical and Ecological Implications," *Rangelands*, vol. 30, no. 6, pp. 2–7, 2008.
- [2] M. Alcalá de Jesús, M. Pando Moreno, V. M. Reyes-Gómez, and D. Núñez-López, "Edafología (Suelos)," in *La biodiversidad en Chihuahua: Estudio de Estado*, 1st

- ed., N. Barajas, A. Cruz-Angón, J. Valero-Padilla, and J. C. Treviño Fernández, Eds. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), 2014, pp. 46–50.
- [3] V. M. Reyes-Gómez and D. Núñez-López, “Ecosistemas y uso de suelo,” in *La biodiversidad en Chihuahua: Estudio de Estado*, 1st Ed., N. Barajas, A. Cruz-Angón, J. Valero-Padilla, and J. C. Treviño Fernández, Eds. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), 2014, pp. 51–54.
- [4] G. Córdova Bojórquez and M. L. Romo Aguilar, “Contexto Socioeconómico,” in *La biodiversidad en Chihuahua: Estudio de Estado*, 1st ed., N. Barajas, A. Cruz-Angón, J. Valero-Padilla, and J. C. Treviño Fernández, Eds. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), 2014, pp. 65–84.
- [5] T. Riley, “Diet and seasonality in the Lower Pecos: evaluating coprolite data sets with cluster analysis,” *J. Archaeol. Sci.*, vol. 35, no. 10, pp. 2726–2741, 2008.
- [6] J. A. R. Ladyman, “Dasyilirion wheeleri S. Wats. Wheeler sotol,” United States Department of Agriculture, 2004.
- [7] J. L. Becerra-López et al., “Climatic Change and Habitat Availability for Three Sotol Species in México: A Vision towards Their Sustainable Use,” *Sustainability*, vol. 12, no. 8, pp. 2–12, 2020.
- [8] J. Rodríguez García, “Estadística del Consejo Mexicano del Sotol A.C.,” 2020.
- [9] C. Venegas Montes, “Consejo Certificador del Sotol,” 2020.
- [10] A. Gilbey, E. Ernst, and K. Tani, “A systematic review of reviews of systematic reviews of acupuncture,” *Focus Altern. Complement. Ther.*, vol. 18, no. 1, pp. 8–18, Mar. 2013.
- [11] M. Kühnen and R. Hahn, “Indicators in Social Life Cycle Assessment: A Review of Frameworks, Theories, and Empirical Experience,” *J. Ind. Ecol.*, vol. 21, no. 6, pp. 1547–1565, Dec. 2017.
- [12] L. Yang, K. H. van Dam, A. Majumdar, B. Anvari, W. Y. Ochieng, and L. Zhang, “Integrated design of transport infrastructure and public spaces considering human behavior: A review of state-of-the-art methods and tools,” *Front. Archit. Res.*, vol. 8, no. 4, pp. 429–453, 2019.
- [13] Y. M. Yasin, M. S. Kerr, C. A. Wong, and C. H. Bélanger, “Factors affecting nurses’ job satisfaction in rural and urban acute care settings: A PRISMA systematic review,” *J. Adv. Nurs.*, vol. 76, no. 4, pp. 963–979, Apr. 2020.
- [14] J. H. Miah, S. C. L. Koh, and D. Stone, “A hybridised framework combining integrated methods for environmental Life Cycle Assessment and Life Cycle Costing,” *J. Clean. Prod.*, vol. 168, pp. 846–866, 2017.
- [15] M. H. Reyes-Valdés et al., “The Sustainability of Mexican Traditional Beverage Sotol: Ecological, Historical, and Technical Issues,” in *Processing and Sustainability of Beverages*, 1st ed., Elsevier, 2019, pp. 103–137.
- [16] A. C. Flores-Gallegos et al., “Sotol, an alcoholic beverage with rising importance in the worldwide commerce,” in *Alcoholic Beverages: Volume 7: The*

- Science of Beverages*, 1st ed., vol. 7, A. Mihai Grumezescu and A. Maria Holban, Eds. Woodhead Publishing, 2019, pp. 141–160.
- [17] K. N. Ramírez-Guzmán et al., “Traditional *Fermented Beverages* in Mexico,” in *Fermented Beverages*, Elsevier, 2019, pp. 605–635.
- [18] J. S. Sierra-Tristán, C. R. Lara-Macías, R. Carrillo-Romo, A. Mendoza-Castillo, C. Morales-Nieto, and M. H. Royo-Márquez, *Los sotoles Dasyllirion spp de Chihuahua*, 1st Ed., no. 20. Chihuahua, México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, 2008.
- [19] L. Arce-González, J. V. Reyna, A. V. Oyervides, A. G. D. T. Y. Emilio, and R. C. Gómez, “Rompimiento de latencia en semillas de sotol (*Dasyllirion cedrosanum* Trel) mediante escarificación física y ácido sulfúrico,” 2003.
- [20] L. Arce-González, J. Valdés, A. Valdés, A. Gallegos, and G. Padilla, “Pruebas de germinación en semillas de sotol (*Dasyllirion cedrosasanum* Trel.) utilizando extractos secos de lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr.) bajo condiciones de laboratorio,” 2007.
- [21] S. Rosales-Mata, J. C. Ríos-Saucedo, R. Rosales-Serna, and J. L. García-Rodríguez, “Tratamientos pregerminativos de remojo y temperatura en semilla de *Dasyllirion cedrosanum*,” in *XIV Congreso Nacional Sobre Recursos Bióticos de Zonas Áridas*, 2018, p. 160.
- [22] E. Villavicencio Gutiérrez, A. Cano Pineda, and A. Juárez Santana, *Guía para la micropropagación y producción in vitro de plantas de sotol (Dasyllirion cedrosanum Tre.)*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, 2007.
- [23] A. I. Reyes Silva, C. F. Morales Muñoz, M. E. Pérez Reyes, and E. P. Molphe Balch, “Propagación in vitro de nolináceas mexicanas,” *Investig. Cienc.*, vol. 21, no. 58, pp. 12–20, 2013.
- [24] M. M. Orozco-sifuentes, J. E. García-martínez, C. A. Arévalo-sanmiguel, F. Ramírez-godina, and M. H. Reyes-Valdés, “Nutritive potential of sotol (*dasyllirion cedrosanum*) seeds,” *Rev. Fitotec. Mex.*, vol. 42, no. 4, pp. 385–392, Dec. 2019.
- [25] D. A. Flores-Maltos et al., “Typical Mexican agroindustrial residues as supports for solid-state fermentation,” *Am. J. Agric. Biol. Sci.*, vol. 9, no. 3, pp. 289–293, 2014.
- [26] F. Bujaidar Ávila, “Denominación de Origen y Norma Oficial Mexicana del Sotol: Dos propósitos distintos,” in *1er. Congreso Nacional de Agave-Mezcal*, 2017, p. 16.
- [27] D. I. Cárdenas-Díaz, E. Castro, C. N. Aguilar, O. Soto Cruz, D. La, and H. De la Garza-Toledo, “Fermentación de sotol; tratamiento enzimático de residuos,” in *Congreso Nacional de Biotecnología y Bioingeniería*, 2009.
- [28] A. De León-Rodríguez, M. del P. Escalante-Minakata, M. I. Jiménez-García, L. G. Ordoñez-Acevedo, J. L. Flores Flores, and A. P. Barba de la Rosa, “Characterization of volatile compounds from ethnic agave alcoholic beverages by gas chromatography-mass spectrometry,” *Food Technol. Biotechnol.*, vol. 46, no. 4, pp. 448–455, 2008.
- [29] D. W. Lachenmeier, F. Kanteres, T. Kuballa, M. G. López, and J. Rehm,

“Ethyl Carbamate in Alcoholic Beverages from Mexico (Tequila, Mezcal, Bacanora, Sotol) and Guatemala (Cuxa): Market Survey and Risk Assessment,” *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 6, pp. 349–360, 2009.

[30] A. Trujillo-Orozco et al., “Detection of Cu, Pb, Cd and Zn in Mexican Spirituous Beverages by Differential Pulse Polarography (DPP),” *ECS Trans*, vol. 36, no. 1, pp. 363–372, 2011.

[31] A. C. Díaz de León, G. Orea Lara, and J. M. Pensaben Esquivel, “Determinación de la calidad de sotol que se produce en el estado de Durango,” in *1er. Congreso Nacional de Agave-Mezcal*, 2017, p. 54.

[32] A. A. Gardea, L. T. Findley, J. A. Orozco-Avitia, N. Bañuelos, M. Esqueda, and T. H. Huxman, “Bacanora and sotol: so far, so close,” *Estud. Soc. Rev. Aliment. Contemp. y Desarro. Reg.*, no. 2, pp. 153–168, 2012.