

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE ESCALAMIENTO PARA LA OBTENCIÓN
DE MICRO-CELULOSA Y COMERCIALIZACIÓN A PARTIR DE FIBRAS DE
LECHUGUILLA.

Tesis

Que presenta MÓNICA DANIELA ALVARADO MACÍAS
como requisito parcial para obtener el grado de
MAESTRO EN CIENCIAS EN DESARROLLO E INNOVACIÓN DE PROCESOS
BIOTECNOLÓGICOS

Saltillo, Coahuila

Noviembre 2025

OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE ESCALAMIENTO PARA LA OBTENCIÓN
DE MICRO CELULOSA Y COMERCIALIZACIÓN A PARTIR DE FIBRAS DE
LECHUGUILLA.

Tesis

Elaborada por MÓNICA DANIELA ALVARADO MACÍAS como requisito parcial
para obtener el grado de MAESTRO EN CIENCIAS EN DESARROLLO E
INNOVACIÓN DE PROCESOS BIOTECNOLÓGICOS



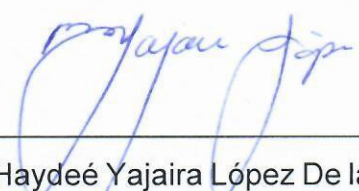
Dra. María Hernández González

Director de tesis



Dr. Francisco Hernández Centeno

Asesor



Dra. Haydeé Yajaira López De la Peña

Asesor



Dra. Dolores Gabriela Martínez Vázquez

Asesor



Dr. Antonio Flores Naveda

Subdirector de postgrado

UAAAN

Saltillo, Coahuila

Noviembre de 2025

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por acompañarme toda mi vida, darme salud, bendiciones y dejarme llegar hasta este momento tan importante para mí.

A mi familia por su confianza, apoyo y por siempre motivarme a seguir con mis sueños y metas.

A la Dra. María Hernández González por brindarme la oportunidad de formar parte de este proyecto y las herramientas para crecer como profesional. Más allá de su guía académica, agradezco sus consejos y apoyo, que hicieron de esta etapa una experiencia valiosa y cercana.

Al Dr. Francisco Hernández Centeno por todo su apoyo, paciencia y conocimientos compartidos para conseguir que este proyecto concluyera eficazmente.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por la oportunidad de realizar una carrera profesional, por todas las personas que conocí y todas las experiencias y momentos que viví aquí.

DEDICATORIAS

A mis padres María Eugenia Macías Quintana y Miguel Ángel Alvarado Villa quienes han puesto su amor Incondicional y confianza en mí siempre, por sus valores y consejos que han hecho de mí una mejor mujer y me han dado la oportunidad de cumplir mis sueños.

A mi hermano Miguel Ángel Alvarado Macías por siempre ser mi compañero incondicional de aventuras y mi fuerte motivación y alegría.

A mi prometido Ivan Gómez Carmona por su apoyo incondicional durante la finalización de este proyecto. Su confianza, amor y paciencia fueron clave para alcanzar esta meta.

A mi mejor amiga Alexia Domínguez Villarreal por ser mi compañera a lo largo de la licenciatura y maestría, compartiendo aprendizajes, logros y metas y que hicieron este camino más significativo.

A mi mejor amigo Luis Jiménez Martínez por su amistad desde hace años, por alentarme siempre a seguir adelante a pesar de los malos momentos y formar parte de mi vida y de este proceso.

CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS.....	III
CONTENIDO	V
INDICE DE FIGURAS.....	¡Error! Marcador no definido.
INDICE DE CUADROS.....	VIII
RESÚMEN.....	X
ABSTRACT	XIV
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. JUSTIFICACIÓN	¡Error! Marcador no definido.
3. HIPÓTESIS	3
4. OBJETIVOS	4
4.1. General.....	4
4.2. Específicos.	4
5. REVISIÓN DE LITERATURA	5
5.1. Materiales biobasados.....	5
5.1.1 Generalidades.....	5
5.1.2 Ventajas y desventajas.....	5
5.1.3 Biocompósitos.....	5
5.1.4 Técnicas de fabricación.....	6
5.1.5 Aplicaciones	6
5.2 Celulosa	7
5.2.1 Fuentes	8
5.3 Fibras naturales	8
5.3.1 Fibras de <i>Agave lechuguilla</i> Torr.	9
5.3.2 Obtención y aprovechamiento de la fibra.....	10
5.3.3 Extracción de la fibra	10
5.3.3.1 Tallado manual.....	10
5.3.3.2 Tallado mecánico	11
5.4 Micro-celulosa (MC)	11
5.5 Economía verde (EV)	11
5.5.1 Generalidades.....	11
5.5.2 Definición	12
5.5.3 Indicadores de la economía verde.....	12
5.5.4 EV en México	13

5.6 Viabilidad de un proyecto	14
5.6.1 Viabilidad.....	14
5.6.2 Proyecto	15
5.6.3 Indicadores.....	15
5.6.3.1 VAN (Valor Actual Neto).....	15
5.6.3.2 TIR (Tasa Interna de Retorno).....	15
5.6.3.3 TRI (Tasa de Rentabilidad Inmediata)	16
5.6.3.4 Retorno de inversión o Payback.....	16
6. MATERIALES Y MÉTODOS.....	17
ETAPA 1: Conocer el entorno concerniente al potencial de uso y demandas de la micro-celulosa.	17
ETAPA 2: Identificar las zonas potenciales de la región de Coahuila y analizar los niveles de producción de materia prima bajo un esquema de uso sustentable y conservación del <i>Agave lechuguilla</i> Torr.	17
ETAPA 3: Establecer las condiciones para la instalación de una planta tratadora de fibras.	19
ETAPA 4: Elaborar un análisis de factibilidad.....	20
ETAPA 5: Diseñar la presentación del producto terminado y establecer canales de comercialización.....	20
ETAPA 6: Verificar el cumplimiento de las normativas ya establecidas para el cumplimiento de las normas de impacto ambiental.	20
7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	21
ETAPA 1: Conocer el entorno concerniente al potencial de uso y demandas de la MC.	21
ETAPA 2: Identificar las zonas potenciales de la región de Coahuila y analizar los niveles de producción de materia prima bajo un esquema de uso sustentable y conservación del <i>Agave lechuguilla</i> Torr.	31
ETAPA 3: Establecer las condiciones para la instalación de una planta tratadora de fibras.	32
ETAPA 4: Elaborar un análisis de factibilidad.....	33
ETAPA 5: Diseñar la presentación del producto terminado y establecer canales de comercialización.....	45
ETAPA 6: Verificar el cumplimiento de las normativas ya establecidas para el cumplimiento de las normas de impacto ambiental.	46

8. CONCLUSIONES.....	48
9. ANEXOS	50
LITERATURA CITADA	51

LISTA DE CUADROS

CUADRO 1. Representatividad del sector de fabricación de MC.	34
CUADRO 2. Representatividad de la relación costo-beneficio (IR).	45

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. Mapa de localización de áreas productoras en Coahuila.....	18
FIGURA 2. Fibras de lechuguilla.....	18
FIGURA 3. Proceso para la obtención de MC de fibras de lechuguilla.....	19
FIGURA 4. Frecuencia de uso de la MC.....	21
FIGURA 5. Calidad de la MC que adquieren.	22
FIGURA 6. Precio adquirido de la MC.	23
FIGURA 7. Precio pagado por la MC.....	24
FIGURA 8. Futuro de compra de la MC.....	25
FIGURA 9. Filosofía de sustentabilidad.	26
FIGURA 10. Temporadas de mayor volumen de MC.....	27
FIGURA 11. Relación entre calidad y precio.....	28
FIGURA 12. Satisfacción de las necesidades.....	29
FIGURA 13. Interés sobre información de nuestra MC.....	30
FIGURA 14. Layout de la planta tratadora.....	32
FIGURA 15. Crecimiento del número de empresas de la industria química.....	33
FIGURA 16. Representación del número de empresas en el sector de la MC.....	35
FIGURA 17. Representación del empleo en el sector de la MC.....	36
FIGURA 18. Representación de salarios en el sector de la MC.....	37
FIGURA 19. Producción y valor agregado de MC durante el periodo 2003-2018.....	38
FIGURA 20. Inversión en MC durante el periodo 2003- 2018.....	39
FIGURA 21. Formación de activos fijos en MC para el periodo 2003-2018.....	40
FIGURA 22. Gastos de fabricación de MC en el periodo 2003-2018.....	41
FIGURA 23. Ingresos generados por la industria de la MC en el periodo 2003-2018.....	42
FIGURA 24. Flujos financieros del proyecto (ingreso-costos).....	43
FIGURA 25. Relación costos beneficios.....	44
FIGURA 26. Vista del empaque de 1 kg para producto MC.....	46
FIGURA 27. Vista de empaque de 20 kg para producto de MC.....	46

RESÚMEN

OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE ESCALAMIENTO PARA LA OBTENCIÓN DE MICRO-CELULOSA Y COMERCIALIZACIÓN A PARTIR DE FIBRAS DE LECHUGUILLA.

Por

MÓNICA DANIELA ALVARADO MACÍAS
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN DESARROLLO E INNOVACIÓN DE
PROCESOS BIOTECNOLÓGICOS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DRA. MARÍA HERNANDEZ GONZALEZ-ASESOR

Saltillo. Coahuila

Noviembre 20254

RESÚMEN

El presente trabajo aborda la optimización del proceso de escalamiento para la obtención de micro-celulosa (MC) a partir de fibras de *Agave lechuguilla* Torr., con el propósito de establecer bases tecnológicas, económicas y ambientales para su producción y comercialización sustentable. El estudio responde a la necesidad de generar alternativas de valor agregado en regiones áridas y semiáridas del estado de Coahuila, donde esta especie constituye un recurso natural de amplia disponibilidad y potencial industrial.

La investigación se desarrolló en seis etapas que comprendieron: el análisis del entorno productivo y de mercado, la identificación de zonas potenciales de aprovechamiento, el diseño de planta tratadora y equipos de procesamiento, la evaluación de factibilidad financiera, el diseño de producto y canales de comercialización, y la verificación del cumplimiento normativo ambiental. El proceso de obtención de MC incluyó la aplicación de técnicas de hidrólisis ácida y alcalina, con procedimientos optimizados para reducir el consumo de agua mediante su reutilización controlada por monitoreo de pH.

Los resultados muestran un alto potencial de demanda industrial en sectores como el papelerero, cosmético y de la construcción, con una preferencia creciente por productos biodegradables y de origen natural. El análisis financiero evidenció indicadores positivos de viabilidad: una relación beneficio-costos de 3.71, un periodo de recuperación de inversión de un año y una tasa interna de retorno superior al 1 %, lo que confirma la factibilidad económica del proyecto. Asimismo, se desarrollaron diseños registrados ante el Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial (IMPI), tanto para el equipo de procesamiento como para el layout de la planta semiindustrial.

El proyecto contribuye a la consolidación de una cadena de valor biotecnológica regional, al promover la utilización racional de recursos naturales, el impulso de la economía verde, y la generación de empleo especializado en comunidades rurales. Los hallazgos demuestran que la micro-celulosa de *Agave lechuguilla* es un bioproducto viable, rentable y ambientalmente sostenible, con perspectivas

favorables para su integración en los mercados nacionales e internacionales de materiales ecológicos.

Palabras clave: *Agave lechuguilla*, micro-celulosa, biocompuestos, escalamiento, economía verde, sustentabilidad.

ABSTRACT

OPTIMIZATION OF THE SCALING PROCESS FOR OBTAINING AND
MARKETING MICRO-CELLULOSE FROM LECHUGUILLA FIBERS.

BY

MÓNICA DANIELA ALVARADO MACÍAS
MASTER OF SCIENCE IN DEVELOPMENT AN INNOVATION OF
BIOTECHNOLOGICAL PROCESSES

AUTONOMUS AGRARIAN UNIVERSITY ANTONIO NARRO
DRA. MARÍA HERNANDEZ GONZALEZ-ADVISER

Saltillo. Coahuila

November 2025

ABSTRACT

This research focuses on the optimization of the scaling process for microcellulose (MC) production derived from *Agave lechuguilla* Torr. fibers, aiming to establish the technological, economic, and environmental foundations for its sustainable production and commercialization. The study addresses the need to generate value-added alternatives in arid and semi-arid regions of Coahuila, where this native species represents a highly available and industrially promising natural resource.

The project was developed in six stages: analysis of the productive and market environment, identification of potential harvesting zones, design of the treatment plant and processing equipment, financial feasibility assessment, product design and commercialization strategy, and verification of environmental compliance. The MC production process involved acid and alkaline hydrolysis techniques, optimized through water reuse cycles monitored by pH control to ensure efficient resource utilization.

The results revealed a strong industrial demand in sectors such as paper, cosmetics, and construction, with an increasing preference for biodegradable and natural-origin materials. The financial analysis showed positive indicators of viability, including a benefit-cost ratio of 3.71, a one-year payback period, and an internal rate of return greater than 1%, confirming the economic feasibility of the project. Additionally, prototype equipment and the semi-industrial plant layout were designed and registered with the Mexican Institute of Industrial Property (IMPI).

This project contributes to the strengthening of a regional biotechnological value chain, promoting the rational use of natural resources, the development of a green economy, and the creation of specialized employment in rural communities. Findings demonstrate that *Agave lechuguilla*-based microcellulose is a viable, profitable, and environmentally sustainable bioproduct, with promising prospects for integration into national and international markets for eco-friendly materials.

Keywords: *Agave lechuguilla*, microcellulose, biocomposites, scale-up, green economy, sustainability.

INTRODUCCIÓN

Definimos un biomaterial como cualquier producto o sustancia, derivado directamente de la biomasa natural o creado a partir de recursos biológicos renovables. Estos materiales están pensados para tener un desempeño funcional en diversas industrias como la alimentaria, textil o de construcción, ofreciendo alternativas más sostenibles a los derivados de fósiles. Además, un biomaterial funciona comúnmente como un componente (natural o sintético) que se adhiere o se integra a otra matriz para mejorar las características del compuesto final. Las aplicaciones de los biomateriales son muy amplias ya que la naturaleza multidisciplinaria hace que la ciencia e ingeniería de los biomateriales comparta áreas temáticas pertenecientes a variados sectores de conocimiento como son; las ciencias básicas, especialidades médicas, ciencias biomédicas e ingeniería. Uno de los materiales que se ha venido investigando es la celulosa que es un biopolímero natural y es el principal componente de las paredes celulares de todas las plantas terrestres que se encuentran abundantemente en nuestro planeta; se estima una producción de celulosa de 100,000 millones de toneladas por año, cabe mencionar que este material es renovable y biodegradable, no es tóxico por lo que es de un uso seguro.

Una planta del semidesierto ampliamente conocida, como lo es *Agave lechuguilla* Torr., ha sido tradicionalmente subutilizada a pesar de su enorme potencial. Aunque ha sido reconocida y aprovechada en ciertas regiones de México, especialmente en el norte del país, su uso a gran escala sigue siendo limitado en comparación con otras especies de agave y al ser rica en celulosa la hace útil en aplicaciones industriales, textiles y de biocompuestos.

La resistencia de esta planta y su bajo impacto ambiental, hacen de esta una fuente altamente prometedora para la industria de los biomateriales sostenibles. Históricamente, las fibras vegetales naturales o simplemente fibras naturales (FN) se utilizaron empíricamente para reforzar varios materiales de construcción, como es el caso de la producción de materia textil, sin embargo, sólo

recientemente los científicos comienzan a estudiar la aplicación de este tipo de fibra.

En este trabajo la micro-celulosa (MC) se obtiene mediante una hidrólisis ácida controlada, resultando una fracción soluble en ácido y otra insoluble. Este proceso ha sido escalado y optimizado a nivel prototipo incluyendo un layout para distribución de planta, diseños de equipos, que están en proceso de registro de propiedad industrial, así como el diseño de producto terminado y el estudio financiero para su comercialización.

El *Agave lechuguilla* es una planta nativa del desierto que se adapta bien a suelos áridos y condiciones de baja precipitación. La producción de fibra de lechuguilla en Coahuila no solo representa una actividad económica significativa para muchas familias, sino que también ofrece oportunidades para el desarrollo de productos industriales sostenibles. La investigación y la innovación en el aprovechamiento de su subproducto principal, que es la fibra, podría potenciar aún más su valor económico y ecológico en el estado.

Se ha observado que la lechuguilla ha perdido valor dentro de la sociedad, por lo que ha existido la migración de la producción de esta. En los años 2018 y 2021 se realizó una propuesta para el desarrollo de una metodología que permitiera darle valor agregado y como resultado las mismas comunidades solicitaron los estudios de escalamiento y los canales para la comercialización del producto tratado, por lo que el presente proyecto responde a esta necesidad por lo que es realizado para optimizar el proceso de escalamiento y sus instalaciones.

El *Agave lechuguilla* Torr tiene un enorme potencial de producción y tratamiento para convertirse en una fuente de productos de valor agregado, con alta demanda en sectores clave. Con tecnologías adecuadas y una visión estratégica, puede ser base de una industria regional sostenible, generadora de empleo, innovación y exportaciones, especialmente para zonas áridas como el norte de Coahuila.

HIPÓTESIS

H₀: La micro-celulosa proveniente de fibras de *Agave lechuguilla* Torr es apta para ser procesada y viable para la comercializada como producto de valor agregado que contribuya a la economía de las comunidades de las zonas áridas y semi áridas en el estado de Coahuila.

H_a: La micro-celulosa proveniente de fibras de *Agave lechuguilla* Torr no es apta para ser procesada, ni es viable para ser comercializada como producto de valor agregado que contribuya a la economía de las comunidades de las zonas áridas y semi áridas en el estado de Coahuila.

OBJETIVOS

General.

Establecer las condiciones para la producción y comercialización sustentable de micro-celulosa proveniente de las fibras de *Agave lechuguilla* Torr.

Específicos.

- Conocer el entorno concerniente al potencial de uso y demanda de micro-celulosa, con las características fisicoquímicas de los productos derivados del *Agave lechuguilla* Torr. y analizar las condiciones actuales del mercado demandante.
- Identificar las zonas productoras potenciales de la región de Coahuila y analizar los niveles de producción de materia prima bajo un esquema de uso sustentable y conservación del *Agave lechuguilla* Torr.
- Establecer las condiciones para la instalación de una planta tratadora de fibras de lechuguilla para la producción semi industrial de micro-celulosa.
- Diseñar la presentación del producto terminado y explorar canales de comercialización.
- Verificar el marco normativo para el cumplimiento de las normas de impacto ambiental derivadas de los procesos de explotación, transformación y comercialización del producto terminado.

REVISIÓN DE LITERATURA

Materiales biobasados

Generalidades

Una alternativa ecológica a los materiales derivados del petróleo que suelen ser perjudiciales desde el momento en que se fabrican hasta que se desechan, son los materiales de origen biológico (U.S. Department of energy., 2023). Estos materiales están conformados por una biomasa que se obtiene a partir de materia orgánica de origen vegetal o animal.

Ventajas y desventajas

La ventaja más importante de estos biopolímeros es la capacidad de biocompatibilidad y biodegradabilidad, ahora bien, es importante mencionar que estos atributos pueden ser transformados al combinarse con otros polímeros. Otra de las ventajas de estos materiales es que existe una amplia variedad en su composición y sus aplicaciones. A pesar de que estos cuentan con ciertas ventajas también es necesario mencionar sus desventajas como son que los biopolímeros se encuentran muy expuestos a ataques bacterianos y de hongos, es por eso necesario sumar elementos antimicrobianos y antifúngicos que trabajen sobre esos problemas de acuerdo con las aplicaciones requeridas. Por otra parte, es muy cuestionable su biodegradabilidad, vida útil, su resistencia física, mecánica y química. Otro factor para considerar es que su fabricación puede llegar a ser muy costosa y con un bajo volumen de producción (Vinod et al., 2020).

Biocompósitos

Los biocompósitos también conocidos como materiales biodegradables, compósitos “verdes” o biopolímeros son aquellos compuestos conformados por una matriz y un refuerzo que combinan uno o más materiales provenientes de un origen natural y que su finalidad primordial es ser biodegradables. Los polímeros funcionan como matrices y provienen comúnmente de los almidones o aceites vegetales, en caso de los refuerzos existen un sinnúmero de variedades orgánicas

provenientes de fibras vegetales como el algodón, lino, cáñamo, madera, coco, caña, palma y algunos tipos de agave (Fowler et al., 2006).

La característica principal de estas matrices y refuerzos es que al acoplarse logren conservar y combinar sus cualidades individuales (Ferrero et al., 2013).

En el estudio de los materiales, los biocompósitos representan un gran valor ya que estos producen propiedades singulares que de forma natural no se pueden encontrar. Por otra parte, se pueden personalizar sus propiedades de su composición y procesamiento, lo cual favorece su uso en distintas áreas o sectores de la industria como por ejemplo la biomédica, alimentaria, papelera, cosmética, construcción, textil, petrolera, minera, cerámica, automotriz, entre otros (Pilla., 2011).

Técnicas de fabricación

Las metodologías empleadas en la creación de biocompósitos derivan principalmente de técnicas ya establecidas para la manipulación de plásticos y materiales compuestos. Entre estas técnicas se encuentran el moldeo por prensado, el laminado manual, el bobinado de filamentos, la pultrusión, la extrusión, el moldeo por inyección, el moldeo por compresión, el moldeo por transferencia de resina y el moldeo por láminas (Fowler et al., 2006).

Aplicaciones

En la actualidad, los biocompósitos representan una alternativa cada vez más relevante frente a los materiales convencionales, gracias a su potencial para integrarse en diversas áreas de la ingeniería. Lejos de limitarse a aplicaciones específicas, las investigaciones actuales se enfocan en profundizar en su base científica con el objetivo de mejorar sus propiedades y ampliar su rango de uso. Distintos estudios han demostrado que es posible modificar y optimizar estos materiales mediante el desarrollo de nuevas rutas de síntesis, métodos de procesamiento y estrategias de caracterización. Por ejemplo, se ha logrado obtener nano fibras de celulosa a partir de recursos vegetales, las cuales han mostrado ser altamente efectivas al combinarse con matrices poliméricas, dando lugar a bionanocompuestos con mejor desempeño estructural y funcional.

Así mismo, los compuestos basados en almidón y fibras biológicas a escala nanométrica están siendo explorados por su aplicabilidad en sectores como la construcción, el empaque de alimentos y la industria del transporte. Estos materiales destacan por su equilibrio entre resistencia mecánica, capacidad de biodegradación y bajo impacto ambiental.

Otra línea de investigación se centra en el uso de recursos renovables como azúcares, ácidos, lípidos y especialmente la lignina, para la fabricación de resinas biobasadas como los poliésteres, poliuretanos y polifenoles. En particular, la lignina se perfila como una materia prima clave en la obtención de compuestos aromáticos sostenibles a través de procesos termoquímicos.

Por último, se están desarrollando biocompuestos de alto rendimiento reforzados con fibras naturales o pulpas modificadas, aplicando tecnologías industriales como el moldeo por compresión e inyección. Este tipo de materiales ya se han implementado en la fabricación de piezas por empresas automotrices reconocidas, lo cual demuestra su aplicabilidad práctica y su competitividad en el mercado.

En conjunto, estos avances evidencian que los bioplásticos y biocompuestos tienen el potencial no solo de reemplazar materiales derivados del petróleo, sino también de contribuir activamente a la construcción de una economía más sostenible, eficiente e innovadora en múltiples áreas de la ingeniería (Pilla.,2011).

Celulosa

La celulosa es un polisacárido hidrófilo compuesto por una cadena macromolecular de unidades de 1,4- β glucosídicos enlazadas en una estructura lineal en la pared celular. Es uno de los componentes principales de la biomasa lignocelulósica, así como la lignina y la hemicelulosa. Por su abundancia y propiedades ecológicas, como la renovabilidad, biocompatibilidad y biodegradabilidad, se considera una fuente clave para reemplazar polímeros sintéticos.

La lignina, un polímero fenólico fundamental en la biomasa, proviene de la pared celular de diversas plantas. Es uno de los polímeros más comunes en la naturaleza debido a su estructura amorfa, que resulta de la polimerización

deshidrogenativa iniciada por alcoholes de coniferilo y sinapilo (Hernández-Hernández et al., 2021).

Fuentes

La celulosa se encuentra en la naturaleza en diversas fuentes como algas, células bacterianas, fibras de líber, borras de algodón, pulpa de madera, entre otras. Estas fuentes comparten características fisicoquímicas como biocompatibilidad, biodegradabilidad, peso ligero, no toxicidad, rigidez, renovabilidad, sostenibilidad, transparencia óptica, baja expansión térmica, impermeabilidad a gases y propiedades mecánicas mejoradas (Hernández-Hernández et al., 2021).

El avance y desarrollo de la nanotecnología ha transformado varios sectores de la vida humana gracias a la exitosa explotación de micropartículas y nanopartículas de celulosa encontradas en diversas fuentes naturales. La celulosa es considerada una fuente inagotable de materia prima que satisface la demanda de productos ecológicos y biocompatibles.

Este biopolímero ha sido utilizado desde los inicios de la civilización en la confección de ropa, papel y materiales de construcción. Sin embargo, en años recientes, se ha prestado mayor atención a esta debido a su abundancia y versatilidad cuando se procesa a tamaños microscópicos y nanométricos, gracias a su estructura semicristalina.

Fibras naturales

Las fibras naturales pueden obtenerse de plantas, minerales y animales. Estas fibras se destacan por sus características físicas y mecánicas, tales como bajo costo, baja densidad, alta resistencia específica y rigidez, flexibilidad en el procesamiento, biodegradabilidad y no toxicidad, lo que facilita el reemplazo de las fibras sintéticas. Actualmente, las fibras de origen vegetal son frecuentemente utilizadas en muchos sectores industriales, tales como el textil, el automovilístico, el de los empaques, el de la construcción, el de los equipos deportivos y el de la medicina. Estas fibras, también conocidas como fibras lignocelulósicas, pueden extraerse de recursos naturales económicos y disponibles, y dependiendo de la parte de la planta de la que se obtengan, se clasifican en fibras de líber (yute,

lino, cáñamo, kenaf y ramio), fibras de semillas (algodón, algodoncillo, bonote y kapok), fibras de hojas (sisal, piña, agave, plátano y abacá), fibras de pasto (bagazo de caña de azúcar y bambú), fibras de paja (arroz, maíz y trigo) o fibras de madera (madera blanda y madera dura).

Existen otras que se consideran fibras regeneradas, lo que significa que se producen a partir de fuentes naturales sin intervención humana. Un ejemplo es la soja, que se somete a manipulación química para convertirse de una planta en una fibra. La seda, la lana, el pelo y las plumas son ejemplos de fibras de origen animal compuestas principalmente de proteínas y son la segunda fuente más importante de fibras naturales. Sin embargo, en comparación con las fibras de origen vegetal, son más resistentes y bioactivas. Debido a sus altos costos y menor accesibilidad, su uso está limitado a aplicaciones biomédicas. En este campo, las fibras naturales han atraído interés de investigación hacia aplicaciones potenciales. Los textiles médicos pueden utilizarse en una amplia gama de productos, desde simples gasas para apósitos de heridas hasta suturas, reconstrucción y reparación de tejidos y huesos (Tavares et al., 2020).

Fibras de *Agave lechuguilla* Torr.

México sobresale por su diversidad de especies productoras de fibras, especialmente de la familia Agavaceae, como la lechuguilla. Esta planta, originaria de las regiones áridas y semiáridas del sur de Estados Unidos y México, se distribuye en aproximadamente 20 millones de hectáreas en los estados de Coahuila, Chihuahua, Nuevo León, Durango, San Luis Potosí, Tamaulipas y Zacatecas. La extracción de fibra de lechuguilla ha sido una actividad familiar de subsistencia durante generaciones y proporciona empleo directo, además de beneficios socioeconómicos a las comunidades rurales.

Esta fibra es de alta calidad debido a su dureza, resistencia y durabilidad. Se utiliza en la fabricación de diversos productos domésticos, industriales y artesanales como en estropajos, escobas, cepillos y sogas, gracias a su capacidad de absorción de agua y resistencia a solventes químicos, calor, ácidos y otros agentes, lo que favorece las expectativas de comercialización, con un mercado nacional e internacional bien establecido que demanda fibras naturales,

lo que genera ingresos importantes para el país. Entre 2003 y 2007, se registraron ventas por 350 mil dólares (Castillo Quiroz et al., 2013).

Obtención y aprovechamiento de la fibra

La fibra de lechuguilla se extrae del cogollo, compuesto por las hojas más jóvenes de la planta que están reunidas en el centro en donde se localiza la fibra de mayor calidad y valor comercial. Sin embargo, en algunas regiones de México, solo se tallan las hojas exteriores de la roseta, lo que resulta en una fibra de menor calidad.

En el estado de Coahuila, un alto porcentaje de los productores de esta fibra se obtiene del cogollo. Sin embargo, algunos recolectores también tallan las hojas laterales para obtener una fibra más dura, que se utiliza en la elaboración de cepillos domésticos tanto para uso personal como para la venta, aunque esta producción se realiza a menor proporción.

La extracción de fibra comienza con la selección de áreas de aprovechamiento en poblaciones naturales dentro de las comunidades. Los colectores, algunos con más de 60 años de experiencia, eligen los cogollos a cortar basándose en la calidad y color de la fibra. Las áreas de aprovechamiento, conocidas como "majuelos", generalmente se encuentran dentro de los terrenos de los colectores y se seleccionan según la dominancia de individuos con características fenotípicas adecuadas. La explotación de fibra se lleva a cabo anualmente en estos sitios, descartando las poblaciones remanentes. Otros factores que los productores consideran en la selección de la planta son la rectitud del cogollo, la consistencia y el peso de la fibra, evitando cogollos con fibra quebradiza y de bajo peso (Diaz De Leon, 2005).

Extracción de la fibra

Tallado manual

Con este método de extracción, un productor puede obtener aproximadamente 6 kg de fibra en una jornada de 8 horas. La instalación de la "tallandería" comienza con el uso de herramientas tradicionales, como el tallador y un banco. El proceso de tallado consiste en separar la fibra de la parte carnosa o parietal de la hoja. Para el desfibrado de las hojas se utiliza el tallador, el procedimiento comúnmente

llamado como “despunte” consiste en el presionar las hojas y tallar contra un “banco”, que es un trozo de madera, separando así el tejido o “guishe” de la fibra, posteriormente las fibras se juntan y se enrollan para luego tallar individualmente todas las partes troncales del cogollo, es decir, la base de la hoja. Por último, la fibra se extiende en capas delgadas y se deja secar al sol por 2 a 3 horas (Castillo Quiroz & Cano, 2012).

Tallado mecánico

En este método de tallado, el productor puede obtener hasta 100 kg de fibra en ocho horas de trabajo, dependiendo del material recolectado.

La extracción mecánica de la fibra de lechuguilla comenzó con las "ripiadoras" y ahora las máquinas desfibradoras eléctricas actuales, han evolucionado significativamente, cuentan con un tambor metálico con clavos incrustados de una pulgada al cual se le conoce como desfibrado de las hojas, donde los cogollos se introducen por un hueco en una caja, donde un rodillo giratorio separa los tejidos de la fibra mediante los clavos. Los cogollos se introducen en la máquina en ambos sentidos, en algunos casos, se produce una pérdida en el producto final debido a que la fibra se mezcla con el “guishe” durante el proceso de desfibrado (Castillo Quiroz & Cano, 2012).

Micro-celulosa (MC)

La MC se produce mediante procesos alcalinos o de hidrólisis ácida y se distingue por ser biocompatible y biodegradable. Algunas de sus aplicaciones incluyen la industria farmacéutica, donde se utiliza como excipiente; la industria alimentaria, como suplemento dietético; y en aplicaciones mecánicas, como refuerzo en matrices y espesante. Por lo cual es ampliamente utilizada en diversos mercados debido a su alto costo en comparación con la celulosa nano cristalina (Arroyo Galván, 2022).

Economía verde (EV)

Generalidades

En 2009, el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) revitalizó el concepto de un modelo de Economía Verde a través de un informe llamado 'El Nuevo Acuerdo Global' (Global Green New Deal). Este documento

redefinió la Economía Verde como una evolución de la Economía Sostenible, manteniendo las dimensiones económica, social y ambiental del desarrollo sostenible. Según el PNUMA, una economía verde es aquella que mejora el bienestar humano y la equidad social, al mismo tiempo que reduce de manera significativa los riesgos ambientales y la escasez ecológica (Cervera-Ferri, 2017).

Definición

La economía verde se centra en la transformación del crecimiento económico que se impulsa a través del uso eficiente de recursos, la reducción de emisiones y el menor daño ambiental, promoviendo así la creación de productos ecológicos, el producto responsable y las prácticas de conservación. Su objetivo es disminuir el uso de recursos naturales y la generación de residuos, para con esto mejorar la calidad de la vida de las personas (Lin & Wang, 2019).

Esta rama reconoce la estrecha relación entre las cuestiones ambientales y económicas, englobando una variedad de ideas que van desde enfrentar el cambio climático hasta cuestionar la sostenibilidad ambiental del capitalismo contemporáneo. El fundamento que une las discusiones sobre la economía verde es el creciente reconocimiento de que alcanzar la sostenibilidad depende en gran medida de alinear las prácticas económicas con los objetivos ambientales. Esto implica fomentar un crecimiento sostenible desde el punto de vista ambiental, crear nuevos mercados e incorporar las realidades ecológicas en las políticas económicas (Tienhaara, 2016).

Indicadores de la economía verde

Los indicadores desarrollados por el PNUMA abarcan diversas áreas y son muy significativos, ya que han sido adoptados por numerosas entidades del Sistema de Naciones Unidas. Estos indicadores se pueden clasificar en tres grandes grupos:

Inversiones, empleo y sectores verdes: Son indicadores económicos enfocados en medir la transformación verde de los sectores económicos, poniendo énfasis en la producción, el empleo y en las inversiones.

Disociación del impacto ambiental de la eficiencia de los recursos: Aquí los indicadores buscan evaluar los efectos ambientales de las actividades

económicas calculando la eficiencia en el uso de los recursos. Estos indicadores abarcan materiales, residuos, energía, agua, uso de tierras y ecosistemas.

Indicadores agregados del progreso y el bienestar: Estos se relacionan con aspectos como la pobreza, la equidad, la inclusión social, el bienestar general y la distribución de los recursos de capital (Cervera-Ferri, 2017).

EV en México

La economía verde en México ha sido utilizada como medio de cambio tecnológico hacia el alcance de regiones sostenibles. El desarrollo económico sostenible en México no está restringido únicamente a fomentar sectores relacionados con las energías renovables o la electromovilidad. También abarca la promoción de una amplia gama de productos, tales como aquellos vinculados a la gestión del calor y la energía, las plantas de energía renovable y los equipos de seguimiento, análisis y evaluación ambiental. Es de suma importancia reconocer las capacidades ecológicas a nivel subnacional para definir de manera más efectiva las estrategias de política industrial que impulsen la economía verde en el país (Pérez-Hernández, 2022). En este sentido México ha realizado esfuerzos económicos en el alcance de la economía verde, de tal manera que hoy se encuentra entre los principales exportadores de productos orgánicos en América, esto es, gracias al diseño de agro-sistemas diversificados y al uso de tecnologías con bajos insumos. Los estados líderes en producción orgánica son Veracruz, Chiapas y Oaxaca, seguidos por Michoacán, Querétaro y Guerrero. Los productos que ocupan mayor superficie agrícola orgánica incluyen café, frutas tropicales y semitropicales, hortalizas, cacao en grano y cítricos. Las entidades federativas deben de reconocer sus ventajas comparativas naturales para aprovechar los cambios tecnológicos que se pueden generar al interior de dicha región.

Los esfuerzos por el desarrollo de productos orgánicos cada vez son más y diversos, en este sentido, la lechuguilla representa una opción para el impulso de la economía verde en México, los beneficios de la producción de la lechuguilla en la economía mexicana abarcan desde la reducción del uso intensivo de factores de producción no renovables hasta el fomento en la investigación y

desarrollo de productos verdes y amigables con el medio ambiente, con esto las regiones pueden verse beneficiadas en su crecimiento y desarrollo económico derivado de la presencia de actividades productivas no invasiva al medio ambiente, al contar con una reducción significativa de externalidades negativas de procesos industriales; generación de mano de obra calificada "verde", la cual se distingue de la mano de obra tradicional con conocimientos y habilidades especializadas en procesos productivos verdes, donde se pretende preservar el medio ambiente. La presencia de trabajadores verdes en una región fomenta la transición hacia una economía más sostenible.

La producción de la lechuguilla es ubicada en la industria química de México dentro de las investigaciones y desarrollos encaminados a la producción de bienes y servicios amigables. Los Censos económicos revelan que la producción de la lechuguilla es un sector en crecimiento y dinámico, aportando al empleo mexicano. Según los Censos del 2003 al 2018, la industria química aportó al rededor del 8% en el PIB de la industria manufacturera, mientras que el empleo se ha mantenido en alrededor de un 4% en esta misma industria, sin embargo, aunque la participación en el PIB ha caído, el número de empresas dedicadas a la industria ha ido en crecimiento con una tasa del 18%.

La micro celulosa se ubica en el código Sistema de Clasificaciones Industrial de América del norte (SCIAN) en la clase 325190, este sector en el 2018 aportó el 14% del PIB en la industria química.

Viabilidad de un proyecto

Viabilidad

La viabilidad sugiere a la capacidad de un proyecto o negocio para avanzar y asegurar su rentabilidad económica a largo plazo. Simplificando, la viabilidad refiere a que un proyecto pueda ejecutarse con continuidad en el tiempo. Es por eso que es de suma importancia considerar los recursos necesarios, los disponibles y la capacidad de obtenerlos. En la Evaluación de Proyectos, este concepto se emplea para expresar diversos aspectos. Autores enfocados en la ingeniería o "ingeniería económica", la viabilidad se refiere como la capacidad de

un proyecto para alcanzar un buen desempeño financiero, en otras palabras, es la tasa de rendimiento aceptable (Érika et al., 2018).

Proyecto

Es la búsqueda de una apropiada solución a un problema que apunta a satisfacer alguna necesidad humana, requiere de un plan de acción para utilizar de manera productiva los recursos económicos disponibles en una empresa. Estos recursos son analizados y evaluados para tomar decisiones y determinar su aceptación o rechazo.

Para que cualquier proyecto pueda ser evaluado, se tienen que considerar los flujos netos de efectivo que se generarán, los cuales representan las utilidades futuras que el proyecto producirá. Estas utilidades dependerán de las ventas y las economías futuras, así como de los costos incurridos en el proyecto, incluyendo activos fijos, capital de trabajo, costos de arranque e imprevistos (Érika et al., 2018).

Indicadores

VAN (Valor Actual Neto)

El Valor Actual Neto de un proyecto representa el valor presente de los flujos de efectivo netos generados por una propuesta. Estos flujos de efectivo netos se calculan restando los egresos periódicos de los ingresos periódicos. Para actualizar estos flujos netos, se emplea una tasa de descuento conocida como tasa de expectativa, alternativa u oportunidad. Esta tasa mide la rentabilidad mínima que se requiere del proyecto para recuperar la inversión, cubrir los costos y obtener beneficios. Es importante mencionar que el VAN calculado de esta manera convierte los ingresos y egresos a su valor equivalente en el período 0. Si se desea elegir otro período de referencia, será necesario ajustar la ecuación en consecuencia (Mete, 2014).

TIR (Tasa Interna de Retorno)

Este criterio se utiliza para tomar decisiones sobre proyectos de inversión y financiamiento. Se conoce como la tasa de descuento que iguala el valor presente de los ingresos del proyecto con el valor presente de los egresos. Es la

tasa de interés que, al ser empleada en el cálculo del Valor Actual Neto (VAN), hace que este sea igual a 0.

La idea principal detrás de este método es que indica el rendimiento generado por los fondos invertidos en el proyecto en una sola cifra, la cual resume las condiciones y méritos de este. Dado que no depende de las condiciones del mercado financiero, se llama tasa interna de rendimiento. Es una cifra interna del proyecto que mide el rendimiento del dinero invertido en él, y depende únicamente de sus flujos de efectivo (Mete, 2014).

TRI (Tasa de Rentabilidad Inmediata)

La tasa de rentabilidad inmediata es el criterio utilizado para determinar el momento más adecuado para realizar una inversión. Esta decisión es especialmente importante en proyectos de infraestructura que no se pueden ejecutar por etapas, es decir, que no son divisibles, como carreteras, sistemas de agua potable y plantas de energía eléctrica. En estos casos, elaborar el proyecto antes de tiempo puede generar una capacidad ociosa, lo que resulta en la pérdida de rentabilidad debido a la inversión adelantada y al uso de recursos que podrían haberse destinado a otros fines. Por otro lado, si la construcción del proyecto se demora más allá del momento óptimo, se generará una escasez de bienes o servicios y una pérdida de rentabilidad por retrasar los beneficios.

Retorno de inversión o Payback

El método del pay-back se enfoca en determinar el tiempo necesario para recuperar, desde una perspectiva contable, la inversión inicial de un proyecto. Este enfoque no mide directamente el valor económico generado por el proyecto, sino que sirve como un indicador del nivel de riesgo asociado. Esto se basa en la premisa de que retrasos más largos en la obtención de los flujos de efectivo futuros están vinculados a una mayor incertidumbre. La principal fortaleza del pay-back radica en su sencillez

MATERIALES Y MÉTODOS

El desarrollo de esta investigación se llevó a cabo en las seis etapas que a continuación se describen:

ETAPA 1: Conocer el entorno concerniente al potencial de uso y demandas de la micro-celulosa.

Se llevaron a cabo encuestas centrándose en cuatro distintos tipos de industrias, las cuales fueron las siguientes: alimentaria, papelera, de la construcción y cosmética.

ETAPA 2: Identificar las zonas potenciales de la región de Coahuila y analizar los niveles de producción de materia prima bajo un esquema de uso sustentable y conservación del *Agave lechuguilla* Torr.

A la par de las encuestas se solicitó la participación del departamento de Forestal de la UAAAN y con los datos que aportaron algunas instituciones gubernamentales como SEMARNAT, CONAFOR e INIFAP para de esta manera realizar un estudio de prospección y aprovechamiento de la lechuguilla en la región sureste del estado de Coahuila, como se aprecia en la Figura 1, donde se muestra la localización de las áreas productoras en este estado, para así determinar la forma más adecuada de conservación de este agave.

Actualmente la forma más común de comercialización es en forma de fibras tratadas mismas que se muestran en la Figura 2.

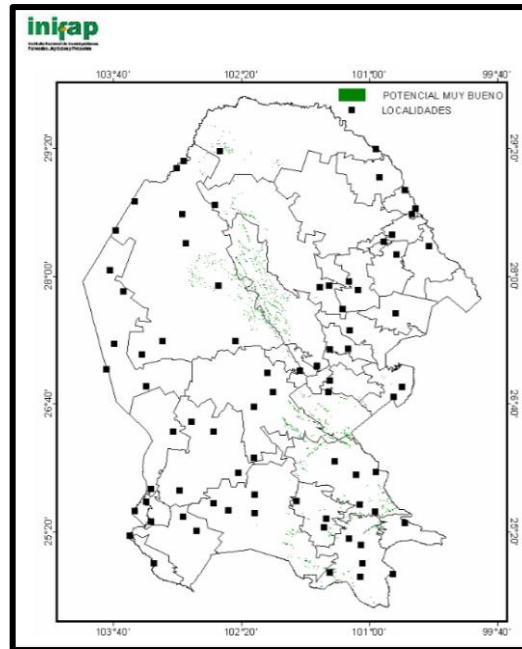


Figura 1. Mapa de localización de áreas productoras en Coahuila.

Fuente: (MC. Oscar Ulises MARTÍNEZ BURCIAGA, 2011)



Figura 2. Fibras de lechuguilla.

Fuente: (Castillo Quiroz & Cano Pineda Carlos Berlanga Reyes, 2012)

ETAPA 3: Establecer las condiciones para la instalación de una planta tratadora de fibras.

El proceso para la obtención de MC se presenta en la Figura 3 y consta de diversas fases: hidrólisis acida, blanqueamiento, hidrólisis alcalina y un segundo blanqueamiento, entre cada una de ellas se debe llevar a cabo un proceso de neutralización de los productos generados, mismo que consume una gran cantidad de agua, y en el cual se trabajó para la reutilización de la misma optimizando así el empleo de dicho recurso, para lo cual se evaluó mediante monitoreo de pH, el número de veces que puede ser reutilizada eficientemente. Las mediciones se realizaron con el efluente libre de materia a tratar y en agitación continua.



Figura 3. Proceso para la obtención de MC de fibras de lechuguilla.

Fuente: Creación propia

Posteriormente se desarrolló tanto el prototipo para el equipo empleado en los procesos de digestión, así como el layout para determinar la distribución y dimensiones óptimas para las distintas áreas en las que se localizarán los equipos necesarios para la obtención de la M.C. Ambos documentos fueron sometidos a procesos de registro ante el Instituto Mexicano de la Propiedad Intelectual (IMPI), teniendo a la fecha la aprobación de forma del primer prototipo.

ETAPA 4: Elaborar un análisis de factibilidad.

Los nuevos emprendimientos requieren una visión y valoración económica para determinar su rentabilidad. El análisis de los flujos de efectivo generados por la naciente empresa, tomando en cuenta los riesgos del proyecto, permite tomar decisiones informadas sobre la viabilidad de un proyecto. En este sentido, esta etapa persigue como principal objetivo analizar el comportamiento de las principales variables censales de la industria a nivel nacional y estatal con ayuda de datos proporcionados por el INEGI y de los indicadores de valoración financiera para determinar la rentabilidad del proyecto.

ETAPA 5: Diseñar la presentación del producto terminado y establecer canales de comercialización.

Se determinó el tamaño y tipo de empaque que se requiere para comercializar el producto final y así poder diseñar la mejor etiqueta que requiere este envoltorio. A la par de todo esto se hizo una investigación y se determinaron los distintos tipos de canales de comercialización que son más convenientes para la distribución del producto.

ETAPA 6: Verificar el cumplimiento de las normativas ya establecidas para el cumplimiento de las normas de impacto ambiental.

Esta última fase se enfocó en una profunda investigación dentro del Diario Oficial de la Federación (DOF) para así poder estipular las normas más adecuadas que se requieren para la preservación del agave de lechuguilla Torr. y el apropiado manejo del agua y residuos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

ETAPA 1: Conocer el entorno concerniente al potencial de uso y demandas de la MC.

Para identificar la demanda del producto, se realizaron encuestas a empresas clave directamente relacionadas con un alto consumo de la micro celulosa en la región de estudio. De dichos datos recaudados se generó la siguiente información.

A la pregunta de con qué frecuencia se utiliza la MC, en la figura 4 es posible apreciar que el 75% de los encuestados la utilizan siempre y el 25% de vez en cuando, evidenciando que la existencia de alta demanda de producto (75%) al tiempo de que existe una oportunidad de mercado (25%).

¿ con que frecuencia utiliza la micro-celulosa

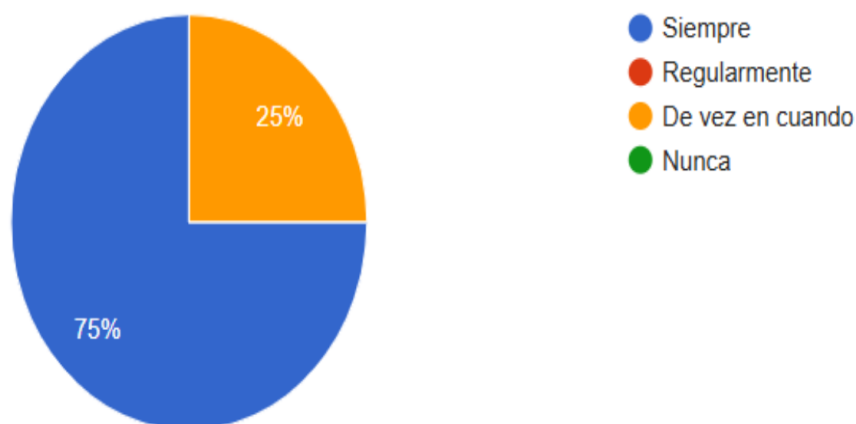


Figura 4. Frecuencia de uso de la MC.

Fuente: creación propia

A la pregunta de cómo considera la calidad de la MC que adquiere, en la figura 5 es posible apreciar que el 50% de los encuestados la consideran de buena calidad, el 25% la consideran regular y el otro 25% muy buena. El 75% de los encuestados reflejan un área de oportunidad para la mejora continua de productos orgánicos, donde la micro celulosa de este proyecto podría ser la solución a la satisfacción de la demanda.

¿Cómo considera usted la calidad de la micro-celulosa que usted adquiere?

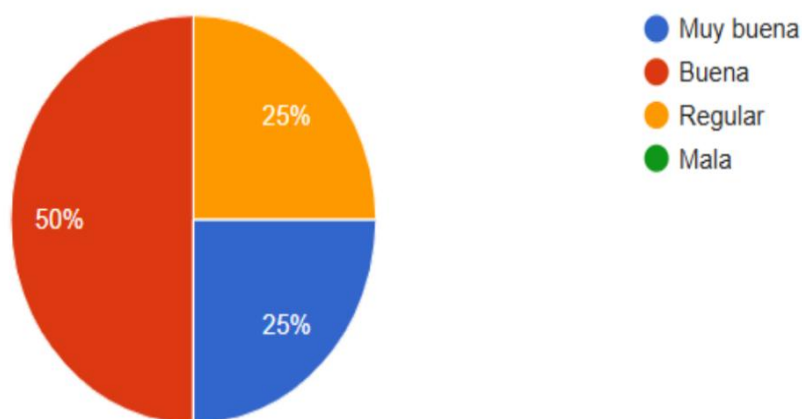


Figura 5. Calidad de la MC que adquieren.

Fuente: creación propia

A la pregunta de cómo considera el precio al que adquiere la MC, en la figura 6 se resalta que el 50% de los encuestados lo consideran alto, el 25% competitivo y el otro 25% bajo. La falta de empresas dedicadas a la producción de micro celulosa en la región es reflejo de precios altos. En la medida en que se desarrollen más empresas dedicadas a la producción de la micro celulosa los precios se volverán más competitivos (bajo) con alta calidad.

El precio al que usted adquiere este producto lo considera...

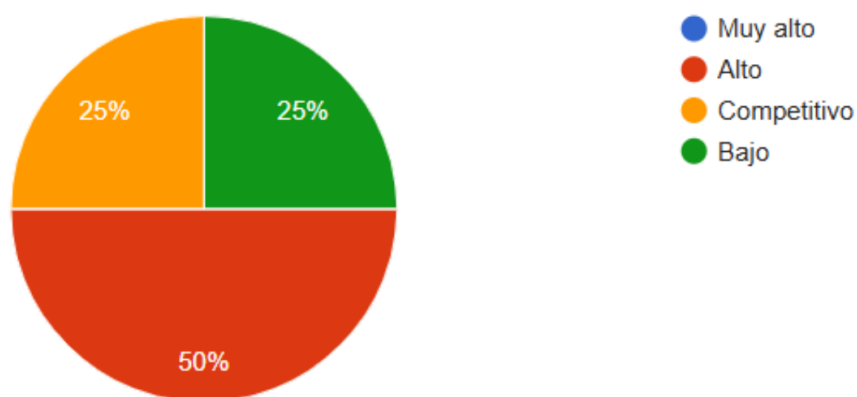


Figura 6. Precio adquirido de la MC.

Fuente: creación propia

A la pregunta de le parece justo el precio pagado por la MC, en la figura 7 es posible contemplar que el 50% de los encuestados respondió que sí y el otro 50% respondió no. Existe la necesidad en el mercado por recibir precios alineados al producto comprado.

¿Le parece justo el precio pagado por la micro-celulosa?

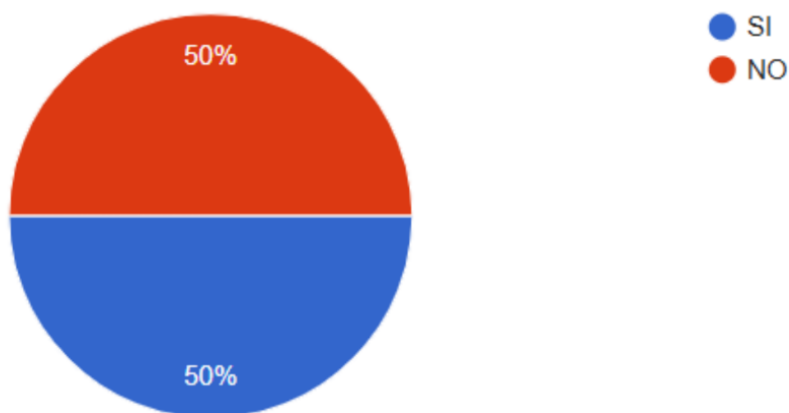


Figura 7. Precio pagado por la MC.

Fuente: creación propia

A la pregunta de considera que la MC tiene un buen futuro de compra en su empresa en la figura 8 se visualiza que el 100% lo considera como un sí. Existe una fuerte necesidad e interés del mercado por la incorporación de la celulosa en los productos.

¿Considera que la micro-celulosa tiene un buen futuro de compra en su empresa?

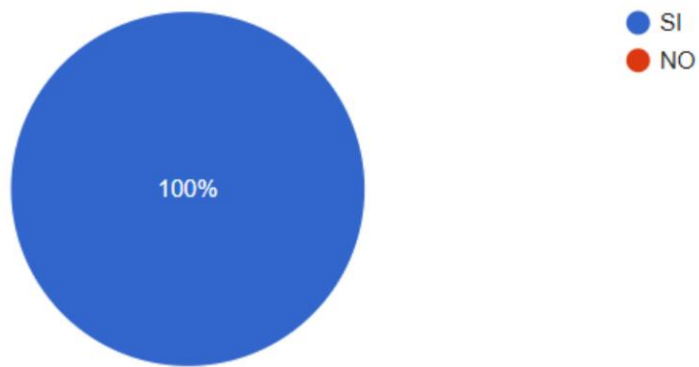


Figura 8. Futuro de compra de la MC.

Fuente: creación propia

A la pregunta de si se encuentra alineado a la filosofía de sustentabilidad de los productos, en la figura 9 se muestra que el 100% de los encuestados respondió que sí. Las empresas encuestadas demuestran un alto nivel en el alcance de la economía verde.

¿Usted se encuentra alineado a la filosofía de sustentabilidad de los productos?

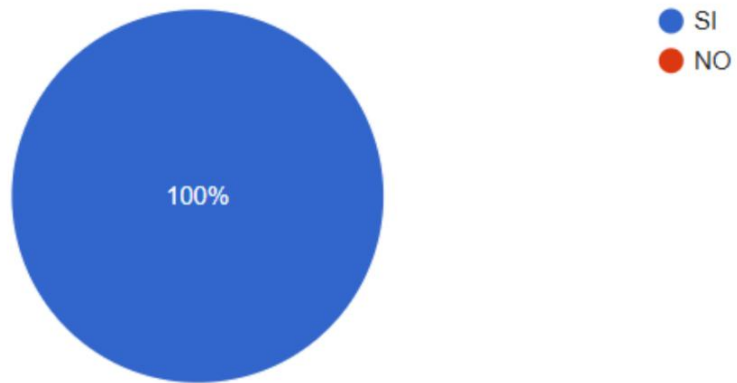


Figura 9. Filosofía de sustentabilidad.

Fuente: creación propia

A la pregunta de existen algunos meses o temporadas en los cuales su empresa adquiere mayor volumen de compra de la MC, en la figura 10 se distingue que el 50% de los encuestados respondió que sí y el otro 50% que no. Las ventas de la micro-celulosa siguen un patrón temporal.

¿Existen algunos meses o temporadas en los cuales su empresa adquiere mayor volumen de compra de la micro-celulosa?

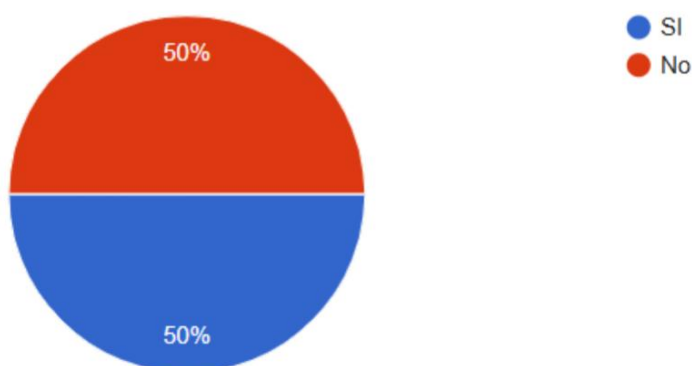


Figura 10. Temporadas de mayor volumen de MC.

Fuente: creación propia

A la pregunta de qué le parece la relación entre la calidad ofrecida de la MC y el precio, en la figura 11 es posible apreciar que al 50% de los encuestados les parece buena y para el otro 50% es regular. La satisfacción del cliente aún no ha sido cubierta al 100% lo que abre un área de oportunidad significativa para el proyecto.

ii ¿Qué le parece la relación entre la calidad ofrecida de la micro-celulosa y el precio?

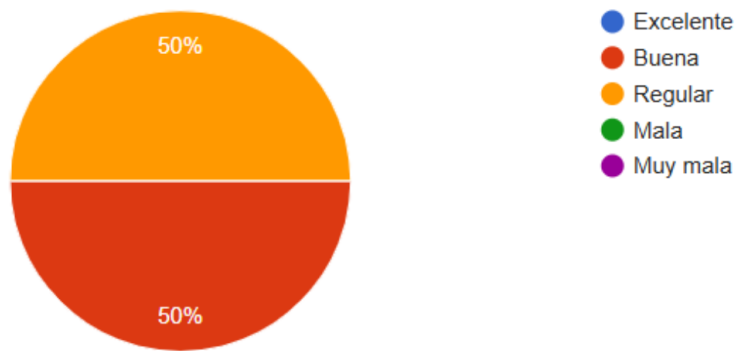


Figura 11. Relación entre calidad y precio.

Fuente: creación propia

A la pregunta de considera que la MC satisface sus necesidades, en la figura 12 es posible apreciar que para el 75% de los encuestados si satisface sus necesidades, pero para el 25% no lo hace. Esta pregunta refuerza la necesidad de mejorar la satisfacción del cliente.

¿Consideras que la micro-celulosa satisface sus necesidades?

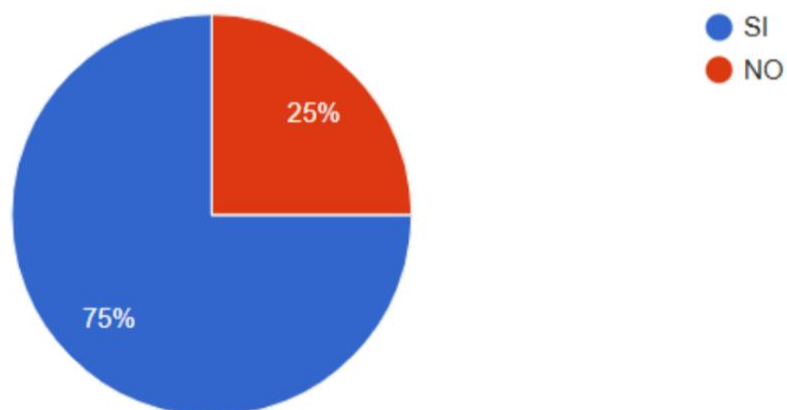


Figura 12. Satisfacción de las necesidades.

Fuente: creación propia

A la pregunta de estaría interesado en recibir nueva información sobre nuestra MC y otros de nuestros futuros productos, en la figura 13 se visualiza que el 75% de los encuestados si lo están y el 25% tal vez lo estarían.

¿Estaría interesado en recibir nueva información sobre nuestra micro-celulosa y otros de nuestros futuros productos?

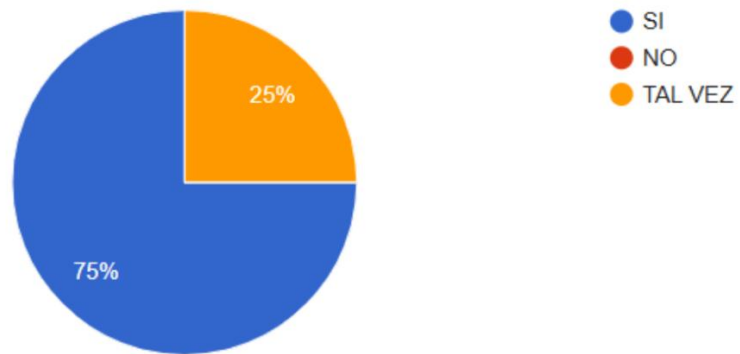


Figura 13. Interés sobre información de nuestra MC.

Fuente: Creación propia

Dentro de las encuestas se realizaron planteamientos a libre respuesta referente a el uso que se le da a la MC en su empresa siendo las respuestas más relevantes el uso como reforzantes y aglutinantes de servilletas y papel higiénico, materia prima para fabricación de papel, películas y otros productos relacionados, como espesante en procesos de acabados textiles y como materia prima de mascarillas, geles y cremas faciales.

El volumen de compra de la MC es un parámetro fundamental para establecer la posible demanda del producto, de donde es posible apreciar que los encuestados consumen mayormente un promedio superior a 200 kg mensuales, llegando hasta los 1200 Kg por una minoría de consumidores a gran volumen.

Tocante a los proveedores de MC se mencionan tanto extranjeros como nacionales, sin particularizar en el nombre del proveedor, haciendo referencia algún tipo de intermediarios como la plataforma QuimiNet, para la compra del insumo.

ETAPA 2: Identificar las zonas potenciales de la región de Coahuila y analizar los niveles de producción de materia prima bajo un esquema de uso sustentable y conservación del *Agave lechuguilla* Torr.

Se logró realizar un estudio técnico de prospección, este documento permitió identificar las áreas con mayor potencial de disponibilidad de este agave en el sureste del estado, tomando en cuenta criterios ecológicos, legales y socioeconómicos.

A través del análisis de datos geográficos, información institucional y literatura especializada se logró estimar la superficie productiva aproximada, densidad promedio de plantas y el rendimiento de fibra por hectárea. Con estos datos fue posible proyectar volúmenes aprovechables de materia prima que sustentan la viabilidad del establecimiento de una planta de micro-celulosa en la ciudad de Saltillo, Coahuila.

También se establecieron criterios para organizar el acopio de la materia prima a través de cooperativas rurales, con el objetivo de garantizar, inclusión social y equidad en la cadena de valor.

Este estudio representa un insumo clave dentro del proyecto, ya que proporciona el diagnóstico técnico y territorial necesario para profundizar decisiones relacionadas con la localización de la planta, los volúmenes disponibles y las estrategias de aprovechamiento sustentable que puedan integrarse a la propuesta de desarrollo industrial.

Esta información no se integra en el presente documento ya que es parte del documento de solicitud de registro de propiedad industrial actualmente en proceso ante el IMPI (Anexo 1).

ETAPA 3: Establecer las condiciones para la instalación de una planta tratadora de fibras.

Se obtuvo el diseño final del layout, Figura 14, con distribuciones, características y dimensiones necesarias para el correcto funcionamiento de una planta tratadora de fibras de lechuguilla para la obtención de MC.

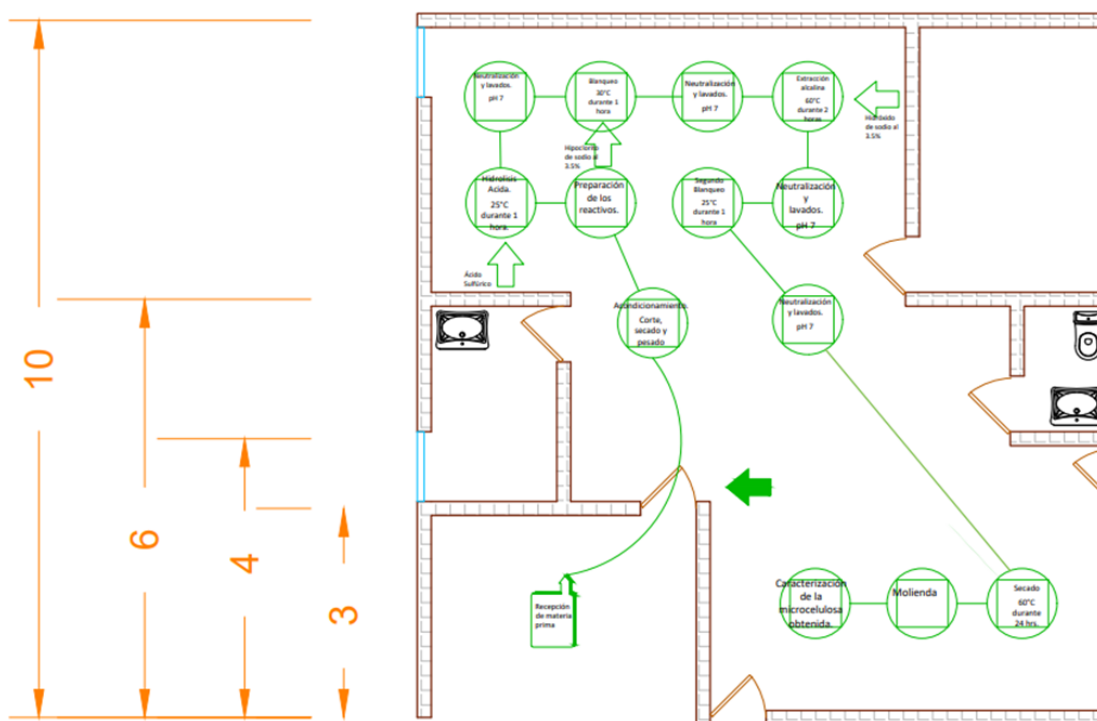


Figura 14. Layout de la planta tratadora.

Fuente: Creación propia

ETAPA 4: Elaborar un análisis de factibilidad.

De acuerdo con los datos proporcionados por las encuestas disponibles y más actuales proporcionadas por el INEGI correspondientes al periodo 2003 – 2018, fue posible elaborar un análisis de factibilidad para el producto en estudio, MC, cuya información se presenta a continuación.

La industria química aporta al rededor del 8% en el PIB de la industria manufacturera, mientras que el empleo se ha mantenido en alrededor de un 4% en esta misma industria, sin embargo, aunque la participación en el PIB a caído, el número de empresas dedicadas a la industria química ha ido en crecimiento con una tasa del 18%. La Figura 15 muestra el crecimiento en el número de empresas de la industria química.

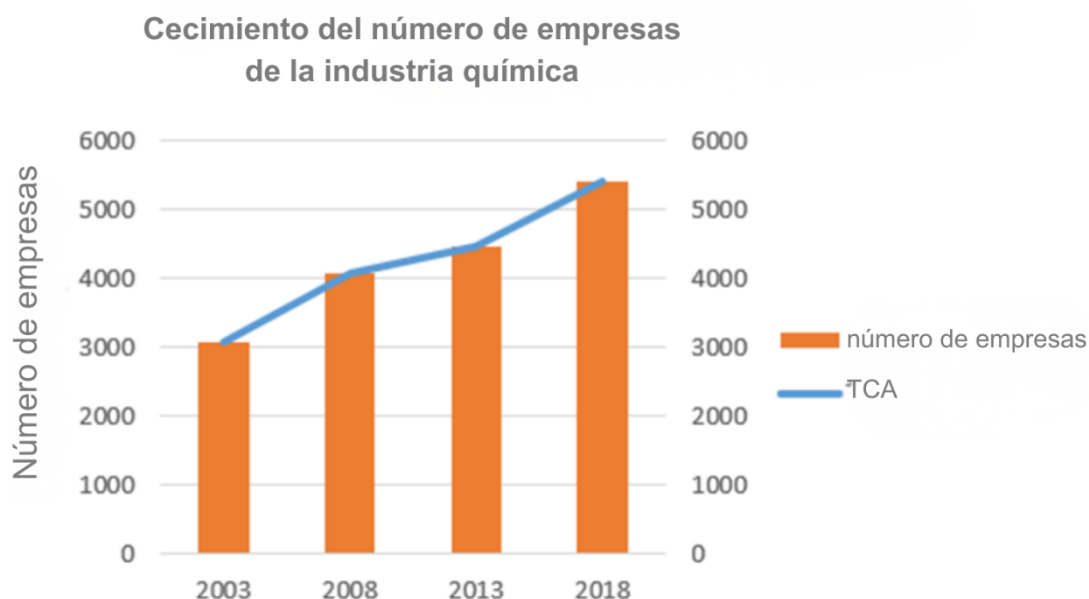


Figura 15. Crecimiento del número de empresas de la industria química.

Este resultado coincide con lo señalado por García (2017), quien menciona que la industria química en México ha sabido adaptarse al diversificar sus actividades, lo que ha permitido mantener una estabilidad en los niveles de empleo (alrededor del 4 %). En el caso particular de la MC, esto sugiere que la disminución de la participación macroeconómica no significa un retroceso para los subsectores especializados, sino que puede representar una oportunidad favorable para impulsar el escalamiento de bioproductos.

La micro celulosa se ubica en el código SCIAN en la clase 325190, este sector en el 2018 aportó el 14% del PIB en la industria química. Entre el 2003 y el 2018 los productos químicos orgánicos crecieron un 85% en el PIB sin embargo el número de empresas se ha mantenido relativamente constante entre el 2003 y 2018, reflejando que cada vez más existe la incorporación de tecnología para crear valor agregado en los productos. El cuadro 1 presenta la representatividad del sector de fabricación de MC.

Cuadro 1. Representatividad del sector de fabricación de MC.

Año censal	Representatividad			
	empresas	empleo	producción	valor agregado
2003	0.0053%	0.0444%	0.2845%	0.1487%
2008	0.0040%	0.0374%	0.3395%	0.1704%
2013	0.0031%	0.0369%	0.4282%	0.1619%
2018	0.0039%	0.0364%	0.4528%	0.3437%

Esta tendencia se alinea con lo reportado por Data México (2024), que señala un incremento en la inversión destinada a innovación para mantener la competitividad del sector a nivel global. Desde esta perspectiva, la producción de micro-celulosa a partir de lechuguilla se presenta como una extensión lógica dentro de los bioproductos de alta especialización.

Como se logra apreciar en el Figura 16, el número de empresas del sector de fabricación de este insumo a nivel nacional ha incrementado 12.5% en el periodo comprendido entre el 2003 y 2018.

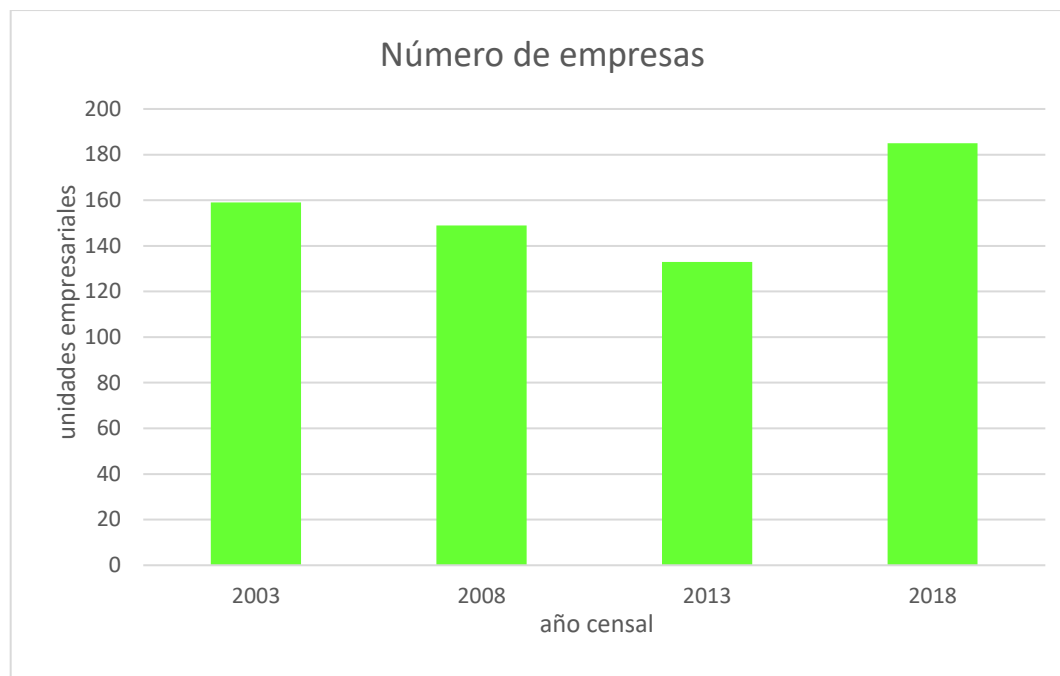


Figura 16. Representación del número de empresas en el sector de la MC.

El aumento del 12.5 % en el número de empresas del sector, aunque moderado, refleja más un proceso de consolidación que de expansión. Según INEGI (2019), la concentración empresarial continúa siendo elevada, lo que sugiere que las nuevas compañías que ingresen al mercado deberán enfocarse en la innovación o en nichos específicos. En este contexto, la estrategia de escalar la producción de MC se alinea con esta dinámica, ya que busca diferenciarse tecnológicamente en lugar de competir únicamente por volumen.

Hablando del empleo en este sector de fabricación, a nivel nacional ha incrementado en un 42.85% en este mismo periodo, como se aprecia en la Figura 17.



Figura 17. Representación del empleo en el sector de la MC.

El incremento del 42.85 % en el empleo del sector puede considerarse un reflejo del dinamismo de esta industria. PLÁSTICO (2019) indica que, aunque la industria química mexicana experimentó un periodo de inversión creciente, la producción global mostró ciertos descensos. Que el empleo asociado a la micro-celulosa haya aumentado apunta a que este subsector posee una mayor resiliencia frente a las fluctuaciones macroeconómicas, lo que refuerza su capacidad para consolidarse dentro de las cadenas productivas regionales.

En lo concerniente a los salarios, este sector a nivel nacional ha incrementado en un 100% entre el periodo comprendido entre 2003 y 2018, de acuerdo con lo presentado en la Figura 18.



Figura 18. Representación de salarios en el sector de la MC.

El aumento del 100 % en los salarios del sector de microcelulosa supera al observado en otros subsectores químicos, donde el crecimiento ha sido más gradual (INEGI, 2019). Este incremento sugiere que la expansión de procesos como los estudiados no solo mejora la calidad del empleo, sino que también puede atraer personal calificado, en concordancia con las políticas nacionales orientadas a fomentar industrias de mayor valor agregado.

En cuanto a la producción en la fabricación de MC, la Figura 19 muestra que se ha incrementado a nivel nacional, con una tasa media de crecimiento anual de 153% en el periodo comprendido del 2003 al 2018, mientras que el valor agregado ha incrementado en un 162%

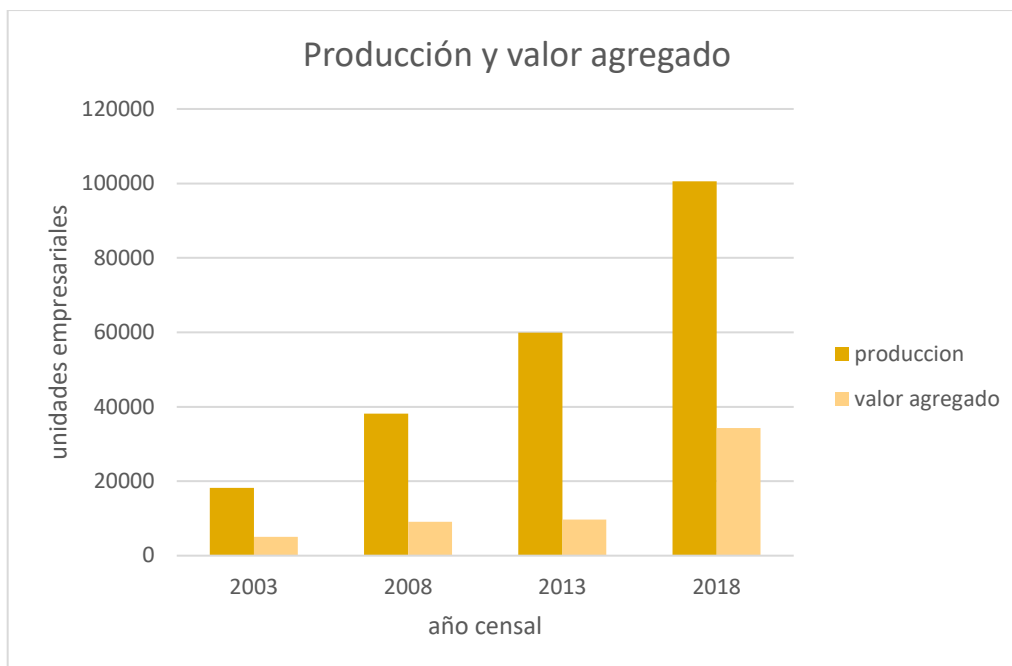


Figura 19. Producción y valor agregado de MC durante el periodo 2003-2018.

El incremento del 153 % en la producción y del 162 % en el valor agregado refleja que la MC no solo se produce en mayor cantidad, sino que también aporta un valor creciente. Según ANIQ (2024), la capacidad instalada de la industria química mexicana está subutilizada en un 77.1 %. Dentro de este panorama, la MC constituye un ejemplo de cómo las innovaciones basadas en biomasa pueden aprovechar la capacidad ociosa existente y, al mismo tiempo, generar productos con alto valor agregado.

En el ámbito de la inversión de este producto a nivel nacional la Figura 20, evidencia un aumento de 108% en el mismo periodo, a pesar de que en el año 2013 tuvo un descenso importante.

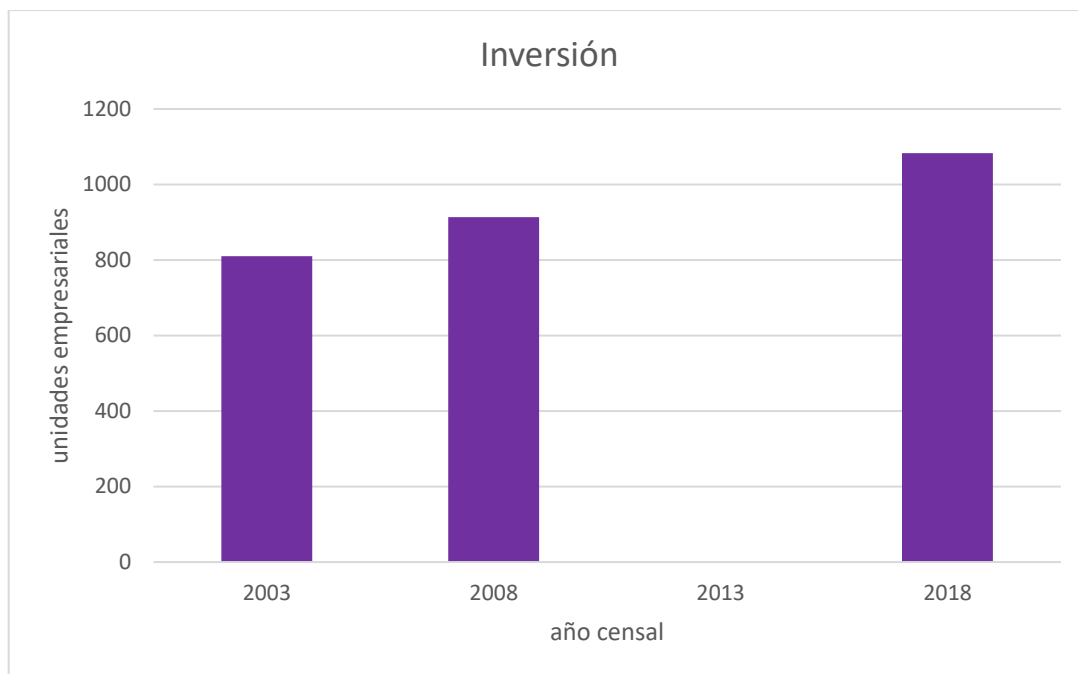


Figura 20. Inversión en MC durante el periodo 2003- 2018.

El aumento del 108 % en la inversión nacional, pese a la caída observada en 2013, refleja una mayor confianza en este subsector. Esta tendencia concuerda con lo reportado por PLÁSTICO (2019), donde la inversión interna bruta creció 204.7 %, aunque no se tradujo inmediatamente en aumentos de producción global. En el caso de la MC, los resultados indican que la inversión sí se refleja en incrementos tanto en producción como en valor agregado, posicionando a este subsector como un ejemplo de eficiencia en el uso de capital.

En cuanto a la formación de activos fijos, se puede apreciar en la Figura 21 que se obtuvo un crecimiento anual del 112% entre el 2003 y el 2018.

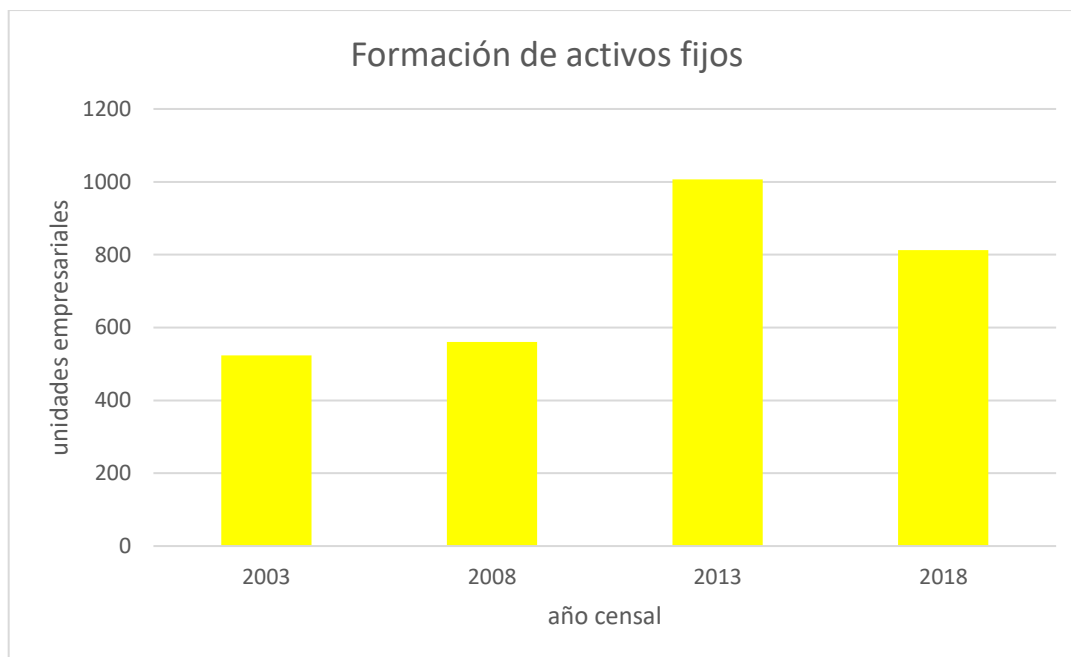


Figura 21. Formación de activos fijos en MC para el periodo 2003-2018.

Este crecimiento refleja un dinamismo en infraestructura que puede interpretarse como un indicador de consolidación industrial. De acuerdo con (Data México, 2024), aunque la industria química en general ha enfrentado ciertos rezagos tecnológicos, el subsector 325190 ha adoptado innovaciones a un ritmo más acelerado. Esto demuestra que la propuesta de escalamiento de MC se alinea con las tendencias nacionales y las aprovecha estratégicamente.

La Figura 22 muestra el comportamiento en los gastos de fabricación los cuales fueron incrementando, con una tasa media de crecimiento anual de 148% a partir del año 2003 hasta el 2018.

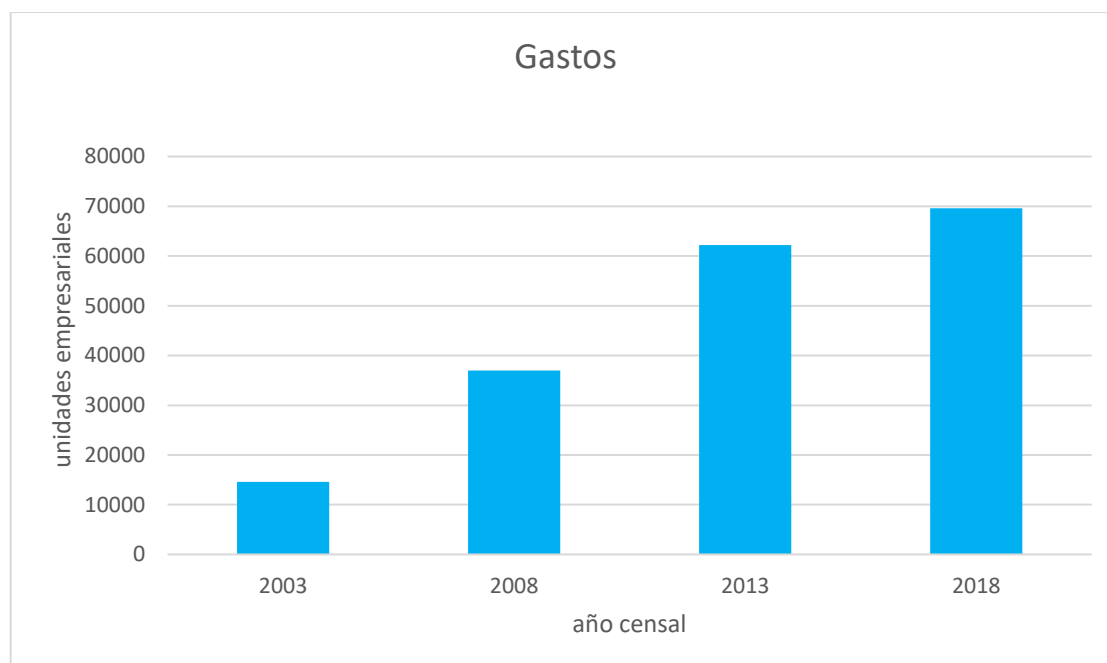


Figura 22. Gastos de fabricación de MC en el periodo 2003-2018.

El incremento del 148 % en los gastos de fabricación refleja la necesidad de implementar procesos más complejos y contar con un mayor control de calidad, lo cual es característico en la producción de bioproductos como la microcelulosa. Frente a la disminución en productividad reportada por PLÁSTICO (2019), este aumento en los costos puede verse de manera positiva, ya que indica una mayor inversión en tecnología y una menor dependencia de la producción a gran escala. Los ingresos generados por esta industria son presentados en la Figura 23 donde es posible apreciar que este sector fue en acenso, con una tasa media de crecimiento anual del 108% en el periodo ya mencionado.

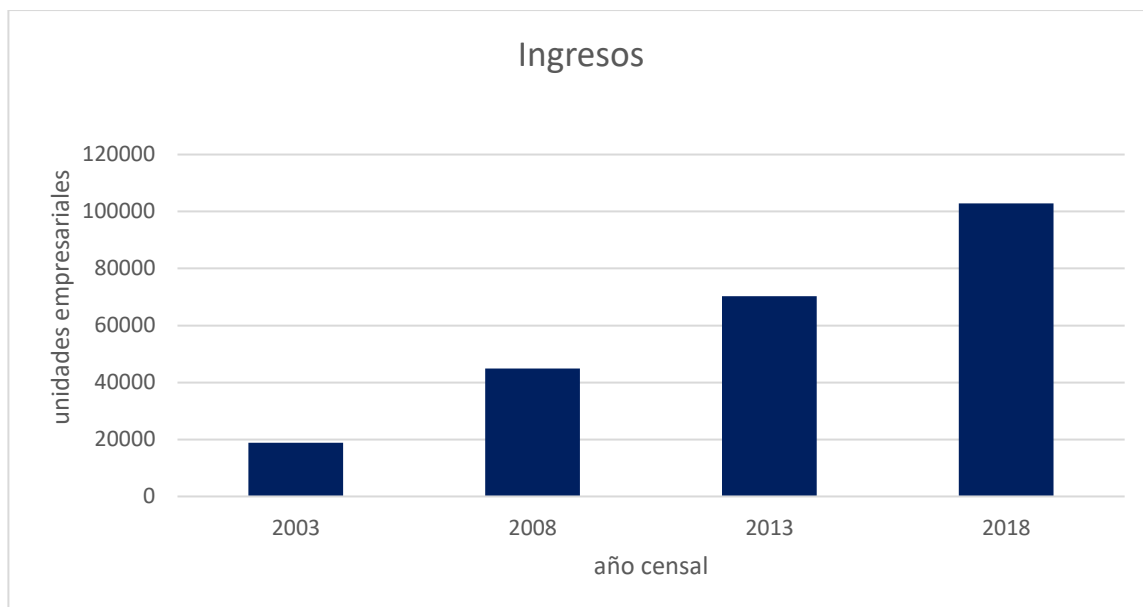


Figura 23. Ingresos generados por la industria de la MC en el periodo 2003-2018.

El incremento del 108 % en los ingresos destaca a la MC como un insumo de alto valor económico. Según García (2017), el crecimiento de la industria química en México ha estado estrechamente vinculado a los sectores alimentario y farmacéutico. Considerando que la MC se aplica directamente en ambos ámbitos, estos resultados refuerzan su viabilidad comercial y su potencial de inserción en el mercado nacional.

Específicamente en Coahuila según los censos económicos existen dos empresas que se dedican a la fabricación de productos químicos orgánicos, reflejando que la estructura económica prevaleciente en este sector es el oligopolio.

Que en Coahuila únicamente operen dos empresas dedicadas a productos químicos orgánicos evidencia la concentración del mercado en esta región. No obstante, esta situación también abre la posibilidad de incorporar un nuevo competidor basado en biomasa local. Los resultados obtenidos sugieren que la MC derivada de lechuguilla podría integrarse estratégicamente en este contexto, ofreciendo una alternativa que disminuya la dependencia de un mercado oligopólico.

La producción de productos químicos orgánicos representa dentro del PIB de la industria química coahuilense el 1%.

De acuerdo con el estudio de mercado realizado, el proyecto se estableció para 10 años, así, el horizonte del proyecto está valorado para 10 años, en el cuál año tras año, se fueron modelando y simulando el crecimiento del proyecto. El flujo del proyecto contempla los costos de producción y las ventas con un crecimiento moderado en las ventas anuales de 30%. El precio de venta y los costos se encuentran simulados con el impacto inflacionario futuro para contar con una mejor aproximación. El flujo del proyecto es mostrado en las siguientes dos graficas de las figuras 24 y 25:

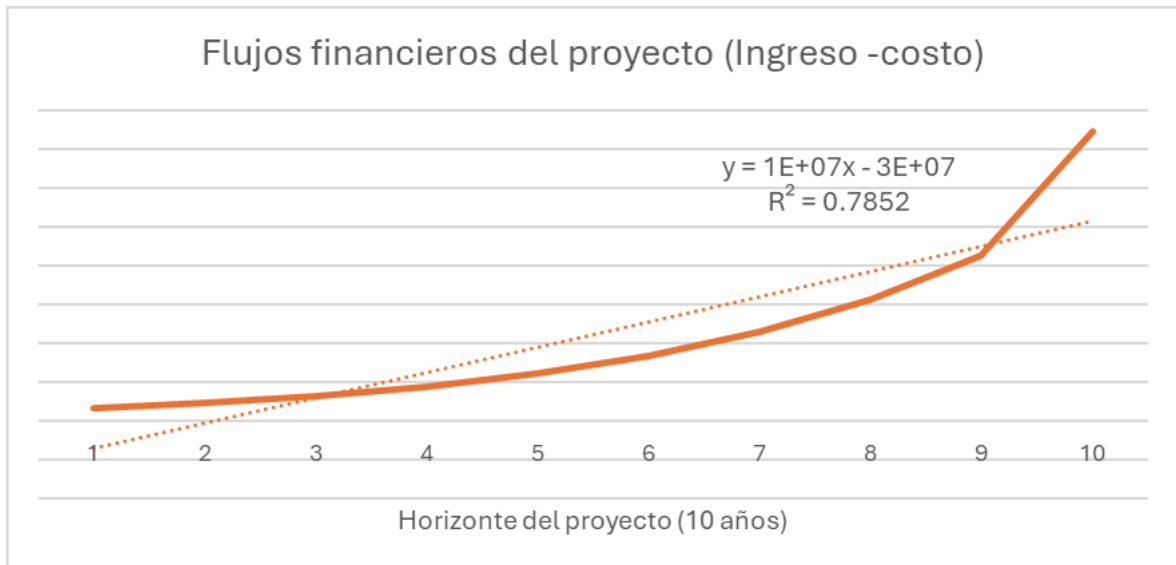


Figura 24. Flujos financieros del proyecto (ingreso-costo).

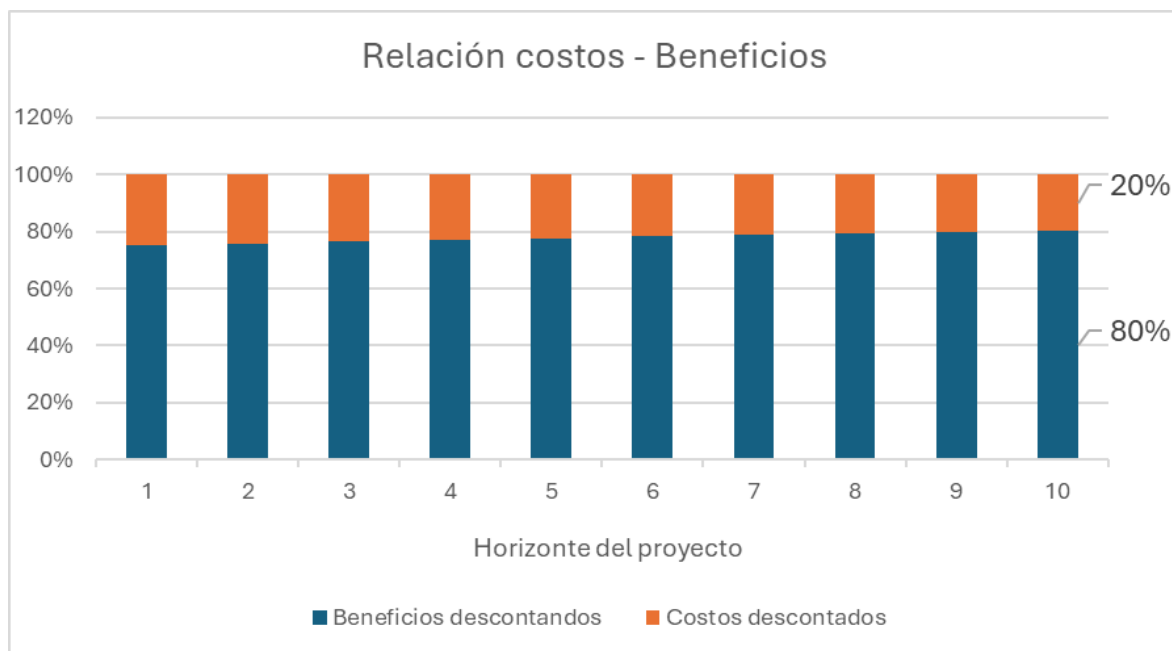


Figura 25. Relación costos beneficios.

Se puede observar que existe un enriquecimiento con tendencia positiva a lo largo del horizonte del proyecto, con una relación promedio costo-beneficio de 20%-80%, lo cual, parece alentados. Sin embargo, se deben de realizar las medidas de valoración financieras para aceptar o rechazar el proyecto.

La siguiente tabla sintetiza los resultados de la valoración financiera, demostrando que el proyecto cuenta con una rentabilidad positiva, se cuenta con un periodo de recuperación de la inversión de 1 año, una tasa de rentabilidad interna positiva y mayor a uno, al igual que el enriquecimiento monetario del proyecto. La relación costo-beneficio (IR) demuestra una superioridad de los beneficios sobre los costos y finalmente, en otras palabras, dado que la razón es mayor a 1, el proyecto se acepta. Por cada peso invertido recuperamos \$3.7, por lo tanto, existen ganancias.

Cuadro 2. Representatividad de la relación costo-beneficio (IR).

Medida de Valoración	Resultado
TIR	> 1 %
VAN	> \$ 1
IR	> 1 %
RAZON BENEFICIO/COSTO	\$ 3.71

ETAPA 5: Diseñar la presentación del producto terminado y establecer canales de comercialización.

Se trabajó en el diseño de la presentación comercial de la MC y en la definición de los canales de distribución y comercialización más apropiados para su introducción al mercado. Como primer paso, se realizó una revisión técnica de diferentes opciones de empaque aptas para conservar adecuadamente las propiedades del producto, considerando sus características físico-químicas, la naturaleza higroscópica del material y las condiciones de almacenamiento requeridas.

Después de consultar diversas fuentes técnicas y comerciales, se concluyó que los empaques de doble capa compuestos por una capa interna de polietileno de baja densidad y una capa externa de papel Kraft o de propileno representan la mejor alternativa. Estos materiales proporcionan una barrera eficiente contra la humedad y los contaminantes externos, y al mismo tiempo ofrecen resistencia estructural y facilidad de manejo en la cadena logística.

Se definieron dos presentaciones principales para el producto terminado:

Bolsas de 1 kilogramo, dirigidas principalmente a pequeñas empresas, laboratorios, centros de investigación (Figura 26) y de mayores volúmenes 20 kg (Figura 27).



Figura 26. Vista del empaque de 1 kg para producto MC.

Fuente: creación propia

Sacos de 20 kilogramos, dirigidos a clientes industriales que demandan mayores volúmenes para uso continuo en sus líneas de producción.



Figura 27. Vista de empaque de 20 kg para producto de MC.

Fuente: creación propia

ETAPA 6: Verificar el cumplimiento de las normativas ya establecidas para el cumplimiento de las normas de impacto ambiental.

Se analizaron los marcos legales vigentes y los lineamientos para productos forestales no maderables, lo cual permitió definir condiciones de aprovechamiento responsable que garanticen la conservación del recurso, el equilibrio ecológico y la regeneración natural del agave de lechuguilla y el manejo de agua y residuos al momento de la producción de MC.

A continuación, se muestran las normas ya establecidas que deben seguirse:

NOM-008-SEMARNAT-1996:

Norma Oficial Mexicana que establece los procedimientos, criterios y especificaciones para realizar el aprovechamiento, transporte y almacenamiento de cogollos. (SEMARNAT, 1996)

NMX-FF-113-SCFI-2009:

Norma Mexicana que establece las especificaciones de calidad para la fibra (ixtle) obtenida de plantas de Lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr.) después de su recolección destinada para su comercialización en el territorio nacional. Refiere únicamente las características de la fibra (ixtle) de Lechuguilla designada como 100% natural. Se excluyen las fibras (ixtles) de Lechuguilla, teñidas, mezcla por color 100% ixtle o mezcla con otras fibras diferentes a la de ixtle. (Secretaría de Economía, 2009)

NOM-001-SEMARNAT-2021

Norma Oficial Mexicana que establece los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales, con el fin de proteger, conservar y mejorar la calidad de las aguas y bienes nacionales. (SEMARNAT, 2021)

CONCLUSIONES

- Se logró la prospección para la producción de MC a escala semi industrial apta para las industrias papelera, construcción y cosmética a partir de fibras de *Agave lechuguilla* Torr. De acuerdo con demandas actuales del mercado.
- Se realizó el documento correspondiente a la identificación de las zonas productoras potenciales de la región de Coahuila bajo un esquema de uso sustentable y conservación del *Agave lechuguilla* Torr, cuya información es reservada ya que se encuentra integrada en la solicitud de protección industrial ante el IMPI.
- Se generó un layout y los diseños para los equipos (igualmente integrados la solicitud de protección industrial ante el IMPI) necesarios para la instalación de una planta tratadora de fibras de lechuguilla a nivel semi industrial.
- Se generaron dos diseños para la presentación del producto terminado (1 Kg y 20 Kg) de acuerdo con las necesidades identificadas en las encuestas realizadas.
- Se observa por el perfilamiento industrial que la fabricación de MC es un sector prospero en México, fuerte y con tendencia al alza. El perfilamiento demuestra la existencia cada vez más fuerte de la presencia de demanda de estos productos, además, las tendencias globales apuntan cada vez más a la producción de productos sustentables.
- La valoración financiera demostró obtener indicadores alentadores para la creación de esta empresa, si bien el proyecto se pronostica con beneficios de largo plazo, se sabe que el banco de México reducirá la tasa de interés para los próximos años, lo cual derivará en contar con un una VAN más alta que la que se muestra actualmente en el proyecto
- Al ser un proyecto innovador en la ciencia biotecnológica se pueden buscar exenciones gubernamentales para reducir la carga impositiva y lograr así que la rentabilidad del proyecto mejore.

- Se identificaron las normas que deben cumplirse en materia de aprovechamiento sustentable de la materia prima y de impacto ambiental derivado de los procesos de explotación, transformación y comercialización del producto terminado.

ANEXOS



Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro

DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL

Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos

Calzada Antonio Narro No. 1923, Colonia Buenavista

Saltillo, Coahuila, México, C.P. 25315

Tel. (844) 411 02 00 Ext.1745

e-mail: cienciasyec.dealimentos@uaaan.edu.mx



2025
Año de la
Mujer
Indígena

1/1

Buenavista, Saltillo, Coah., 20 de agosto de 2025
Asunto: **Solicitud de revisión y registro ante el IMPI**

M.C. Hilda Cecilia Burciaga Dávila
Jefa del Departamento de Validación
PRESENTE.-

Los suscritos, Dra. María Hernández González, profesora investigadora titular "C" con número de empleado 3496, Dr. Francisco Hernández Centeno, profesor investigador titular "C" con número de empleado 3714; ambos adscritos al Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos, e Ing. Mónica Daniela Alvarado Macías, con número de matrícula 41175101, estudiante del programa de Maestría en Ciencias en Innovación y Desarrollo de Procesos Biotecnológicos, solicitamos ante la instancia que dignamente usted dirige la revisión de la solicitud de registro ante el Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial (IMPI) respecto al modelo de utilidad titulado **"SISTEMA DE DIGESTIÓN Y LAVADO PARA EL PROCESO DE OBTENCIÓN DE MICRIFIBRAS DE CELULOSA A PARTIR DE LA FIBRA DE HOJAS DE Agave lechuguilla Torr."**, para lo cual presentamos ante usted:

- Formato de solicitud ante el IMPI debidamente requisitada.
- Anexos correspondientes
- Carta de cesión de derechos de la invención a favor de la UAAAN
- Factura de pago del derecho correspondiente.

Para la gestión correspondiente a este trámite.

Sin otro particular, agradecemos la gentileza de sus siempre gentiles atenciones.



Recibido
Dr. Armando Robledo

Dra. María Hernández González
Profesora investigadora "C"

Dr. Francisco Hernández Centeno
Profesora investigadora "C"

Ing. Mónica Daniela Alvarado Macías
Alumna, Matrícula 41175101

C.c.p. Dr. José Dueñez Alanís. **Director de Investigación.**
Dra. Ana Verónica Charles Rodríguez. **Jefa del Depto. de ciencia y Tecnología de Alimentos.**
Dr. Armando Robledo Olivo. **Jefe del Programa de Maestría en Ciencias en Innovación y Desarrollo de Procesos biotecnológicos.**
Archivo/minuta

"2025, Año de la Mujer Indígena"

Anexo 1. Solicitud de patente.

LITERATURA CITADA

- Arroyo Galván, A. (2022). *INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN CIENCIA Síntesis de un material compuesto de polímero de citrato de glicerol (PCG) reforzado con microcelulosa (MC): caracterización estructural, superficial y térmica. Tesis para obtener el grado en.*
- Castillo Quiroz, D., & Cano Pineda Carlos Bernalga Reyes, A. A. (2012). *Establecimiento y aprovechamiento de la lechuguilla (Agave lechuguilla Torr.).* www.conafor.gob.mx/biblioteca-forestal
- Castillo Quiroz, D., Trinidad, J., Reyes, S., Velasco, M. N., Antonio, J., & Ramos, V. (2013). *PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LA FIBRA DE Agave lechuguilla Torr. DE CINCO PROCEDENCIAS BAJO PLANTACIONES PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF Agave lechuguilla Torr. FIBER UNDER PLANTATIONS OF FIVE PROVENANCES.*
- Cervera-Ferri Mónica Luz Ureña, J. L. (2017). *Indicadores de producción verde Una guía para avanzar hacia el desarrollo sostenible.*
- Diaz De Leon, M. C. L. T. R. G. C. A. (2005). *SECRETARIA DE AGRICULTURA, GANADERIA, DESARROLLO RURAL, PESCA Y ALIMENTACIÓN LIC. FRANCISCO MAYORGA CASTAÑEDA Secretario ING. FRANCISCO LOPEZ TOSTADO Subsecretario de Agricultura y Ganadería ING. ANTONIO RUIZ GARCIA Subsecretario de Desarrollo Rural.*
- Érika, P., Simisterra Quiñonez, +, Angélica, R., Monserrate, R., & Cristóbal Suárez López, S. (2018). *La viabilidad de un proyecto, el valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR) The viability of a project, the net present value (NPV) and the internal rate of return (IRR) (Vol. 2).*
- Ferrero, B., Boronat, T., Moriana, R., Fenollar, O., & Balart, R. (2013). Green composites based on wheat gluten matrix and posidonia oceanica waste fibers as reinforcements. *Polymer Composites*, 34(10), 1663–1669. <https://doi.org/10.1002/pc.22567>
- Fowler, P. A., Hughes, J. M., & Elias, R. M. (2006). Biocomposites: Technology, environmental credentials and market forces. In *Journal of the Science of Food and Agriculture* (Vol. 86, Issue 12, pp. 1781–1789). <https://doi.org/10.1002/jsfa.2558>
- Hernández-Hernández, R. N., Vázquez-García, R. Á., Hernández-Ávila, J., Veloz-Rodríguez, M. A., & Villagomez-Ibarra, J. R. (2021). Obtención de celulosa cristalina de hoja de maíz de Metztlán Hidalgo. *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías Del ICBI*, 9(Especial2), 7–12. <https://doi.org/10.29057/icbi.v9iespecial2.7993>
- Mete Marcos Roberto. (2014). *VALOR ACTUAL NETO Y TASA DE RETORNO: SU UTILIDAD COMO HERRAMIENTAS PARA EL*

ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE PROYECTOS DE INVERSIÓN Lic. Marcos Roberto Mete NET PRESENT VALUE AND INTERNAL RATE OF RETURN: ITS UTILITY AS TOOLS FOR ANALYSIS AND EVALUATION OF.

- MC. Oscar Ulises MARTÍNEZ BURCIAGA, MC. D. C. Q. ING. O. M. A. (2011). *Caracterización_y_selección_de_sitios_pa*.
- Norberto Jesús Roque Díaz De León, I. DE, PEDRO BRAJCICH GALLEGOS director general, P. D., SEBASTIAN ACOSTA NUÑEZ Coordinador de Planeación Desarrollo Dra MARIA EMILIA A JANETTI DIAZ, P. D., & LUIS FRANCISCO JAVIER PADILLA RAMIREZ Director Regional Ph D JORGE ELIZONDO BARRON Director de Investigación C P JOSE CRUZ GONZÁLEZ FLORES Director de Administración, P. D. (2005). *SECRETARIA DE AGRICULTURA, GANADERIA, DESARROLLO RURAL, PESCA Y ALIMENTACIÓN LIC. FRANCISCO MAYORGA CASTAÑEDA Secretario ING. FRANCISCO LOPEZ TOSTADO Subsecretario de Agricultura y Ganadería ING. ANTONIO RUIZ GARCIA Subsecretario de Desarrollo Rural*.
- Pérez-Hernandez. (2022). *Cambio climático: un futuro inexorable*.
- Pilla, S. (2011). *Engineering Applications of Bioplastics and Biocomposites- An Overview*.
- Secretaría de Economía, S. de C. y N. (2009). *Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice: Estados Unidos Mexicanos*.
- SEMARNAT. (1996). *008-recn*.
- SEMARNAT. (2021). *SECRETARIA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES*. <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/convencion-sobre-los-humedales-de-importancia>
- Tavares, T. D., Antunes, J. C., Ferreira, F., & Felgueiras, H. P. (2020). Biofunctionalization of natural fiber-reinforced biocomposites for biomedical applications. In *Biomolecules* (Vol. 10, Issue 1). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/biom10010148>
- Tienhaara, K. (2016). Governing the Global Green Economy. *Global Policy*, 7(4), 481–490. <https://doi.org/10.1111/1758-5899.12344>
- U.S. Department of energy. (2003). *BIOBASED MATERIALS*.
- Vinod, A., Sanjay, M. R., Suchart, S., & Jyotishkumar, P. (2020). Renewable and sustainable biobased materials: An assessment on biofibers, biofilms, biopolymers and biocomposites. In *Journal of Cleaner Production* (Vol. 258). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120978>
- ANIQ. (2024). Anuario estadístico de la industria química 2024: Capacidad instalada en la industria química. Asociación Nacional de la Industria Química. Recuperado de <https://aniq.org.mx/Anuario/2024/Capitulo2/capacidadInstalada.html>
- aniq.org.mx
- PLÁSTICO. (2019). Panorama de la industria química en México. Revista Plástico.