

Aprovechamiento agroindustrial de la candelilla (*Euphorbia antisyphilitica*)

Guerrero-Manzanares María Lizbeth¹, Lara-Viveros Francisco Marcelo², Rodríguez-Hernández Ana Margarita², García-Amaro Quetzalli Maricela⁴, Ortega-Ortega Yolanda², de León-Santillán Arxel³, Ledezma-Pérez Antonio Serguei³, Díaz-Cervantes Erik⁵, Castillo-Campohermoso Marco Antonio²✦

¹Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA). Estudiante de Posgrado, Blvd. Enrique Reyna No. 140. Colonia San José de los Cerritos. Saltillo, Coahuila, México, C.P. 25294.

²Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA). Biociencias y Agrotecnología, Blvd. Enrique Reyna No. 140. Colonia San José de los Cerritos. Saltillo, Coahuila, México, C.P. 25294.

³Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA). 90. Materiales Avanzados, Blvd. Enrique Reyna No. 140. Colonia San José de los Cerritos. Saltillo, Coahuila, México, C.P. 25294.

⁴Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN). Estudiante de Licenciatura. Calz. Antonio Narro 1923, Buenavista, C.P. 25315. Saltillo, Coahuila, México.

⁵Departamento de Alimentos, Centro Interdisciplinario del Noreste de la Universidad de Guanajuato, Tierra Blanca, Guanajuato C.P. 37975, México.

✦Correspondencia: marco.castillo@ciqa.edu.mx

Área Temática: Ciencias Ambientales

Recibido: 06 diciembre, 2024

Aceptado: 21 julio, 2025

Publicado: 25 julio, 2025

Cita: Guerrero-Manzanares ML, Lara-Viveros FM, Rodríguez-Hernández AM, García-Amaro QM, Ortega-Ortega Y, Santillán A, Ledezma-Pérez AS, Díaz-Cervantes E y Castillo-Campohermoso MA 2025. Aprovechamiento agroindustrial de la candelilla (*Euphorbia antisyphilitica*). Bioc Scientia 1(2). <https://doi.org/10.63622/RBS.2412>



Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).

Resumen: Este trabajo de revisión se enfoca en el aprovechamiento sostenible de la candelilla, una planta de gran importancia económica, social e industrial nativa de las zonas áridas del norte de México. La cera extraída de esta planta es ampliamente utilizada en la industria cosmética, farmacéutica y alimentaria, pero su explotación tradicional enfrenta serios desafíos relacionados con la sostenibilidad ambiental y el bienestar de los candelilleros. A través de una revisión de literatura y entrevistas, este artículo aborda estos problemas sugiriendo soluciones innovadoras en los ámbitos culturales, agronómicos, ambientales y tecnológicos. El trabajo destaca la necesidad de transformar los métodos tradicionales de extracción, que suelen ser contaminantes y peligrosos para la salud de los productores. Entre las técnicas propuestas se encuentra el uso de dióxido de carbono en estado supercrítico, que ofrece un proceso limpio y eficiente, mejorando la calidad de la cera y reduciendo el impacto ambiental. Además, se sugiere la implementación de prácticas agronómicas como el establecimiento del cultivo, la micropropagación y la conservación de suelos para garantizar la sostenibilidad del cultivo. En el ámbito tecnológico, se promueve la trazabilidad digital y el uso de inteligencia artificial para optimizar la recolección, mejorar la calidad del producto y fortalecer la logística de comercialización. Estas innovaciones también contribuyen a agregar valor económico al recurso, beneficiando a las comunidades rurales que dependen de esta actividad. Es crucial capacitar a los candelilleros en prácticas sostenibles, desarrollar políticas públicas que incentiven la investigación y brinden apoyo técnico y financiero. Estas acciones no solo protegerán la biodiversidad y el ecosistema, sino que también fortalecerán la economía local y el desarrollo industrial basado en la cera de candelilla, promoviendo un equilibrio entre conservación y progreso.

Palabras clave: Candelilla, Sostenibilidad, Cera vegetal, Extracción limpia, Innovación agroindustrial.

Abstract: This review paper focuses on the sustainable utilization of candelilla, a plant of significant economic, social, and industrial importance native to the arid regions of northern Mexico. The wax extracted from this plant is widely used in the cosmetic, pharmaceutical, and food industries. However, traditional harvesting practices face serious challenges related to environmental sustainability and the well being of candelilla harvesters. Through a literature review and expert interviews, this article addresses these issues and proposes innovative solutions across cultural, agronomic, environmental, and technological domains. It underscores the urgent need to transform conventional extraction methods, which are often polluting and hazardous to workers' health. Among the proposed alternatives is the use of supercritical carbon dioxide, which enables a clean and efficient process, enhancing wax quality while reducing environmental impact. The paper also advocates for the implementation of agronomic practices such as crop establishment, micropropagation, and soil conservation to ensure the long term sustainability of candelilla cultivation. On the technological front, the integration of digital traceability tools and artificial intelligence is recommended to optimize harvesting, improve product quality, and strengthen supply chain logistics.

These innovations contribute to adding economic value to the resource and benefit rural communities that rely on this activity. Capacity building for candelilla workers in sustainable practices, the development of public policies that support research, and the provision of technical and financial assistance are identified as critical actions. Such measures will not only protect biodiversity and local ecosystems but also enhance local economies and foster industrial development based on candelilla wax, promoting a balance between conservation and progress.

Keywords: Candelilla, Sustainability, Plant wax, Clean extraction, Agroindustrial innovation.

INTRODUCCIÓN

Para realizar este trabajo se llevó a cabo una revisión bibliográfica de diversos documentos científicos y técnicos, seleccionados por su relevancia y actualidad en relación con la integración de la cadena de valor del aprovechamiento agroindustrial de la candelilla. Esta revisión incluyó revistas, bases de datos, y trabajos de tesis, con el objetivo de garantizar un análisis integral sobre el tema de estudio, permitiendo comprender el impacto multidimensional del aprovechamiento de la candelilla y su relevancia. Este enfoque holístico busca ofrecer una visión completa y fundamentada que contribuya al desarrollo sostenible y al conocimiento profundo de esta planta y su industria asociada. Sin embargo, es necesario recalcar que existen pocos artículos científicos que abordan de manera integral los aspectos agrónómicos, sociales, tecnológicos y culturales en la primera etapa de la cadena de valor de la candelilla (*Euphorbia antisiphilitica*). La mayoría de las investigaciones se han centrado en las fases finales del proceso, particularmente en la extracción, caracterización y mejoramiento del producto final de la cera con fines industriales y comerciales. Esta tendencia deja un vacío importante en el conocimiento sobre las prácticas agrícolas, las condiciones socioeconómicas de los productores, las tecnologías aplicables en campo y las dimensiones culturales asociadas al cultivo y aprovechamiento de la planta. Dado el creciente interés por esta agroindustria en los últimos años, resulta crucial reconocer esta etapa inicial como un área de oportunidad estratégica para la investigación científica, que permita impulsar un desarrollo más sustentable, equitativo e innovador de la agroindustria de la candelilla.

Es importante mencionar que la candelilla es una planta nativa de las zonas áridas y semiáridas del norte de México, la cual ha tenido una gran importancia en las comunidades rurales que han habitado en la zona durante muchas generaciones. El principal estado ubicado al noreste de México que explota este recurso es Coahuila, donde alrededor de 95 comunidades ejidales subsisten gracias a la explotación de éste y otros recursos (Mycotte et al., 2021). La planta es de suma importancia socio-económica ya que la cera que se extrae de sus tallos tiene amplia relevancia principalmente en las industrias cosméticas, farmacéuticas, de alimentos y recubrimientos (Moreno et al., 2019). La candelilla desde hace más de 100 años ha

sido un recurso forestal no maderable muy esencial para la economía de las regiones semiáridas del noreste mexicano, pero su recolección en estado silvestre plantea desafíos en cuanto a sostenibilidad y conservación ambiental (Rojas et al., 2011).

Durante varios años, el método de recolección de la cera de candelilla no ha sido modificado, sigue siendo principalmente manual y tradicional, lo que ha llevado a una explotación intensiva de la planta en su entorno natural (Núñez et al., 2022). Este modelo de uso, genera altas preocupaciones sobre su sostenibilidad a largo plazo, ya que la recolección de una manera descontrolada puede amenazar las poblaciones de candelilla, por lo que puede llegar a afectar la biodiversidad del ecosistema y reducir la disponibilidad de la planta para futuras generaciones (Rojas et al., 2021). Además, el trabajo de recolección y extracción de cera de candelilla ha sido históricamente una fuente clave de ingresos para las comunidades locales, aunque muchas veces este trabajo carece de un manejo adecuado y tecnologías que mejoren la eficiencia y minimicen tanto el impacto ambiental como la salud humana (López, 2014).

Desde una perspectiva de salud ocupacional, el proceso tradicional expone a los trabajadores a condiciones peligrosas. El uso de ácido sulfúrico para llevar a cabo la extracción de cera de candelilla, la inhalación de vapores y el manejo sin equipo de protección personal, puede provocar afecciones respiratorias, quemaduras dérmicas y daños oculares (Rojas et al., 2021). A esto se suma la inhalación constante de humo proveniente de la combustión de leña, comúnmente utilizada como fuente de energía térmica.

En el plano ambiental, la actividad también tiene repercusiones, por ejemplo, el vertido de residuos líquidos contaminados con ácido, sin tratamiento adecuado, representa un riesgo potencial para los cuerpos de agua y el equilibrio ecológico de las zonas de extracción (Rojas et al., 2021).

En cuanto al rendimiento, el proceso artesanal presenta una eficiencia limitada. Se estima que se requieren entre 800 y 1,000 kilogramos de biomasa vegetal para obtener apenas entre 30 y 40 kilogramos de cera, dependiendo de las condiciones del proceso y la calidad del material vegetal. Este bajo rendimiento, sumado a las condiciones de trabajo y al impacto ambiental, subraya la necesidad urgente de implementar tecnologías más limpias y eficientes, así como programas de capacitación y apoyo técnico para los productores (Emmanuel et al., 2022).

La transición hacia modelos sostenibles de aprovechamiento no solo permitiría reducir los riesgos asociados a la salud y el ambiente, sino también mejorar la competitividad del producto en mercados internacionales que actualmente valoran la trazabilidad, la ética de producción y el cumplimiento de criterios ambientales.

Ante estas situaciones, surge la necesidad de desarrollar nuevas técnicas que permitan un mejor aprovechamiento de la cera de candelilla de una manera más sostenible. Esta revisión bibliográfica busca identificar, conocer y evaluar métodos eficientes e innovadores que optimicen la extracción, recolección y uso de la cera de candelilla, considerando cuatro aspectos claves: cultural, agronómico, ambiental y tecnológico.

CANDELILLA (*E. antisiphilitica*)

La Candelilla es un arbusto perenne (Figura 1), con tallos cilíndricos, densamente compactos, erectos, recubiertos de cera, con apariencia de pequeñas velas, sin hojas y en temporada de lluvias se llena de flores pequeñas (Rojas et al., 2011). La planta crece en laderas con suelo calcáreo, de origen aluvial, someros (menor a 25 cm), de textura franco arenosa, poco profundos, pedregosos, con buen drenaje, ricos en carbonato de calcio, con un pH que va de 7.4 a 8.4 y pobres en nitrógeno (Rojas et al., 2011). Son arbustos con un diámetro aproximado a 90 cm, la raíz es pequeña; aunque una planta de tamaño moderado puede desarrollar más de 100 tallos de color verde grisáceo, con dimensiones típicas de 30-60 cm de largo y de 0.1-1.0 cm de diámetro (Romahn, 1985).



Figura 1. Candelilla creciendo en su hábitat natural, con tallos delgados y erguidos característicos de esta especie, utilizada para la producción de cera natural (fotografía del autor de correspondencia).

Aspectos culturales y principales usos de la Candelilla

Indagando en la historia, la producción de cera de candelilla tuvo su auge durante la Segunda Guerra Mundial, cuando se utilizaba para impermeabilizar y proteger de los mosquitos, las telas de las tiendas de campaña, así como para cubrir y prevenir el deterioro de algunas partes de los aviones y la fabricación de explosivos (Rojas et al., 2011). Aunque la cera de candelilla tiene un gran número de aplicaciones industriales, se ha demostrado que es posible gelificarla junto con ciertas olefinas, lo cual permite mejorar sus propiedades eléctricas al tratarse de un material de alta resistencia (Cabello et al., 2013). También la cera se utiliza principalmente en la industria cosmética como emoliente y agente formador de películas (Martínez, 2022). En general, el mercado es impulsado por la preferencia del consumidor por un cosmético "natural", de esta manera, hay un aumento en la demanda de cera para la producción de rímel, uno de los productos cosméticos más utilizados, seguido por el lápiz labial y lápiz cosmético o delineador de ojos (Emmanuel et al., 2022). Estos productos tienen buena resistencia a la sudoración, debido a un fenómeno de excreción de aceite en la superficie de la barra de labios (Cabello et al., 2013).

Por otro lado, se utiliza también en algunos alimentos como: goma de mascar, café, substitutos del café, té, infusiones de hierbas, cereales calientes y bebidas que contengan gran contenido de cacao, dulces, incluidos los caramelos duros y blandos, y decoraciones (decoraciones de pasteles y galletas) (Emmanuel et al., 2022). Además, se usa en la fabricación, de películas comestibles que, complementadas con un potente antioxidante como es el ácido gálico, ácido elágico y *Aloe vera*, extienden la vida de anaquel y aumentan el potencial antioxidante, así como la calidad nutricional de las frutas y verduras recién cortadas (Cabello et al., 2013).

Adicionalmente, la cera se obtiene de la recolecta comercial de la candelilla, y cuyo aprovechamiento se remonta a 1914, año en que los señores Borrego y Flores diseñaron un método sencillo para la extracción de la cera, que consiste en la recolección total de la planta y posterior ebullición en una solución agua-ácido sulfúrico, método que en la actualidad todavía es utilizado (Rojas et al., 2011). El método tradicional comienza con la recolección de la planta de candelilla, la cual es arrancada de raíz sin respetar lo establecido en la NOM-018-SEMARNAT-1999 "la cual establece los requisitos y especificaciones para el aprovechamiento, transporte y almacenamiento de candelilla en su estado natural. Su objetivo principal es regular la extracción de esta especie vegetal para evitar su sobreexplotación y contribuir a su conservación, promoviendo prácticas sostenibles en zonas áridas y semiáridas del país". (Diario Oficial de la Federación 1999), para posteriormente colocar los

“tercios” de planta en calderos de hierro llamados “pailas”, con una solución de ácido sulfúrico a una concentración aproximada del 0.3 % (SEMARNAT 1999).

Un “tercio”, es la unidad de medida equivalente a una “brazada”, es decir, lo que se alcance a tomar entre los dos brazos abiertos; en kilogramos corresponde entre 24 y 32 kg de planta, la variación responde al contenido de humedad de la planta (Torres et al., 2015). Cada paila (recipiente o contenedor, generalmente metálico que se utiliza en el proceso de extracción artesanal de la cera de candelilla) tiene una capacidad de 500 L, allí se introducen ocho “tercios” (192 a 256 kg) de candelilla por extracción o “pailada”. La carga inmersa en la solución agua-ácido se calienta a fuego directo hasta el punto de ebullición de la solución, lo que permite la fusión de la cera y el desprendimiento de la planta (Rojas et al., 2011). Mediante esta técnica (Figura 2), la cera de candelilla fundida flota en la superficie del agua como espuma. Enseguida se retira de la “paila” utilizando utensilios perforados denominados “espumaderas” que permiten separar la cera del agua y los residuos sólidos, con las cuales se pasa a tanques de acero, cubetas o moldes de barro que se colocan a nivel de piso. En cualquiera de los recipientes, la espuma caliente (cera) se separa por decantación, de un líquido pardo que precipita hacia el fondo, para posteriormente reciclarse en la “paila” de extracción (CONABIO 2022). En la parte superior de la “paila”, se forma una capa fina de color amarillo, que constituye la cera de candelilla. Se retira con la ayuda de las espumaderas y se deja enfriar hasta solidificarse a temperatura ambiente (cerote, es decir, bloque sólido de cera cruda) (Torres et al., 2015). Después se quiebra en pedazos con golpes de martillo, y los trozos se refunden en un recipiente cilíndrico de hierro (cortador) con la misma solución ácida con la que se realizó la extracción en la “paila”, a fin de eliminar las impurezas de tierra y materia orgánica, que finalmente se separan por sedimentación (Flores, 2013). La cera decantada, conocida como “cera de candelilla cruda”, se deja enfriar y solidificar. Para refinar la cera es necesario quebrarla, fundirla y filtrarla a través de carbón activado y de algunos otros medios filtrantes (Torres et al., 2015).

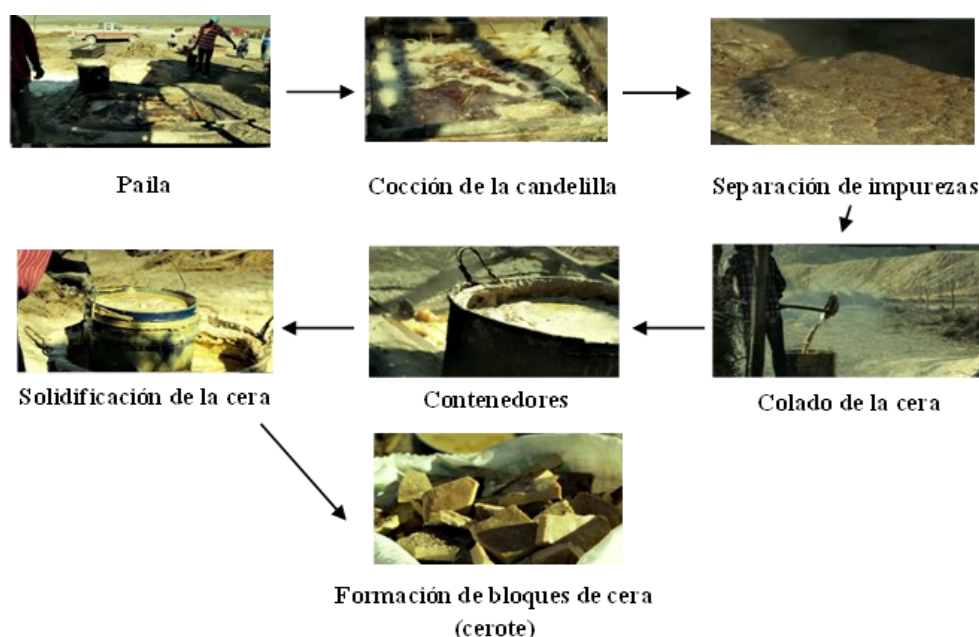


Figura 2. Técnica y proceso de extracción de cera de candelilla (Fotografías del autor de correspondencia).

Analizando la técnica y proceso tradicional de extracción de cera se sugiere que se podría mejorar dicho proceso mediante la implementación de sistemas de control automático de temperatura para evitar el sobrecalentamiento, y con ello la pérdida de calidad de la cera (Torres et al., 2015). Mantener una temperatura uniforme aseguraría una extracción más eficiente y de mayor calidad. Torres (2015) sugirió la construcción e implementación de un horno que se ubique debajo de la paila, de manera que aproveche el calor residual generado durante el proceso de ebullición. Esta técnica permitiría una mayor eficiencia en el uso del combustible, ya que el horno se mantendría caliente incluso cuando no se esté añadiendo más leña, lo que optimizaría los recursos. Aunque actualmente existe una especie de horno debajo de la paila, este es simplemente un hoyo en la tierra sin ningún tipo de control ni cobertura adecuada, lo que limita su efectividad (Ochoa et al., 2010). La falta de un diseño controlado impide que se aproveche de manera óptima el calor generado, además de que no permite regular las condiciones térmicas necesarias para mejorar el rendimiento en la producción de cera. Por otro lado, se sugiere también el estudio de la aplicación de nanopartículas catalíticas para mejorar la purificación de la cera durante el proceso de extracción, obteniendo un producto más uniforme y con propiedades mejoradas (García, 2022). De suma importancia es ofrecer toda la información técnica disponible a los recolectores y procesadores para optimizar las prácticas tradicionales, reduciendo desperdicios y riesgos laborales. Por otra parte, Martínez (2022) propuso una tecnología alterna, en la que sustituye al ácido sulfúrico por ácido cítrico como extractor. Este agente presenta

la característica de no emitir gases tóxicos, es una alternativa muy buena e innovadora, pero en la actualidad los productores no quieren implementarla ya que obtienen más cantidad de cera usando ácido sulfúrico que con el ácido crítico, de acuerdo a la comunicación personal con el señor Gerardo Guerrero quien es un conocedor y experto de la candelilla en diferentes ejidos del estado de Coahuila.

Por otra parte Gerardo Guerrero, menciona que es muy importante que los candelilleros sean partícipes de talleres, conferencias, formaciones y capacitaciones técnicas, para que puedan mentalizarse y valorar acerca de todo lo bueno que pudiera ser un candelillero, ya que en la actualidad las personas que se dedican a esta actividad han mencionado el poco interés de seguir con el trabajo de extracción de la cera de candelilla, debido principalmente al problema del transporte de la planta al lugar de extracción (cada día son más los kilómetros que necesitan recorrer). Así mismo, menciona que la extracción de la cera de candelilla es un trabajo muy pesado y las empresas les pagan “lo mínimo” por el kilogramo de cerote. Sin embargo, el brindar capacitación a los candelilleros para informarles y actualizarles acerca de todo lo concerniente a la cera de candelilla, sería una magnífica estrategia de mejora. Por ejemplo, si los candelilleros conocieran que el valor económico de la cera aumenta según su coloración, especialmente cuando es más clara, probablemente procurarían obtener una cera más limpia y sin impurezas. La cera de candelilla blanca, al ser más pura, alcanza precios más altos en el mercado. Sin embargo, debido a la desinformación existente, muchos productores no conocen esta diferencia y los compradores suelen pagar el mismo precio tanto por la cera blanca como por la amarilla, lo que desincentiva la mejora en la calidad del producto. Por último, el Señor Guerrero, comenta que una estrategia sería implementar talleres prácticos de toda la cadena de valor de la cera de candelilla hacia las comunidades y emprendedores dedicados a esta maravillosa actividad y poder así fomentar un valor agregado a la cera de candelilla; ejemplo, que se les enseñe a realizar velas artesanales decorativas entre otros subproductos; aunado a un sin fin de productos más que se podrían derivar con el uso de la cera de candelilla.

Aspectos agronómicos

Dado que la candelilla es una planta silvestre de mucha relevancia e importancia económica, se están promoviendo técnicas de cultivo controlado en invernaderos que permitan su crecimiento sostenible sin afectar el ecosistema natural. También se exploran prácticas de manejo agronómico orientadas a mejorar el rendimiento del cultivo y reducir su impacto ambiental, tales como la propagación vegetativa controlada, la rotación de cultivos, el uso eficiente del agua mediante riego

por goteo y la aplicación de biofertilizantes y enmiendas orgánicas (Bartolomé, 2017). Se han desarrollado investigaciones sobre tecnología para la producción de plántulas de candelilla mediante semilla, estacas e hijuelos en vivero e invernadero para obtener plantas vigorosas y sanas que sirvan para la reforestación de zonas degradadas (Catalán et al., 2008).

Propagación

Para la propagación de la candelilla se han utilizado plantas completas con raíz, las cuales se exponen al sol de 10 a 15 días y se plantan en un suelo removido y con buena humedad durante el invierno, obteniendo una mortalidad del 10 %, lo que indica que la propagación y multiplicación de la candelilla durante el invierno no requiere de una preparación esmerada del suelo (Villa et al., 2010). También se ha señalado que el mejor método para reproducir a la candelilla en campo es por medio de la plantación de cinco tallos a distancias equidistantes de 50 x 50 cm, lo cual produce una regeneración de la planta superior al 300 % después de dos años (Catalán et al., 2008).

Propagación por semilla

La propagación de la candelilla por semilla presenta su mayor dificultad en la recolección, ya que el fruto “revienta” dejando escapar las semillas y como éstas son muy pequeñas, es difícil localizarlas en el suelo (Catalán et al., 2008). Una solución a esto es recolectar el fruto, ponerlo en recipientes de plástico o vidrio en un lugar soleado; estos recipientes deberán estar cubiertos con una malla para que cuando la semilla reviente, esta permanezca dentro del recipiente y no se pierda (Muñoz, 2019). Después de la obtención de las semillas, se seleccionan las que están en buen estado y se guardan en frascos de vidrio color ámbar o bien, en recipientes de plástico opacos que estén cerrados. Estos recipientes o frascos se almacenan a una temperatura entre 24 y 26 °C (Villa et al., 2010).

Poco se conoce sobre el porcentaje de germinación de la semilla y la respuesta de ésta a los tratamientos pregerminativos. Para la producción de planta mediante semilla, el mejor periodo de siembra de la candelilla en vivero es de marzo a junio, esto para tener una emergencia de plantas de siete a diez días después (Flores et al., 2013). En siembras durante este periodo, las plantas crecen más rápido dado que las condiciones de luz y temperatura son más adecuadas para su crecimiento (Muñoz, 2019). Se pueden sembrar en charolas germinativas, dejar las plantas hasta una altura de 15 cm y después trasplantarlas en recipientes más grandes como son las bolsas de plástico, hasta que las plantas crezcan de 30 a 35 cm y tengan un buen

desarrollo de raíces (Flores et al., 2013). Los riegos deben ser ligeros, principalmente después de la emergencia; estos son cada tercer día. Después, cuando las plantas tengan dos o más centímetros de altura, los riegos deberán ser más pesados y espaciarse hasta cinco días, dependiendo de las condiciones ambientales (López, 2007).

Propagación por estaca

La recolección de tallos se puede hacer durante todo el año, estos deben de tener buen aspecto y ser “fuertes”. Las estacas se escogen de la parte media del tallo que tengan de 20 a 25 cm y tres a cuatro nudos, se dejan siete días para que los cortes sellen o se forme callo (CONABIO 2008). Las estacas se cortan con unas tijeras con filo que deben ser desinfectadas con una solución de hipoclorito de sodio al 10%, por 30 minutos. El mejor método para reproducir a la candelilla en campo es por medio de la plantación de cinco tallos a distancias equidistantes de 50 x 50 cm, lo cual produce una regeneración de la planta superior al 300 % después de dos años (Catalán et al., 2008). Las estacas se plantan durante las primeras horas de la mañana en bolsas de plástico negro de tres litros de capacidad. Se recomienda poner al menos dos estacas por bolsa, clavándolas de 3 a 4 cm, y que al menos un nudo quede enterrado (Catalán et al., 2008). Las macetas con las estacas se colocan dentro de un invernadero de baja tecnología, con ventilación natural y con cubierta de plástico (López, 2007). Durante los primeros doce meses, se coloca con malla sombra sobre el techo del invernadero, con el fin de crear condiciones de temperatura más favorables para la brotación (Moreno et al., 2019). Las macetas se riegan cada tres días los primeros dos meses; después de la plantación, estos se van espaciando hasta regar cada siete días (Blancas, 2017). Las plantas de candelilla producidas por medio de estacas están listas para llevarse a campo a los 18 meses después de la plantación (Hernández, 2007).

De acuerdo con el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), la recolección de estacas se hace después de un período de lluvias, estos deben de tener buen aspecto y deben de tener una altura de 17 a 20 cm (Hernández, 2007). Se llevan a un lugar sombreado y se seleccionan estacas con al menos dos tallos. Se dejan de 10 a 14 días para que la parte basal de las estacas forme callo. Es recomendable tratar a las estacas, antes de la plantación, con algún fungicida para prevenir enfermedades radiculares. Uno de ellos es captan 50, a razón de 1 g por L de agua por un tiempo de inmersión de la parte basal de los hijuelos de tres a cinco minutos (Canales et al., 2006).

Se plantan estacas con al menos dos tallos de 17 a 20 cm, en bolsas de plástico

negro de 3 L durante las primeras horas de la mañana. Estas bolsas se llenan con una mezcla de turba con arena (Catalán *et al.*, 2008). Un día antes de la plantación se aplica un riego hasta saturar el sustrato. El día de la plantación, se aplica otro riego para asegurar que las macetas tengan una humedad adecuada y evitar que las estacas se sequen. Se recomienda llevar a cabo la plantación de las estacas a finales de invierno o principios de la primavera, con el fin de lograr una brotación más temprana y crecimiento de brotes (López, 2007).

Con las técnicas anteriormente planteadas, se considera aplicar nuevas técnicas que permitan una propagación y manejo más sostenible como son la micropropagación, el mejoramiento genético y las prácticas de conservación de suelos, todas con un enfoque en la sostenibilidad agronómica y económica.

La micropropagación es una técnica que utiliza el cultivo de tejidos vegetales en condiciones controladas, para producir plantas genéticamente idénticas, a partir de pequeñas porciones de la planta madre (Moreno *et al.*, 2019). Esta técnica tendrá ciertas ventajas ya que permitiría una propagación masiva de plantas en menor tiempo, se podría garantizar la calidad genética de la planta y se podrán obtener plántulas capaces de adaptarse a condiciones específicas (Jakobek *et al.*, 1986). Por otro lado, se sugiere implementar el mejoramiento genético que busca desarrollar variedades de candelilla con características superiores, como mayor rendimiento de cera, tolerancia a condiciones extremas y resistencia a plagas y enfermedades.

Aspectos ambientales

El impacto ambiental de la candelilla depende de cómo se maneje su explotación. En condiciones naturales, contribuye positivamente al equilibrio ecológico y a la conservación de ecosistemas áridos. Sin embargo, las prácticas no sostenibles pueden llevar a la degradación del hábitat y a la pérdida de este recurso forestal no maderable (Contreras, 2007). La implementación de técnicas sostenibles y regulaciones efectivas serán esenciales para garantizar que la candelilla siga siendo un recurso valioso tanto para la industria como para el medio ambiente. Para ello se sugiere, como ya se mencionó, realizar plantaciones con manejo agronómico, lo cual ya se ha planteado años atrás; sin embargo, los ejidatarios no cuentan con el apoyo técnico-económico para poder implementarlo. Otra alternativa sería, que una vez realizados correctamente los estudios técnicos y las guías (documentos oficiales que permiten el transporte y comercialización legal de productos, subproductos o materias primas forestales), se conceda el permiso y el apoyo por cada estudio técnico para así realizar la plantación de candelilla en el ejido donde se está explotando (Ezcurra, 2003). Además, sería muy importante implementar Áreas Naturales

Protegidas (ANPs) para conservar los ecosistemas que albergan esta especie. Estas áreas no sólo protegen a la candelilla como parte de la biodiversidad local, sino que también mitigarían los impactos de su explotación no regulada, sin embargo, también es importante la implementación de sistemas para la remediación de suelos degradados ya que los suelos donde se encuentra la candelilla suelen estar en regiones áridas y semiáridas, propensas a la degradación debido a la erosión, la sobreexplotación y la baja fertilidad (Moreno et al., 2019). La remediación de estos suelos es clave para garantizar la sostenibilidad de los ecosistemas y del cultivo de candelilla (Núñez et al., 2022). Finalmente, implementar técnicas de conservación de suelos aseguraría un medio sostenible para su cultivo, por lo que ayudaría a mantener la fertilidad y productividad del suelo a largo plazo, proteger contra la desertificación, promover la regeneración natural del ecosistema, y reducir costos al minimizar el uso de fertilizantes y agua (Ávila, 2007).

ASPECTOS DE INNOVACIÓN TECNOLÓGICA

Bagazo

La cera de candelilla es uno de los recursos naturales del semidesierto mexicano más importantes y valiosos, con múltiples aplicaciones industriales. La incorporación de tecnologías innovadoras puede mejorar la eficiencia en la producción, reducir significativamente los impactos ambientales y promover un aprovechamiento más sostenible de la cera de candelilla (Bañuelos et al., 2019). Durante los procesos de extracción de cera de candelilla se generan toneladas de “residuos” (bagazo) al año, los cuales podrían ser considerados como subproductos con potencial agroindustrial de mayor valor agregado (Ávila, 2007). Este residuo presenta características nutricionales que lo convierten en sustrato para la producción de enzimas de interés biotecnológico como la elagitanasa (Bañuelos et al., 2019). También se ha demostrado que el bagazo presenta compuestos polifenólicos como los elagitaninos de alto peso molecular, con capacidades biológicas importantes, tales como antioxidante y antimicrobiana contra bacterias como *Erwinia amylovora*, *Clavibacter michiganensis* y *Xanthomonas axonopodis* (Moreno et al., 2019).

Trazabilidad digital

Otra de las nuevas tecnologías es la de implementar una trazabilidad digital, que es esencial para garantizar un comercio justo, ético y sostenible de la cera de candelilla, considerando que la extracción de cera de candelilla está ligada a comunidades rurales. Se sugiere realizar una estrategia de trazabilidad durante toda la cadena de valor, partiendo desde la recolección de la planta en el campo, hasta el producto final. Esto ayudará a tener en cuenta aspectos importantes como el origen

de la materia prima, condiciones laborales y sobre todo la certificación de las buenas prácticas sostenibles (Rocha et al., 2023). Además, la incorporación de etiquetas inteligentes facilitaría el rastreo en tiempo real de la ubicación y características tanto del producto como de los actores involucrados en cada etapa del proceso productivo, ayudando así a evitar fraudes y mezclas de cera que no estén certificadas. Estas nuevas técnicas proporcionarían garantía de productos éticos y sostenibles dentro de los mercados. Además, se podría fomentar una mayor confianza y seguridad por parte del consumidor en productos derivados de la cera de candelilla (Quiñones, 2022).

Extracción con bióxido de carbono en estado supercrítico

Tradicionalmente, la extracción de cera de candelilla por varios años ha involucrado métodos muy rudimentarios que implica hervir la planta en una solución con ácido sulfúrico, lo que hace que este proceso sea efectivo, pero muy peligroso y pone en riesgo la salud de los productores, lo que se sugiere que se modifique este proceso (Núñez et al., 2022). Una alternativa sería utilizar bióxido de carbono en estado supercrítico para extraer la cera. Este método, al ser más limpio (pues no deja residuos tóxicos), permite obtener mayores rendimientos y purezas. Además, al favorecer la ruptura de las células vegetales, podría acelerar el proceso de extracción, reduciendo tanto el tiempo como la energía invertida por los candelilleros. Sin embargo, para lograr esto se tendría que considerar el elevado costo inicial y de mantenimiento de este tipo de tecnologías e infraestructuras, además de la necesidad de recursos humanos altamente especializados (Núñez et al., 2022).

Implementación de la IA en toda la cadena de valor para el aprovechamiento integral de la candelilla

Por otro parte el implementar la inteligencia artificial sería una herramienta clave para mejorar todos los procesos relacionados con la cera de candelilla en toda la cadena de valor, desde la recolección hasta la comercialización del producto final (García, 2022). Por medio de imágenes satelitales y drones, se podrán obtener datos climáticos y del suelo, para poder identificar las áreas más productivas y los momentos que sean óptimos para la recolección, además de colocar un sistema de visión artificial para conocer, identificar y analizar la calidad de la cera de candelilla, colocar plataformas de inteligencia artificial que ayude a optimizar y mejorar las rutas de transporte para así poder obtener una mejor gestión de logística (García, 2022). A partir de lo antes mencionado se podrían obtener beneficios como son: la reducción del desperdicio en el proceso de extracción, tener una mejor calidad del producto final y tener una mayor sostenibilidad en la producción.

Con todo lo mencionado anteriormente, en el siguiente diagrama (Figura 3) se plantea una propuesta integral (aspectos: *culturales*, *agronómicos*, *tecnológicos*, *ambientales*) para llevar a cabo un manejo equilibrado y holístico de la obtención de cera de candelilla, dentro del cual se considera muy importante reforzar el conocimiento comunitario, y mejorar las prácticas ancestrales que tradicionalmente realizan los candelilleros, llevando a cabo talleres, capacitaciones y manejo de buenas prácticas de aprovechamiento con el fin de reducir la brecha de la ignorancia, el impacto ambiental y el impacto social.

El nuevo enfoque holístico de la industria de la cera de candelilla se centraría básicamente en el desarrollo tecnológico e industrial llevando a cabo técnicas avanzadas para desarrollar nuevos productos a partir de la cera, así como implementar el aprovechamiento de los subproductos obtenidos derivados de la extracción (Canales *et al.*, 2006).

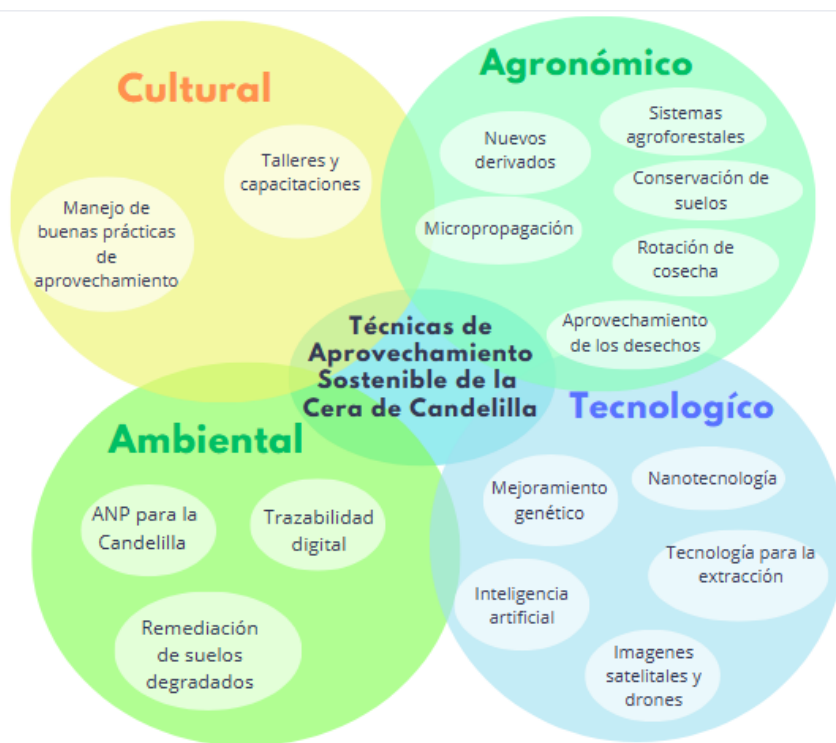


Figura 3. Enfoque integral para el aprovechamiento equilibrado y sostenible de la cera de candelilla, respetando el medio ambiente, mejorando las condiciones sociales y optimizando los procesos tecnológicos e industriales (Diagrama del autor).

Finalmente, es importante destacar que México es el principal país productor de cera de candelilla a nivel mundial. Se estima que existe una producción anual de entre 800 y 1,200 toneladas de cera de candelilla (Multiceras, 2022). De esta canti-

dad, alrededor del 80% se destina a la exportación, siendo Estados Unidos, Alemania, Francia y Japón los principales países receptores. Empresas internacionales como L'Oréal, Estée Lauder, Procter & Gamble y Unilever han registrado múltiples formulaciones que incluyen cera de candelilla, lo cual evidencia su relevancia dentro de sus líneas de productos cosméticos como bálsamos labiales, cremas, mascarillas y maquillaje (CONABIO, 2008). La distribución de estas empresas se concentra en regiones con fuerte desarrollo industrial, como Europa, América del Norte y Asia. En estos mercados, la demanda de productos sustentables y veganos ha favorecido la inclusión de la cera de candelilla como sustituto de ceras animales como la de abeja, lo que refuerza su importancia comercial y estratégica.

PERSPECTIVAS

Las perspectivas sobre el aprovechamiento integral de la cera de candelilla revelan un campo fértil para el desarrollo científico, tecnológico y socioambiental en las regiones áridas del norte de México. A partir del análisis de los aspectos culturales, agronómicos, ambientales y tecnológicos, estas perspectivas se articulan como una síntesis estratégica que impulsa la acción coordinada para el manejo de la agroindustria de la candelilla entre la ciencia, la comunidad, el sector empresarial y las políticas públicas.

FINANCIAMIENTO

No aplicable

AGRADECIMIENTOS

Agradecer al Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA), en especial a la coordinación de posgrado por el apoyo brindado para la realización de este trabajo.

CONFLICTO DE INTERES

Los autores declaran que no existe ningún conflicto de interés financiero, personal, académico o de otra índole que haya influido inapropiadamente en la realización de este trabajo, su análisis o su publicación. Todas las opiniones y resultados presentados reflejan únicamente el criterio académico de los autores.

REFERENCIAS

- Ávila, F. La candelilla (*Euphorbia antisyphilitica* Zucc) en el norte de Zacatecas. [Tesis de licenciatura]. México: Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro; 2007. Recuperado a partir de: <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/6024/t16513%20%20%20avila%20rebollar%2c%20francisco%20%20tesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Bañuelos Revilla E., Palacio Núñez J., Martínez Montoya J., Flores Cano J. 2019. Potential distribution and abundance of candelilla (*Euphorbia antisyphilitica*) in northern Zacatecas, Mexico. Scientific magazine Madera y Bosques. <https://doi.org/10.21829/myb.2019.2511657>
- Bartolomé H.A. Sobrevivencia de tres plantaciones de candelilla en diferentes condiciones en el noreste de Coahuila. [Tesis de licenciatura]. México: Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro; 2017. Recuperado a partir de: <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/handle/123456789/42155>
- Blancas, J. 2017. Los productos forestales no maderables de México. <http://red-pfnm.org.mx>
- Cabello V., Javier C., Galindo S., Bermúdez B., Berumen P., Orta Á., & Garza V. 2013. Cera de candelilla y sus aplicaciones. Avances en Química, 8(2), 105–110. <http://www.saber.ula.ve/avancesenquimica>
- Canales, E., Canales, Martínez y E.M. Zamarrón. 2006. Candelilla, del desierto mexicano hacia el mundo. CONABIO. Biodiversitas 69:1-5. <https://www.cofemersimir.gob.mx/expediente/13817/mir/32651/anexo/910494>
- Catalán E., Antonio M., Ibarra I., Abel M. C., López R., & Ávalos J. E. 2008. Técnicas de producción de plantas de candelilla por semilla, estaca e hijuelos. INIFAP. http://cenid-raspa.inifap.gob.mx/demo/modulo/Folletos%20tecnicos/2008/13_T%C3%A9cnicas%20de%20Producci%C3%B3n%20de%20Plantas%20de%20Candelilla%20por%20Semilla,%20Estaca%20e%20Hijuelos.pdf
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 2008, 17,12. Conservación, uso y comercio de la candelilla. Gobierno Federal. <http://www.conabio.gob.mx>
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 2022. Guía informativa para la elaboración de estudios técnicos de aprovechamiento sustentable de candelilla en el marco de las disposiciones de la CITES. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Ciudad de México.
- Contreras, G. La obtención y comercialización de la cera de candelilla e ixtle de lechuguilla. [Tesis de licenciatura]. México: Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro; 2007. Recuperado a partir de: http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/2670/1234_benjamin%20lopez%20cortes.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Diario Oficial de la Federación.1999. NOM-018-RECNAT-1999. SEMARNAT. <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/libros2009/DO2264.pdf>
- Emmanuel Toribio Ferrer, & Villalón Mendoza, H.2022. Impacto del gradiente altitudinal en la producción de una plantación forestal comercial de candelilla (*Euphorbia antisyphilitica* Zucc.). Revista Científica en Coahuila, México.
- Ezcurra, E.2003. Guía para la realización de trabajos forestales. Montevideo.
- Flores, M. Situación actual de las poblaciones de candelilla: Inventario, su propagación sexual y asexual en el estado de Coahuila. [Tesis de Doctorado]. México: Universidad Autónoma de Nuevo León. 2013. Recuperado a partir de: <http://epri-nts.uanl.mx/3425/1/1080256791.pdf>
- Flores del Ángel M. L., Rodríguez-Flores A. R., Martínez Catalán E. Á., González López M. G., & Hernández Álvarez M. A.-V.2013. Morphology, viability and germination of candelilla seeds (*Euphorbia antisyphilitica* Zucc.). Revista Internacional de Botánica Experimental. <https://doi.org/10.32604/phyton.2013.82.161>
- García E. Aislamiento y caracterización de microorganismos asociados a la planta de candelilla (*Euphorbia antisyphilitica* Zucc) y su efecto en la germinación y crecimiento en *Phaseolus vulgaris*. [Tesis de licenciatura]. México: Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro; 2022. Recuperado a partir de: <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/handle/123456789/48970>
- Hernández P. Respuesta de estacas de candelilla (*Euphorbia antisyphilitica* Zucc.) a diferentes promotores del enraizamiento y aplicación de riegos. [Tesis de licenciatura]. México: Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro; 2007. Recuperado a partir de: <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/handle/123456789/2671>
- Jakobek, J., Backhaus, R., & Hernández.1986. Micropropagation of candelilla, *Euphorbia antisyphilitica* Zucc. Plant Cell, Tissue and Organ Culture, 7, 145–148. DOI: 10.1007/BF00043038
- López B. Producción de plántula de candelilla por hijuelos: Dosis de fertilización y aplicación de riegos. [Tesis de licenciatura]. México: Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro; 2007. Recuperado a partir de: http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/2670/1234_benjamin%20lopez%20cortes.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- López J. Aprovechamiento de la cera de candelilla (*Euphorbia antisyphilitica* Zucc.) en el norte de México. [Tesis de licenciatura]. México: Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro; 2014. Recuperado a partir de: <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/handle/123456789/3649>
- Martínez S. (2022, diciembre 14). Mejoran proceso para extracción de cera de candelilla. Facultad de Agronomía de la UANL. Recuperado a partir de: <https://vidauniversitaria.uanl.mx/sustentabilidad/mejoran-proceso-para-extraccion-de-cera-de-candelilla/>

- Moreno Reséndez A., Hernández Herrera J. A., Valenzuela Núñez L. M., & Martínez Salvador M. 2019. Modelación de la presencia de *Euphorbia antisyphilitica* Zucc mediante propiedades físicas y químicas del suelo. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios, 6(18). DOI: <https://doi.org/10.19136/era.a6n18.1910>
- Muñoz, C. (2019). Método para incrementar los metabolitos secundarios en candelilla y orégano.
- Mycotte de la Peña M. L., Rodríguez Pérez J. M., & Torres Arellano J. T. 2021. Prácticas para un desarrollo local sustentable en comunidades rurales candelilleras: El caso de dos ejidos de Coahuila, México. Revista de divulgación y transferencia tecnológica. DOI: <https://doi.org/10.59741/agraria.v18i3.42>
- Multiceras. 2022. Multiceras. <https://www.multiceras.com>
- Núñez García I. C., Rodríguez Flores L. G., Guadiana De Dios M. H., González Hernández M. D., Martínez Ávila G. C. G., Gallegos Infante J. A., González Laredo R., Rosas Flores W., Martínez Gómez V. J., Rojas R., Villanueva Fierro I., & Rutiaga Quiñones M. 2022. Candelilla wax extracted by traditional method and an ecofriendly process: Assessment of its chemical, structural and thermal properties. Molecules, 27(12). <https://doi.org/10.3390/molecules27123735>
- Ochoa E., Saucedo Pompa S., De la Garza H., Martínez D. G., Rodríguez R., & Aguilar González C. N. 2010. Extracción tradicional de cera de *Euphorbia antisyphilitica*. Revista Científica de la Universidad Autónoma de Coahuila. <http://www.postgradoinvestigacion.uadec.mx/AQM>
- Quiñones M. 2022. Candelilla wax extracted by traditional method and an ecofriendly process: Assessment of its chemical, structural and thermal properties. Molecules, 27(12). <https://doi.org/10.3390/molecules27123735>
- Rocha Estrada A., Foroughbakhch Pournavab R., Guzmán Lucio M. A., & Alvarado Vázquez M. A. 2023. Candelilla, *Euphorbia antisyphilitica* Zucc., aprovechamiento tradicional en el Norte de México. Revista Ciencia UANL, 24(110), 19–28. Recuperado a partir de <https://cienciauanl.uanl.mx/ojs/index.php/revista/article/view/245>
- Rojas R., Tafolla Arellano J. C., & Martínez Ávila G. C. G. 2021. *Euphorbia antisyphilitica* Zucc.: A source of phytochemicals with potential applications in industry. Plants, 10(1), 1–9. <https://doi.org/10.3390/plants10010008>
- Rojas Molina R., Saucedo Pompa S., de León Zapata M. A., Jasso Cantú D., & Aguilar, N. 2011. Pasado, presente y futuro de la candelilla. Revista Mexicana de Ciencias Forestales. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11322011000400003
- Romahn C. F. 1985. Principales productos forestales no maderables de México. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Estado de México. México. 376 p.
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 1999, 23, 4. NOM-018-SEMARNAT-1999. Diario Oficial de la Federación. <https://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/3332/1/nom-018-semarnat-1999.pdf>
- Steinmann V. 2002. Diversidad y endemismo de la familia Euphorbiaceae en México. Acta Botánica Mexicana, 61, 61–93. DOI: <https://doi.org/10.21829/abm61.2002.909>
- Torres Castro A., Garza Navarro M. A., Ortiz Méndez U., & González González V. 2015. Candelilla del semidesierto mexicano como fuente de biocombustible. Revista científica. XVIII (69). <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2009.07.027>
- Villa Castorena M., Catalán Valencia E. A., Inzunza Ibarra M. A., González López M. de L., & Arreola Ávila J. G. 2010. Production of candelilla seedlings (*Euphorbia antisyphilitica* Zucc.) by cuttings. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente, 16(1), 37–47. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2009.07.027>