



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO®

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE DURANGO
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN



INSTITUTO TECNOLÓGICO DEL VALLE DEL GUADIANA



**“VALORACIÓN DEL BAGAZO DE AGAVE MEZCALERO
(Agave durangensis) COMO SUSTRATO PARA LA
PRODUCCIÓN DE HORTALIZAS”**

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de

Maestría en Ingeniería

Presenta:

Jessica Lizeth Gómez Vargas

Director de tesis:

M.C. Oscar Gilberto Alaniz Villanueva

Co-Director:

Dr. Jaime Herrera Gamboa

Durango, Dgo. México, diciembre, 2024.





“VALORACIÓN DEL BAGAZO DE AGAVE MEZCALERO (Agave durangensis) COMO SUSTRATO PARA LA PRODUCCIÓN DE HORTALIZAS”

Presenta:

Jessica Lizeth Gómez Vargas

COMITÉ TUTORIAL

M.C. Oscar Gilberto Alaniz Villanueva Director	 Firma
Dr. Jaime Herrera Gamboa Codirector	 Firma
Dra. Merit Cisneros González Asesor	 Firma
M.C. Dario Cisneros Arreola Asesor	 Firma

M.C. Norma Alicia García Vidaña

Coordinadora del programa de la Maestría
en Ingeniería.

Dr. Francisco Javier Godínez García

Jefe de la División de Estudios de Posgrado e
Investigación

Durango, Dgo. México diciembre de 2024





TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO



Instituto Tecnológico de Durango
División de Estudios de Posgrado e Investigación

Victoria de Durango, Dgo., a **19 / Noviembre / 2024.**

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

DEPI / C / 517 / 2024.

ASUNTO: Autorización de Tema de Tesis de Maestría.

C. JESSICA LIZETH GÓMEZ VARGAS

No. DE CONTROL M11040476

PRESENTE.

Con base en el Reglamento en vigor y teniendo en cuenta el dictamen emitido por el Jurado que le fue asignado, se le autoriza a desarrollar el tema de tesis para obtener el **Grado de Maestra en Ingeniería** cuyo título es:

"VALORACIÓN DEL BAGAZO DE AGAVE MEZCALERO AGAVE DURANGENSIS COMO SUSTRATO PARA LA PRODUCCIÓN DE HORTALIZAS"

CONTENIDO:

	RESUMEN
CAPÍTULO I	INTRODUCCIÓN
CAPÍTULO II	MARCO TEÓRICO
CAPÍTULO III	MATERIALES Y MÉTODOS
CAPÍTULO IV	RESULTADOS Y DISCUSIÓN
CAPÍTULO V	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES
	ANEXOS

ATENTAMENTE.

*Excelencia en Educación Tecnológica**
"La Técnica al Servicio de la Patria"

C. FRANCISCO JAVIER GODÍNEZ GARCÍA
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN



FJGG'ammc.



Biv. Felipe Pescador No. 1830 Ute., Durango, Dgo., C.P. 34090 Tels. 418-818-69-36
+52111 depposgrado@stdurango.edu.mx tecnm.mx | itdur





Victoria de Durango, Dgo., a **19 / Noviembre / 2024**

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN
DEPI / C / 518 / 2024.

ASUNTO: Autorización de Impresión de Tesis de Maestría.

C. JESSICA LIZETH GÓMEZ VARGAS
No. DE CONTROL M11040476
PRESENTE.

De acuerdo al reglamento en vigor y tomando en cuenta el dictamen emitido por el jurado que le fue asignado para la revisión de su trabajo de tesis para obtener el **Grado de Maestra en Ingeniería**, esta División de Estudios de Posgrado e Investigación le autoriza la impresión del mismo, cuyo título es:

"VALORACIÓN DEL BAGAZO DE AGAVE MEZCALERO AGAVE DURANGENSIS COMO SUSTRATO PARA LA PRODUCCIÓN DE HORTALIZAS"

Sin otro particular de momento, quedo de Usted.

ATENTAMENTE.

Excelencia en Educación Tecnológica®
"La Técnica al Servicio de la Patria"

C. FRANCISCO JAVIER GODÍNEZ GARCÍA
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN



FJGGammc.





Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Humanidades Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por su valioso apoyo y respaldo financiero. Gracias a la beca otorgada, fue posible la realización de esta tesis, permitiéndome concluir mis estudios de postgrado.

Al Tecnológico Nacional de México Campus Valle del Guadiana, por brindarme el acceso al área de invernaderos para realizar esta investigación. Su disposición para facilitarme las instalaciones y el respaldo que me ofrecieron durante todo el proceso ha sido fundamental para el desarrollo de este trabajo.

A mi director de tesis M. C. Oscar Gilberto Alaniz Villanueva y al Dr. Jaime Herrera Gamboa por su paciencia, instrucción y apoyo durante mi preparación académica.

A la M.C.E Thalia Daniela Vargas Reyes, este logro no habría sido posible sin su ayuda y su ejemplo de dedicación a la investigación y la enseñanza.

A mis maestros por compartir sus conocimientos.

A mis compañeros de generación de la maestría en Ingeniería.

A mi familia por su apoyo incondicional.





Resumen

En nuestro estado se elaboran aproximadamente 300,000 litros de mezcal a granel cada año. Los municipios de Durango y Nombre de Dios contribuyen con 50,000 litros a esta producción total, generando como subproducto alrededor de 300 toneladas de bagazo seco al año. Dada esta situación, resulta imprescindible recurrir a tecnologías innovadoras para aprovechar los subproductos obtenidos, reincorporarlos a la cadena de producción y que sus aplicaciones biotecnológicas contribuyan a una producción agrícola más sostenible y eficiente. Ante este escenario se planteó como objetivo. Conocer la rentabilidad de la producción de sustrato derivado del bagazo de agave mezcalero (*Agave durangensis*), evaluando la viabilidad financiera de la producción y comercialización del sustrato en dos etapas, primero se realizó una investigación de mercado para conocer la rentabilidad económica al comercializar el producto. La segunda consideró únicamente la producción de tomate con sustrato de bagazo de agave. Los indicadores resultaron positivos y favorables; el VAN es de \$94,427.74 y la TIR es 29.92%. Se recupera la inversión a los 2 años, 7 meses y 21 días de comenzado el proceso productivo. El índice B/C obtenido es de 1.34 esto significa que cada peso invertido genera 0.34 pesos de ganancia neta, económica y financieramente el proyecto se considera viable. Como mejorador de suelos, el compost de bagazo de agave mezcalero es una opción viable y económica para recuperar tierras improductivas, y también como sustrato para la producción de hortalizas bajo condiciones de invernadero.

Palabras clave: Residuos; Composta; Rentabilidad; Inversión.





Abstract

In the State of Durango, around 300,000 L of bulk mezcal are produced each year, 50,000 L are produced in the municipalities of Durango and Nombre de Dios, generating up to 300 tons of dry weight bagasse per year. For this reason, it is necessary to use new technologies to take advantage of the generated by-products and reincorporate them into the production chain so that their biotechnological applications contribute to a more sustainable and efficient agricultural production system. Given this scenario, I set the objective to know the profitability of the production of substrate derived from the bagasse of mezcalero agave (*Agave durangensis*), evaluating the financial viability of the production and commercialization of the substrate in two stages, in the first one, a market investigation was carried out to know the economic profitability when commercializing the product. The second, considered only tomato production with agave bagasse substrate. The indicators were positive and favorable; the NPV (Net Present Value) is \$94,427.74 and the TIR is 29.92%. The investment is recovered 2 years, 7 months and 21 days after the start of the production process. The B/C index obtained is 1.34, which means that the project is considered economically and financially viable. This indicates that for every peso invested, 0.34 pesos of net profit is obtained, The use of composted mezcalero agave bagasse is a sustainable and economical alternative to degraded, contaminated or eroded soils, when used as a soil improver, as well as a substrate for the production of vegetables under greenhouse conditions.

Keywords: Wastes; Compost; Profitability; Investment.





INDICE

Capítulo 1 Introducción.....	1
1.1 Planteamiento del problema	2
1.1.1 Objetivo general.....	2
1.1.2 Objetivos específicos.....	2
1.2 Justificación	3
1.3 Delimitación del problema.....	4
Capítulo 2 Capítulo Marco teórico	5
2.1 Antecedentes	5
2.1.1 Generalidades del agave	5
2.1.2 Agave mezcalero (Agave durangensis).....	6
2.2 Producción de mezcal	7
2.2.1 Producción nacional	8
2.2.3 Producción de mezcal en el estado de Durango	10
2.3 Residuos de agave en el proceso de producción del mezcal	10
2.3.1 Aprovechamiento de bagazo	11
2.3.2 Composta y sustrato agrícola.....	12
2.3.3 Pre-tratamiento fúngico de biomasa (bagazo) de agave	13
2.3.4 Pre-tratamiento biológico hongos causantes de pudrición	14
2.4 HORTALIZAS DE TOMATE	15
2.4.1 Generalidades	15
2.4.2 Requerimiento de cultivo.....	16
2.4.2.1 Luminosidad o Radiación	16
2.4.2.2 Temperatura	16
2.4.2.3 Humedad Relativa	16
2.4.2.4 Suelos	17
2.4.2.5 Variedades.....	17
2.4.3 Clasificación de acuerdo al crecimiento de la planta.....	17
2.4.4 PRODUCCION DE TOMATE EN MEXICO	17
Capítulo 3 Materiales y métodos	20





3.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	20
Figura 2. Sitio experimental: Invernadero del Instituto Tecnológico del Valle del Guadiana.....	21
3.2 Caracterización del bagazo.....	21
Figura 3. Situación geográfica del vinata	21
Figura 4. Recolección del bagazo donado por la vinata ubicada en San José de Acevedo en Nombre de Dios, Dgo., México.....	22
3.3 Preparación de la composta.....	23
Figura 5. Preparación de la composta, adición del Hongo Pleurotus para acelerar el proceso de degradación.....	23
TABLA 1. RESULTADOS DE LAS MUESTRAS ENVIADAS A FERTILAB	24
3.4 TIPO DE DISEÑO: Diseño Experimental	25
Figura 6. Preparación de mezclas.....	25
Tabla 3. Clasificación de los tratamientos.....	25
Figura 7. Etapas para la producción de hortalizas ((Lycopersicum esculentum; variedad Benedetti de crecimiento indeterminado)	26
3.5 Variables.....	26
Figura 8. Control de crecimiento tomando en cuenta las variables mencionadas.....	27
Figura 9. Metodología	28
3.6 Análisis Estadístico	28
3.7 Análisis Financiero.....	28
3.7.1 Indicadores De Rentabilidad	29
Capítulo 4 Resultados y discusión	30
4.1 Efecto en la producción de tomate	30
4.2 Caracterización del sustrato de bagazo de Agave durangensis	33
Tabla 3. Recuperación de la inversión.....	33
Capítulo 5 Conclusiones y recomendaciones.....	34
REFERENCIAS.....	35





Índice de figuras

Figura 1. Sitio experimental: Instituto Tecnológico del Valle del Guadiana	20
Figura 2. Sitio experimental: Invernadero del Instituto Tecnológico del Valle del Guadiana.....	21
Figura 3. Situación geográfica del vinata	21
Figura 4. Recolección del bagazo donado por la vinata ubicada en San José de Acevedo en Nombre de Dios, Dgo., México.....	22
Figura 5. Preparación de la composta, adición del Hongo Pleurotus para acelerar el proceso de degradación.....	23
Figura 6. Preparación de mezclas.....	25
Figura 7. Etapas para la producción de hortalizas ((<i>Lycopersicum esculentum</i> ; variedad Benedetti de crecimiento indeterminado)	26
Figura 8. Control de crecimiento tomando en cuenta las variables mencionadas.....	27
Figura 9. Metodología	28





INDICE DE TABLAS

TABLA 1. RESULTADOS DE LAS MUESTRAS ENVIADAS A FERTILAB	24
Tabla 3. Clasificación de los tratamientos.....	25
Tabla 2. Indicadores de rentabilidad para gabazo.	33
Tabla 3. Recuperación de la inversión.....	33





Introducción

Con más de 200 variedades de agave, nuestro país es considerado como un tesoro botánico, destacando las 64 especies destinadas a la elaboración de mezcal. En 2022 la industria mezcalera en México produjo 14,165,505 litros, alcanzando un valor estimado de 15,686 mdp y representando nuestro país en 81 países. (COMERCAM, 2022). En este año el CRM registró que el 1.17% del Mezcal proviene del maguey cenizo *Agave durangensis*. Esta industria genera grandes cantidades del deshecho conocido como bagazo de agave, el bagazo es el material resultante de la extracción de los azúcares fermentables para producir mezcal y está compuesto de azúcar, celulosa, lignina y hemicelulosa, lo cual lo convierte en un material difícil de degradar y puede tardar hasta 4 años en descomponerse en forma natural (Rodríguez et al., 2010). En el estado de Durango cada año se producen alrededor de 300,000 L de mezcal a granel (Rosas et al., 2013) de los cuales 50,000 L se producen en los municipios de Durango y Nombre de Dios (Almaraz et al., 2007), llegando a generar hasta 300 toneladas de bagazo en peso seco al año. Si bien la elaboración de mezcal se rige por normas de calidad, existe una laguna legal en cuanto al manejo del bagazo de agave. Esta falta de regulación ha ocasionado que muchos productores recurran a prácticas contaminantes como la quema o el desecho en cuerpos de agua. Diversos autores han estudiado su aprovechamiento en la agricultura y ganadería, tal es el caso de Crespo González et al., 2018 reportó influencia positiva del uso del bagazo de agave como sustrato para cultivar agave azul, sin embargo, no se ha encontrado una metodología completamente satisfactoria para darle un mejor uso. Por ello, se plantea la evaluación de la rentabilidad de la producción de sustrato derivado del bagazo de agave mezcalero (*Agave durangensis*), a través de nuevas tecnologías para aprovechar los subproductos generados, reincorporarlos a la cadena de producción y que sus aplicaciones biotecnológicas contribuyan a una producción agrícola más sostenible y eficiente.





1.1 Planteamiento del problema

Con un crecimiento sostenido en la producción de mezcal, Durango, se posiciona como un estado con un gran potencial económico en este sector, generando el 1.41% del total nacional en 2022.

A pesar de generar residuos como vinazas y bagazos, la industria no tiene un manejo eficiente y tampoco cuenta con estudios que evalúen el impacto ambiental de su disposición, lo que representa un vacío de conocimiento.

1.1.1 Objetivo general

Evaluar la eficiencia del bagazo de agave mezcalero (*Agave durangensis*) como sustrato para la producción de hortalizas.

1.1.2 Objetivos específicos

- Evaluar la calidad de compost producido a partir de agave mezcalero (*Agave durangensis*) adicionando hongos de la pudrición blanca.
- Evaluar el desarrollo de la planta y calidad del fruto en diferentes tratamientos.
- Determinar la rentabilidad del proyecto (análisis costo–beneficio).
- Desarrollar un prototipo de valor agregado, etiquetarlo y realizar una investigación de mercado que permita conocer las posibles proyecciones de venta.





1.2 Justificación

Como resultado del proceso de fermentación y destilación del maguey, se obtienen los bagazos, un residuo sólido formado por fibras vegetales ricas en celulosa y hemicelulosa, almacenan moléculas y por lignina, que le dan sostén al cuerpo de la planta, así como de azúcares reductores, Nitrógeno total, pectina, grasas y otros.

Dentro de las posibilidades de aprovechamiento, la agricultura se posiciona como la mejor opción para los bagazos, gracias a su carácter sostenible y sus ventajas medioambientales. Producir un sustrato es una alternativa para el manejo y gestión de bagazo de agave, otorgándole valor agregado para que el subproducto sea utilizado como suelo agrícola, y provea de fertilizantes orgánicos, resultando en una reducción en el costo de producción de hortalizas y permita tener mejor control en el desarrollo del cultivo en cuanto al riego con un mejor control en el drenaje.

Al proporcionar los nutrientes necesarios de manera precisa, garantizamos una nutrición óptima para las plantas, a diferencia del suelo, donde la disponibilidad de minerales es incierta. Esto contribuye a una agricultura más eficiente y sostenible.

Por último, conocer la viabilidad financiera de este innovador producto nos permitirá comercializarlo y así fortalecer la economía local mediante la implementación de modelos de producción que promueven la reutilización de residuos como materia prima., generación de empleos y mayor crecimiento económico.





1.3 Delimitación del problema

El alcance del presente trabajo es producir un sustrato a partir del bagazo de agave mezcalero (*Agave durangensis*) para el cultivo de la producción de hortalizas y tenerlo como alternativa de producción sustentable. Del mismo modo, conocer la viabilidad financiera lo cual nos permitirá comercializarlo y así fomentar la economía local mediante la implementación de modelos de producción que promueven la reutilización de residuos como materia prima, generación de empleos y mayor crecimiento económico.





Capítulo Marco teórico

2.1 Antecedentes

2.1.1 Generalidades del agave

Los agaves, presentes en gran cantidad en los paisajes áridos y semiáridos de México, son especies fundamentales para el equilibrio de estos ecosistemas debido a los múltiples beneficios que aportan a otros organismos.

Desde tiempos ancestrales, los pueblos de Mesoamérica utilizaban el maguey como una fuente fundamental de alimento, de lo cual existen hallazgos en cuevas en el Valle de Oaxaca, Tehuacán y Coahuila. En este lugar se encontraron diversos objetos hechos de maguey, como cuerdas de ixtle y sandalias, lo que demuestra la importancia y la versatilidad de esta planta en la vida de las antiguas culturas. ⁽¹⁾

Villarreal y col. Mencionan que el agave era el principal sustento de las culturas nativas, proporcionándoles la mayor parte de los carbohidratos que necesitaban antes de que el maíz tomara ese lugar en el continente americano. ⁽²⁾

Nuestro país es el hogar de una asombrosa variedad de agaves, que no solo destacan por su diversidad biológica, sino también por su importancia cultural. Los mexicanos han sabido aprovechar al máximo estas plantas perennes, adaptándolas a su estilo de vida y aprovechando sus múltiples beneficios, se consideran xerófitas, adaptadas a vivir en condiciones climáticas desfavorables, con largos periodos de sequía y altas temperaturas. ⁽³⁾

El género *Agave* (sensu stricto) es exclusivo de América, de sus aproximadamente 200 especies, 150 (75%) se encuentran en México, Sin embargo, esta diversidad no se distribuye de manera uniforme, concentrándose en ciertas regiones del país, distribuyéndose de la siguiente manera: Oaxaca, con 37 especies, Puebla con 31, Sonora con 30, Querétaro con 26 y Durango con 24. ⁽⁴⁾

La distribución del subgénero *Littaea* en México es más restringida, concentrándose principalmente en ciertas regiones del país. La barranca de Metztlán, en Hidalgo, alberga la mayor riqueza de especies de este subgénero. La gran variedad de especies endémicas en México es producto de la diversidad de sus ecosistemas y de las características propias de





cada especie. Factores como su capacidad de adaptación, su interacción con otras especies y los eventos históricos han influido en su distribución actual.

2.1.2 Agave mezcalero (*Agave durangensis*)

De las especies reportadas en Durango, la especie *Agave durangensis* o maguey cenizo además de ser endémica es la más aprovechada para extracción de mezcal en la entidad (1). Se distribuye en localidades como Nombre de Dios, Súchil y Durango, aunque, también se encuentra en Sierra Madre Occidental, en los municipios de Otaéz y Tamazula.

Los individuos adultos de *Agave durangensis* tienen una altura de 80 a 120 cm y 120 a 180 cm de cobertura, son de color gris glauco, hojas anchas con dimensiones de 40 a 90 cm de largo por 14 a 22 cm de ancho, lanceoladas, con espina de 4 a 6 cm de largo, acanalada en la parte superior; la inflorescencia mide 7 a 8 cm de altura; flores amarillas de 70 a 80 cm de largo, los tépalos externos de 10 a 12 mm de longitud, semillas pequeñas (Gentry, 1982).

Esta especie constituye un recurso económico fundamental para la industria mezcalera regional. De su aprovechamiento en campo se obtiene como materia prima la piña mediante el proceso de jimado, quedando las hojas como residuo mismas que representan aproximadamente el 50% de la planta (González, 2011)





Cuadro No 1.-Distribución de *Agave durangensis* en los Estados de Durango y Zacatecas

Estados	Municipios	Localidad	Comunidad vegetal	Geoforma
Durango	Durango	Boca del Mezquital	Matorral de <i>Dasylirium-Fouqueria</i>	Ladera de sierra
		Sierra El Registro	Matorral de <i>Acacia-Prosopis-Opuntia</i>	Ladera y abanico aluvial
	El Mezquital	Mezquital	Matorral de <i>Dasylirium</i>	Ladera
		Temoaya	Matorral de <i>Dasylirium-Acacia</i>	Ladera de sierra
	Nombre de Dios	Sierra El Registro	Matorral de <i>Prosopis-Bursera</i>	Laderas de sierra y abanico aluvial
		El Venado	Matorral de <i>Fouqueria-Prosopis-Acacia</i>	Ladera de sierra
	Súchil	San Miguel de la Michilia	Bosque de <i>Quercus</i>	Sierra
		Reserva de la Biósfera de la Michilia.	Bosque de <i>Quercus-Pinus</i>	Sierra
Zacatecas	Zacatecas	"Sierra Zacatecas"	Matorral de <i>Opuntia</i>	Sierra
		Sobre carretera ruta 54	Matorral de <i>Acacia-Opuntia</i>	Planicie

Fuente: Almaraz et al., 2009; Vargas, 2009; González et al., 1993. Maciel, 2010

2.2 Producción de mezcal

El mezcal es una bebida tradicional similar al tequila, se elabora con agave silvestre de manera artesanal con 8-10 años de madurez. Producir mezcal como bebida fue prohibido, por la Corona Española desde 1529 a finales del 1790, en la Nueva Vizcaya (Durango en la actualidad), en 1783, se solicitó la introducción legal de mezcal a través de puesto de control conocidos como "garitas" con destino a la Villa de Durango y en el año de 1804 se solicitó la licencia de venta con fines de recabar impuestos para diversas funciones públicas. (Rosas 2014).

En el siglo XVII la elaboración del mezcal comenzó a tener mayor importancia cuando su producción se incorpora a las grandes haciendas de la Nueva España. Este esquema se difundió desde Nueva Galicia (hoy Jalisco), a las regiones vecinas de Nueva Vizcaya (Durango) y de Zacatecas (Aguascalientes y Zacatecas), porque su venta representaba un alto valor económico por la comercialización entre los estados con intensa actividad minera. (Flores 1997; García 2008).





En tanto hacia el periodo de 1800 al año de 1804, se solicitaba la designación de sitios con licencia para venta de mezcal en la Ciudad de Durango, a fin de recabar suficientes impuestos para destinarlos a la edificación de casas consistoriales, casas reales, cárceles, alhóndigas y otras dependencias. (Rosas 2014)

La industria mezcalera posee una ventaja competitiva al poder utilizar una variedad de agaves, lo que le permite diversificar su oferta y adaptarse a distintos paladares, a diferencia del tequila que se produce exclusivamente con una sola especie. (Morales-Carrillo y col. 2007).

El proceso de producción comienza con la cosecha del agave silvestre, durante esta etapa, se realiza la cosecha de las plantas, cortándolas a ras del suelo y retirando las hojas. Las piñas resultantes son sometidas a un proceso de cocción en hornos tradicionales, contruidos con piedras volcánicas que alcanzan altas temperaturas.

En la subsiguiente etapa, de los polisacáridos hidrolizados térmicamente se obtiene un jarabe rico en azúcares que se somete a fermentación alcohólica mediante la acción de levaduras nativas posteriormente pasa al proceso de destilación para así obtener esta bebida (Contreras, 2008).

2.2.1 Producción nacional

Con base a los datos publicados por la COMERCAM la producción de mezcal ha experimentado un crecimiento sostenido en los últimos años al presentar incrementó 355% entre el año 2012 y 2022. En este último año la industria mezcalera en México produjo 14,165,505 litros, alcanzando un valor estimado de 15,686 mdp. (COMERCAM, 2022).

En 2022, Oaxaca fue el principal estado productor de mezcal, aportando el 91.31% del total de la producción nacional. El segundo lugar lo ocupó Puebla con 3.44% de la producción, mientras que Durango representó el 1.41% y el resto lo produjeron San Luis, Guerrero, Michoacán y Zacatecas. (COMERCAM, 2022).





2.2.2 Producción por tipo de maguey

El Maguey Espadín (*A. angustifolia*) el principal empleado para la producción con el 81.08%, el cual se produce en el estado de Oaxaca, mientras que el maguey cenizo (*A. durangensis*) representó el 1.17%

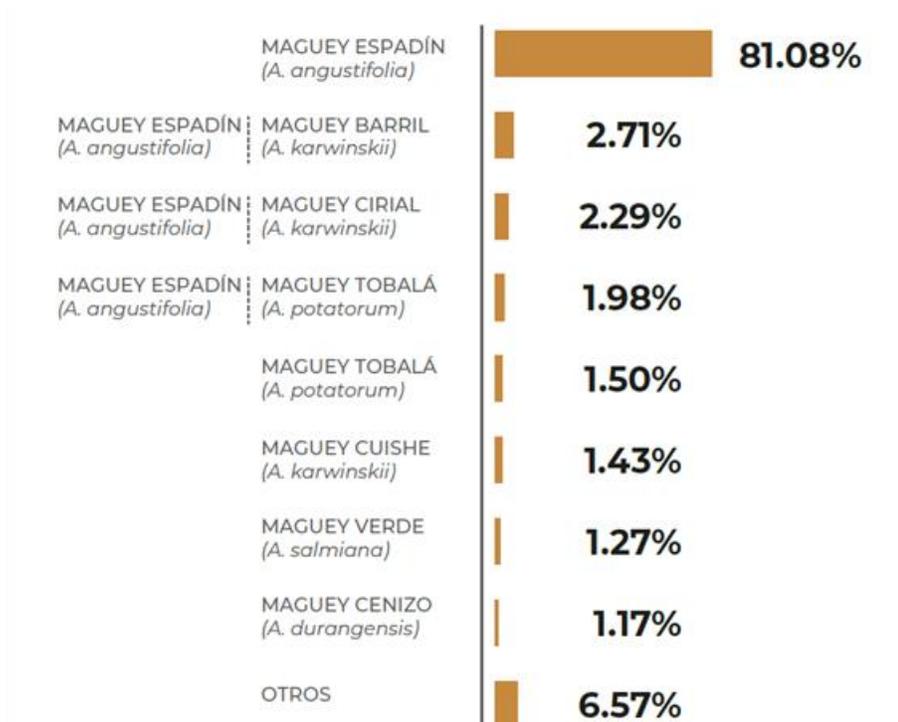


GRAFICO 1. PRODUCCIÓN POR TIPO DE MAGUEY REFERIDO AL 45% VOL. ALC.





2.2.3 Producción de mezcal en el estado de Durango

Aunque la producción de mezcal se basa en métodos tradicionales, existe un interés creciente por incorporar tecnologías modernas para optimizar este proceso, impulsado tanto por los productores como por el gobierno estatal.

El año 2008 marcó el inicio de la producción de mezcal industrial en Nombre de Dios, gracias a la construcción de una planta con maquinaria de última generación (tanques de cocción, tanques de fermentación y sistemas de destilación modernos de acero inoxidable), lo que permite un mejor control del proceso productivo, optimizando la utilización de la materia prima y resultando en un aumento tanto en la cantidad como en la calidad del mezcal.

El problema al que se enfrentan estos productores es el abastecimiento de la escasa materia prima ya que obtiene de las poblaciones silvestres de agave (Valenzuela y col., 2010). En nuestro municipio, la producción de mezcal aún se encuentra en una etapa incipiente, sin embargo, en algunas regiones representa un pilar fundamental de la economía local y en ocasiones la única (Barraza-Soto y col. 2014). Durango ocupa el tercer lugar nacional en producción de mezcal, aportando el 1.41% de total de la producción de 2022.

2.3 Residuos de agave en el proceso de producción del mezcal

El término residuo incluye a todo aquel material generado por las actividades de producción y consumo que no alcanza, en el contexto en que es producido, ningún valor económico, siendo necesario su tratamiento por razones de salud y de contaminación ambiental. (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico OCDE)

Los residuos generados en la producción de esta bebida no son gestionados de manera apropiada, lo que representa un riesgo para el medio ambiente. Se generan dos tipos de





residuos, los líquidos conocidos como vinazas y los sólidos llamados bagazos (Rodríguez-Cortés y Cerna-Hernández, 2017).

Las vinazas, un subproducto líquido de la producción de mezcal, presentan una alta carga orgánica y mineral, especialmente de ácidos y nutrientes, que pueden alterar significativamente las propiedades químicas y biológicas del suelo, generando un potencial riesgo para los ecosistemas.

El bagazo, un residuo sólido de la producción de mezcal, está compuesto principalmente de fibras vegetales como la celulosa y la hemicelulosa, que cumplen funciones de almacenamiento en la planta, y lignina, que proporciona rigidez a la estructura. Estos residuos lignocelulósicos representan el 40% del agave procesado, tan solo el estado de Oaxaca genera aproximadamente 4 millones de toneladas de bagazo al año; se sabe que en Tamaulipas durante la producción de mezcal se utilizan 15 toneladas de agave, de las cuales 10.5 Ton son residuos de bagazo (Hoz-Zavala y Nava-Diguero, 2017) y con los cuales no se realiza aprovechamiento alguno.

La gestión sostenible de los residuos es un imperativo global. Para lograr esto, es fundamental conocer en detalle la composición y las características de los residuos generados en cada actividad, especialmente en aquellos sectores que generan un impacto ambiental significativo.

Entre las múltiples opciones para aprovechar este recurso, su uso en la agricultura destaca como la alternativa más amigable con el medio ambiente, ofreciendo beneficios significativos.

2.3.1 Aprovechamiento de bagazo

El bagazo de agave mezcalero tiene amplio potencial y ventaja, al estar impregnado de alcoholes, al usarlo como combustible para la generación de energía renovable; así mismo los bagazos de agave tienen amplias posibilidades de ser utilizados como sustrato hortícola alternativo o complementario a los existentes (Iñiguezetal.,2014; Zárateetal.,2014; Crespo, 2018).





La evaluación detallada de los residuos industriales es indispensable para establecer políticas y regulaciones que promuevan prácticas de gestión ambiental responsables y eficientes, minimizando los impactos negativos en los ecosistemas y la salud pública.

Los residuos del mezcal tienen un amplio abanico de aplicaciones, desde la generación de energía renovable hasta la producción de fertilizantes y otros compuestos de alto valor agregado como compostaje y alimento para ganado.

2.3.2 Composta y sustrato agrícola

El compostaje se destaca como una de las técnicas más populares y sostenibles para transformar residuos orgánicos en fertilizantes de alta calidad, ofreciendo una alternativa limpia y socialmente aceptada a métodos como los vertederos o la incineración.

El bagazo de agave como otros residuos ocasionan contaminación ambiental por lixiviados, generación de malos olores y hábitat para plagas y enfermedades de plantas (Rodríguez et al, 2001).

El compostaje utiliza las condiciones más favorables de transformación de la materia orgánica, transformación que como se ha indicado tiene lugar de forma natural, y bajo un ambiente controlado que intenta mantener una continua degradación que permita acelerar el proceso (Benito, 2002).

Durante el compostaje parte de la materia orgánica es mineralizada generando dióxido de carbono, agua y calor, mientras que la otra parte es transformada en sustancias húmicas que son estructuralmente muy similares a las presentes en el suelo (Zbytniewski y Buszewski, 2005).

El cultivo fuera del suelo, ya sea en macetas o sistemas hidropónicos, exige el uso de sustratos artificiales que proporcionen a las plantas los nutrientes y el soporte necesarios para su desarrollo. Para la producción hortícola en la que se recurre a los cultivos sin suelo se pueden distinguir dos tipos de sistemas: los hidropónicos puros (con agua, Oxígeno disuelto y





nutrientes o sobre sustratos inertes) y los cultivos en sustratos no inertes (químicamente activos) (Vidal, 2012).

El término “sustrato” se aplica en horticultura a todo material sólido, natural, de síntesis o residual, mineral u orgánico, distinto del suelo in situ, que, colocado en un contenedor, puro o en forma de mezcla, permite el anclaje del sistema radicular, desempeñando, por tanto, un papel de soporte para la planta

Particularmente, la composta de bagazo de agave tiene características similares a la turba de Canadá y la puede sustituir a menor costo (Rodríguez, 2004). Con base a lo anterior, se ha planteado que la composta de agave favorece significativamente el desarrollo del agave azul en macetas.

El uso más común del bagazo es para la producción de abonos orgánicos como las compostas (Iñiguez et al., 2005; 2011), sin embargo, el tiempo del proceso del composteo es muy largo con un promedio de 7 a 8 meses. Por tal motivo es imprescindible encontrar métodos que aceleren la descomposición del bagazo de agave para optimizar su manejo.

2.3.3 Pre-tratamiento fúngico de biomasa (bagazo) de agave

El bagazo de agave, un residuo fibroso de tonalidad café amarillento resultante del proceso tequilero, se caracteriza por su alto contenido de celulosa y bajo contenido de lignina. Actualmente, este subproducto se gestiona mediante su disposición en áreas confinadas alejadas de las plantas procesadoras, donde se somete a un proceso de secado al sol y posterior empaquetado en pacas. Debido a su composición lignocelulósica, la degradación natural del bagazo en estos depósitos puede extenderse por varios años.

El bagazo de agave, una biomasa lignocelulósica rica en azúcares presenta un gran potencial para la producción de biocombustibles como el biogás y el bioetanol. Sin embargo, su compleja estructura lignocelulósica limita la accesibilidad de los microorganismos a los azúcares fermentables. Por lo tanto, es indispensable someter al bagazo a un pretratamiento físico, químico o biológico para incrementar su biodegradabilidad y maximizar la producción de biogás o bioetanol.





Por este motivo, para facilitar la acción de las enzimas sobre el material lignocelulósico, es necesario un pretratamiento que rompa la estructura de la lignina, el pretratamiento consiste en degradar o remover lignina (Lig.), ya que este biopolímero da una rigidez estructural al material.

Existen tres métodos de pretratamiento: el físico, el fisicoquímico y el biológico. El físico utiliza la molienda, pero no se recomienda en aplicaciones industriales pues requiere mucha energía y, generalmente, no remueve de manera satisfactoria la lignina (Taherzadeh & Keikhosro., 2008). El fisicoquímico utiliza la molienda junto con adición de químicos, por lo que es rápido y efectivo eliminando la lignina, pero tiene como problema los altos costos de implementación y los químicos usados son altamente contaminantes para el medio ambiente (Domínguez, et al., 2012). Finalmente, el biológico requiere un bajo consumo energético y no necesita de químicos en abundancia, pero posee como desventaja largos tiempos de proceso (Taherzadeh & Keikhosro, 2008).

2.3.4 Pre-tratamiento biológico hongos causantes de pudrición

Blanca y enzimas ligninolíticas

El método biológico suele utilizar hongos lignícolas, los cuales son los mejores degradadores de lignina de la naturaleza (Qi-he, et al., 2011). Los cuales utilizan enzimas para biodegradar. El interés biotecnológico radica en que estas enzimas no sólo son potentes catalizadores de fuertes oxidaciones, sino que lo interesante es su inespecificidad. Esto significa que no poseen un único sustrato como la mayoría de las enzimas, sino que su rango de sustratos (compuestos sobre los que tiene actividad) es muy amplio. La característica común de los sustratos atacables por ligninasas es que deben poseer estructuras aromáticas en su molécula. Cuando los aromáticos son del tipo fenólico son más fácilmente oxidables que aquellos no fenólicos.

Los hongos son organismos que junto con las bacterias terminan los procesos biológicos dentro de los ciclos biogeoquímicos y participan primordialmente en la descomposición de la biomasa para su posterior reincorporación al ecosistema. (Baena 2005)





En nuestro país contamos con más de 200 especies de hongos comestibles que son recolectados en diferentes ecosistemas, entre los que podemos mencionar a los bosques y las selvas.

El género *Pleurotus*, un grupo taxonómico que comprende aproximadamente 40 especies, agrupa hongos comestibles con una notable capacidad para degradar biomasa lignocelulósica. Además de su valor nutricional, estos organismos exhiben un amplio espectro de propiedades bioactivas, incluyendo actividad antiviral, anticancerígena y antibiótica, así como efectos hipocolesterolémicos.

Por otra parte, el género *Pleurotus* desempeña un papel crucial en la biodegradación de residuos agroindustriales, contribuyendo a la gestión sostenible de estos materiales. Además, su capacidad para producir enzimas líticas lo convierte en un organismo de gran interés en la biotecnología industrial. El cultivo de *Pleurotus ostreatus*, en particular, ha experimentado un crecimiento exponencial en las últimas décadas debido a sus múltiples aplicaciones, destacando su valor nutricional y su potencial biotecnológico.

2.4 HORTALIZAS DE TOMATE

2.4.1 Generalidades

El término "hortaliza" engloba las partes comestibles de diversas plantas, las cuales pueden consumirse tanto en estado fresco como cocinado. Estas constituyen una fuente invaluable de micronutrientes esenciales, como vitaminas A y C, potasio y ácido fólico, así como de fibra dietética, indispensable para el correcto funcionamiento del organismo.

En México, el cultivo de tomates (*Lycopersicon esculentum* Mill.) y chiles (*Capsicum annum* L.). en invernaderos ha experimentado un notable crecimiento en los últimos años.

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) pertenece a la familia de las solanáceas, es originario del oeste de América del Sur, entre el norte de Chile y Ecuador y posteriormente fue distribuido hacia el trópico y subtrópico de México, país considerado centro de domesticación (Peralta et al., 2006)





Los tomates son diversos en tamaño y forma, sin embargo, una de las formas que prevalece es la elongada (Brewer et al., 2007). Las plantas poseen una barrera protectora externa, la cutícula, compuesta principalmente por una matriz de cutina y una fracción lipídica. Esta capa cerosa, heterogénea en su composición, cumple diversas funciones fisiológicas, como la regulación del intercambio gaseoso y la protección contra la desecación. La cutina es un biopoliéster formado principalmente de la inter-esterificación de los ácidos hidroxialcanóicos C16 y C18, que diversos estudios señalan como un poliéster amorfo reticulado (Matas et al., 2004)

El tomate cultivado ha tenido un proceso de domesticación y selección con el fin de obtener mayor rendimiento, frutos uniformes en tamaño, mayor firmeza y vida de anaquel (Carrillo-Rodríguez et al., 2013); esto ha provocado que el cultivo tenga menos de 5 % de la variación genética que presentan los genotipos silvestres.

2.4.2 Requerimiento de cultivo

2.4.2.1 Luminosidad o Radiación

El tomate no tiene requerimientos específicos de fotoperiodo y puede desarrollarse adecuadamente con entre 8 y 16 horas de luz al día.

2.4.2.2 Temperatura

Para un óptimo desarrollo, el cultivo del tomate requiere temperaturas diurnas entre 28 y 30 °C y nocturnas entre 15 y 18 °C. Temperaturas superiores a 35 °C o inferiores a 10 °C durante la floración pueden provocar aborto floral y limitar el cuajado de los frutos, aunque existen variedades genéticas más tolerantes a altas temperaturas.

2.4.2.3 Humedad Relativa

La humedad relativa juega un papel crucial en la producción de tomate. Un nivel óptimo, entre el 65% y el 70%, es fundamental para garantizar una polinización adecuada y, por consiguiente, una mayor cantidad y calidad de frutos.





2.4.2.4 Suelos

El suelo es el sustento de las plantas, proporcionándoles el agua, nutrientes, oxígeno y soporte necesarios para su crecimiento. Los tomates se desarrollan mejor en suelos fértiles, profundos y bien drenados, con un pH ligeramente ácido (5.9-6.5) para una óptima absorción de nutrientes.

2.4.2.5 Variedades

La variedad de tomate a cultivar debe ser seleccionada en función de las demandas del mercado. Las características organolépticas y físicas del fruto, como el sabor, la textura y la apariencia, son fundamentales para satisfacer las preferencias de los consumidores y los requisitos de los mercados mayoristas y minoristas. Además, el productor tiene que seleccionar aquellos materiales que tengan características de tolerancia o resistencia a enfermedades y plagas.

2.4.3 Clasificación de acuerdo al crecimiento de la planta

Con base al Manual del Cultivo del tomate, otro criterio para decidir la variedad de tomate a sembrar es el hábito de crecimiento de la planta, el cual se clasifica como:

- **Crecimiento determinado.** Estas plantas herbáceas presentan un crecimiento determinado, alcanzando una altura máxima definida. La floración se concentra en los extremos de las ramas, con periodos de floración y cuajado relativamente cortos. Existe una amplia gama de portes en los cultivares de tomate, desde plantas de bajo crecimiento hasta variedades más vigorosas. La necesidad de tutores es común en los cultivares de mayor tamaño, especialmente en aquellos destinados a la producción de tomate de pasta o cocina.
- **Crecimiento indeterminado.** Estas plantas presentan un crecimiento vegetativo indefinido, con un tallo principal que puede alcanzar longitudes superiores a un metro si se permite su desarrollo sin poda. Las inflorescencias se originan lateralmente a lo largo del tallo principal. Florecen y cuajan uniformemente, este tipo de crecimiento es el preferido para cultivarse en invernaderos.

2.4.4 PRODUCCION DE TOMATE EN MEXICO

El tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en México y en el mundo es una de las hortalizas con mayor frecuencia ya que se siembra en invernadero (Aguilar, 2013). México a nivel





mundial se encuentra en la posición número 10 con una participación de 87,918 ha cosechadas de tomate y con una producción de 4,271,914 t (FAOSTAT, 2021). De acuerdo con el SIAP (2020) el tomate es la principal.

Sinaloa se posiciona como el principal estado productor de tomate en México, contribuyendo con 684,333 toneladas en 2020. Le siguen en importancia San Luis Potosí, Michoacán, Zacatecas y Jalisco, los cuales en conjunto representan el 51.8% de la producción nacional. A nivel municipal, Culiacán destaca como el mayor productor, aportando 230,826 toneladas.

La producción de tomate en México presenta una marcada estacionalidad, con picos máximos de producción durante los meses de octubre y noviembre, y mínimos durante los meses de marzo, julio y agosto.

La distribución de la producción de tomate por sistema de cultivo es la siguiente: 40% invernaderos, 32.8% a cielo abierto, 26.4% malla sombra y 0.8% macro túneles, lo que refleja una mayor adopción de tecnologías protegidas.

El 40.0% de la producción de tomate se obtiene en invernaderos, mientras que 32.8% es a cielo abierto, 26.4% en malla sombra y 0.8% en macro túnel, teniendo un claro dominio por parte de la agricultura protegida. Del mismo modo, Los invernaderos generan un valor de producción significativamente mayor, alcanzando los 11,867 millones de pesos, en comparación con los 8,842 millones de pesos obtenidos en cultivos a cielo abierto.

La Comarca Lagunera es un importante proveedor de tomate para el mercado estadounidense, al que destina el 80% de su producción. Esta orientación exportadora ha posicionado a la región como un actor relevante en el comercio internacional de este producto.

En Durango, la horticultura bajo cubierta se ha vuelto una alternativa atractiva para los productores, quienes han descubierto que esta práctica puede incrementar significativamente sus ingresos.

De los 29 municipios que son atendidos por la Delegación Federal en Durango de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA





2018), la mayor parte de la producción de tomate se desarrolla principalmente en las zonas agrícolas de los municipios de Canatlán, Cuencamé, Durango, Guadalupe Victoria, Mezquital, Nombre de Dios, Nuevo ideal, Panuco de Coronado, Poanas y Vicente Guerrero; en donde, el año pasado se cosecharon alrededor de 36.6 mil toneladas que se cultivaron en 297 hectáreas.

De acuerdo con lo publicado por SAGARPA en 2018, De las 81.28 hectáreas cultivadas, los invernaderos producen 13,384 toneladas de tomate saladette, variedad muy demandada en el mercado estadounidense, donde los productos agrícolas mexicanos gozan de gran aceptación.





Materiales y métodos

3.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El estudio se llevó a cabo, en el área de invernaderos del Tecnológico Nacional de México Campus Valle del Guadiana ubicado en el municipio de Durango carretera México km 22.5 durante el ciclo primavera – otoño 2022

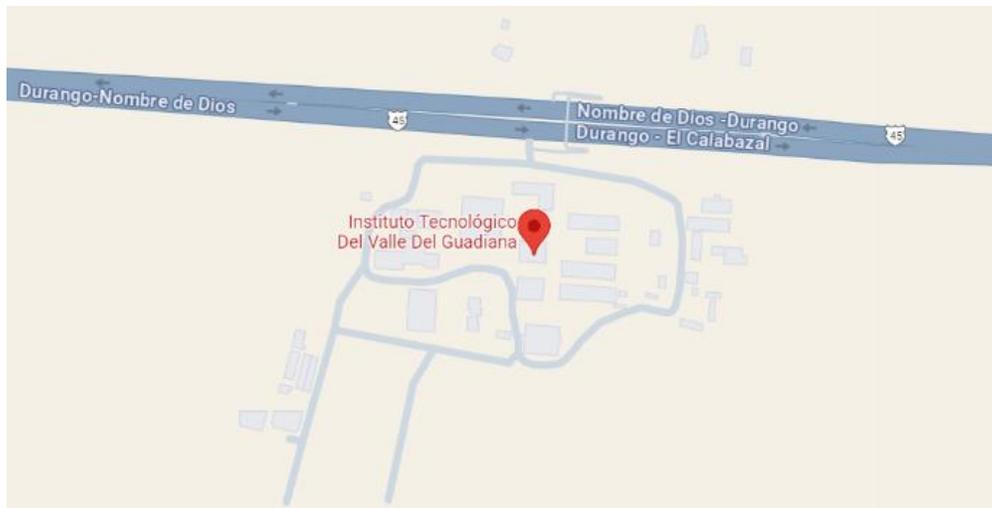


Figura 1. Sitio experimental: Instituto Tecnológico del Valle del Guadiana





Figura 2. Sitio experimental: Invernadero del Instituto Tecnológico del Valle del Guadiana

3.2 Caracterización del bagazo

El material a utilizar será donado por la vinata del señor Jorge Ribera Soto con domicilio en San José de Acevedo en Nombre de Dios, Dgo., México.



Figura 3. Situación geográfica del vinata





Figura 4. Recolección del bagazo donado por la vinata ubicada en San José de Acevedo en Nombre de Dios, Dgo., México.



3.3 Preparación de la composta

Se adicionó HCPB en el compostaje para acelerar el proceso de degradación del material, se apiló, humedeció y se cubrió con hule negro. El proceso de compostaje empleado fue anaeróbico y se aplicaron riegos y volteos durante 45 días, durante ese tiempo se controló la humedad temperatura y pH.



Figura 5. Preparación de la composta, adición del Hongo Pleurotus para acelerar el proceso de degradación.

Se extrajo una muestra del sustrato para llevar a cabo un análisis exhaustivo de sus características físicas, químicas y microbiológicas., se envió a FERTILAB® laboratorio de análisis agrícolas ubicado en Celaya, Gto. para las siguientes determinaciones: pH, Conductividad Eléctrica, Nitrógeno Total, Fósforo, Potasio, Calcio, Magnesio Azufre, Sodio, Hierro, Manganeso, Zinc, Cobre, Boro, Materia Orgánica, Humedad Cenizas, Carbón Orgánico, Relación C:N.





TABLA 1. RESULTADOS DE LAS MUESTRAS ENVIADAS A FERTILAB

ELEMENTO	UNIDADES	RESULTADO	MÉTODO
Cond. Eléctrica	dS m	2.70	POTENCIOMÉTRICO
pH	-	8.08	
Carbonatos (CO3)	me/L	0.01	TITULACIÓN
Bicarbonatos (HC03)		10.4	
Cloro (Cl)		0.35	
Nitrógeno Amoniacal (N-NH4)		NA	
Nitratos (N-NO3)		13.0	NITRACIÓN / UV VISIBLE
Fosfatos (P-PO4)		0.28	ESPECTROMETRÍA POR UV VISIBLE
Sulfatos (S-SO4)		2.42	TURBIDIMÉTRICO / UV VISIBLE
Calcio (Ca)		13.9	ESPECTOMETRÍA POR ICP-OES
Magnesio (Mg)		4.26	
Sodio (Na)		2.98	
Potasio (K)	5.14		
Hierro (F)	1.48		
Manganeso (Mn)	0.0020		
Cobre (Cu)	0.04		
Zinc (Zn)	0.0030		
Boro (B)	0.13	GRAVIMÉTRICO	
Humedad	%		39
Materia seca			61
Densidad Real (DR)	g/cm3		1.86
Densidad (DA)		0.50	
Materia Orgánica		56.8	CALCINACIÓN / GAVIMÉTRICO
Cenizas		43.2	
Espacio Poroso Total (EPT)	%	72.3	CURVA DE LIBERACIÓN (BOODT)
Capacidad de Aireación (CA)		4.92	
Agua Fácilmente Disponible (AFD)		24.8	
Agua de Reserva (AR)		1.01	
Agua Totalmente Disponible (ATD)		25.8	
Agua Difícilmente Disponible (ADD)		41.6	
Capacidad de retención de agua (CRA)		mL/L	



3.4 TIPO DE DISEÑO: Diseño Experimental

Se preparan en un diseño experimental al azar 4 tratamientos: (T1) 100% bagazo Agave durangensis (T2) bagazo Agave durangensis y complejo de endomicorrizas (bio komplet); (T3) bagazo Agave durangensis con HCPB (T4) Testigo; sustrato comercial fibra de coco.



Figura 6. Preparación de mezclas

Tabla 3. Clasificación de los tratamientos

T1 Bagazo <i>Agave durangensis</i>
T2 Bagazo <i>Agave durangensis</i> + complejo de endomicorrizas
T3 Bagazo <i>Agave durangensis</i> + HCPB
T4 Sustrato comercial (fibra de coco)

Se utilizaron plántulas de tomate (*Lycopersicum esculentum*; variedad Benedetti de crecimiento indeterminado). Las plantas se establecieron en surcos de 12 metros de longitud, con una separación de un metro entre hileras y 50 centímetros entre plantas. Semanalmente, se seleccionaron cinco plantas al azar de cada tratamiento para evaluar su desarrollo vegetativo y generativo bajo parámetros de desarrollo de acuerdo con Casierra y Cardozo, (2009).



Figura 7. Etapas para la producción de hortalizas (*Lycopersicon esculentum*; variedad *Benedetti* de crecimiento indeterminado)



3.5 Variables

Las variables para el desarrollo de planta fueron:



Longitud de crecimiento (cm), diámetro de tallo (mm), longitud de hoja (cm) tomando la de reciente maduración entre el racimo que está en desarrollo y floración.

Número de flores y frutos fueron obtenidos calculando el total. En el análisis de frutos, manualmente se seleccionaron 10 frutos de tomate al azar semanalmente de cada tratamiento, en estado maduro (rojo).

Se determinó el diámetro polar y ecuatorial con un vernier digital; el rendimiento fue calculado de acuerdo con el peso de los frutos ($\text{Kg} \cdot \text{m}^{-2}$), contenido de sólidos solubles (grados Brix) por el método de refractómetro (NMX – F – 436– SCFI – 2011) y la talla del fruto (NMX – FF – 031 – 1997).

Figura 8. Control de crecimiento tomando en cuenta las variables mencionadas





Figura 9. Metodología

3.6 Análisis Estadístico

Los datos obtenidos semanalmente fueron sometidos a un análisis de varianza (ANOVA) y la diferencia de las medias por prueba de rango múltiple de Tukey (0.05) en el software estadístico SPSS Statistical Package for the Social Sciences.

3.7 Análisis Financiero

Se tipificó el invernadero en función de su equipamiento y se determinaron los indicadores técnicos del cultivo de tomate., con sustrato de bagazo composteado.

La evaluación se realizó en dos etapas, primera se realizó una investigación de mercado para conocer la rentabilidad económica al comercializar el producto. La segunda consideró únicamente la producción de tomate con sustrato de bagazo de agave.





3.7.1 Indicadores De Rentabilidad

El modelo financiero de un proyecto o negocio es el diseño de la proyección a futuro de los ingresos y egresos, evalúa su rentabilidad a través del análisis de indicadores dinámicos como; Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Plazo de Recuperación de la Inversión (PRI). (Brigham, 2006). Para este estudio se utilizó el estimado de los indicadores se realizó aplicando la metodología de (Gitman, 2007).

Para valorar la factibilidad de la inversión a realizar, se tomaron en cuenta los ingresos estimados y los costos de producción proyectados, se determinaron indicadores financieros clave como el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y la relación Beneficio-Costo (B/C), estos valores se compararon con la metodología tradicional de la evaluación de proyectos. El horizonte de producción es a cuatro años. Se determinó una tasa de actualización del 10%, tomando en cuenta que hay riesgos de mercado por ser un proyecto nuevo.

La relación Beneficio – Costo es el cociente de dividir el valor actualizado de los beneficios del proyecto (ingresos) entre el valor actualizado de los costos (egresos) a una tasa de actualización.

$$\text{Relación B/C} = \frac{371982.50}{277554.76} = 1.34$$

Periodo de recuperación de la inversión

Una vez obtenido el flujo acumulado en el horizonte de planeación del proyecto Tabla 2, se utiliza la siguiente formula:

$$\text{PRI} = n - 1 + \frac{(FA)_{n-1}}{(F)_n}$$

Dónde: n = año en el que cambia el signo del flujo acumulado.

(FA) n -1 = Flujo neto de efectivo acumulado en el año previo a n.

(F) n = Flujo neto de efectivo en el año n.





Sustitución:

$$PRI = 3 - 1 + \frac{65088}{101104.5}$$

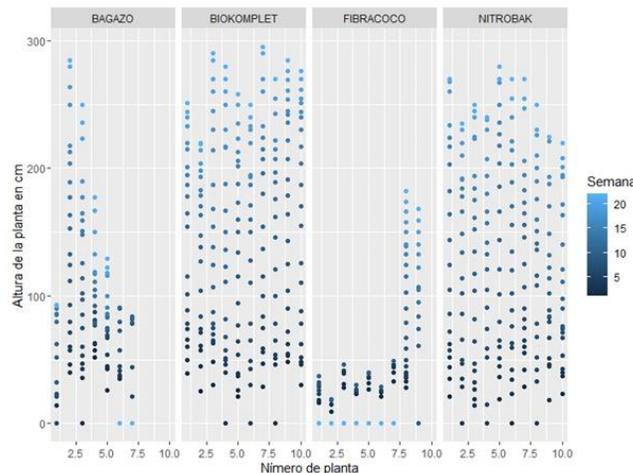
$$PRI = 2 + 0.64$$

$$PRI = 2.64$$

Resultados y discusión

4.1 Efecto en la producción de tomate

Los datos obtenidos se procesaron mediante un análisis de varianza (ANOVA) para determinar si existen o no diferencias estadísticas, para proceder a la realización de una prueba de medias (Tukey 0.05). Sin embargo, no se cumplieron los supuestos de normalidad. Por lo anterior, se realizó un análisis descriptivo utilizando una prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, que no asume normalidad y varianzas iguales entre los datos, la cual muestra que hay diferencia significativa entre las medias, utilizando el software estadístico RStudio (Cuadro 1).



Cuadro 1. Resultados de altura de planta por tratamiento.



Con base a los resultados obtenidos de acuerdo con Crespo *et al*, 2013, reportan la posibilidad de sustituir un sustrato comercial (polvo de coco) con materiales composteados y en con las mezclas de 30%, 50% y 70%. Al hacer esta sustitución, se aprovecharía un abundante desecho de la industria tequilera (bagazo) a través del compostaje, evitándose así la contaminación ambiental. Además de reducir los costos de producción, y son materiales que pueden elaborarse localmente.

Con base a lo mencionado anteriormente y considerando que los resultados obtenidos, en el Grafico 2. Se muestra el potencial productivo, utilizando bagazo de la elaboración de mezcal, los tratamientos que fueron adicionados con microorganismos fijadores de nitrógeno Biocomplet® y Nitrobac® este último cuanta con el nivel más alto con relación el peso por ha, ambos tratamientos fueron superiores al sustrato comercial. Por lo anterior, Eliud *et al*. 2023 menciona además que los sustratos utilizados en horticultura deben dar soporte a las plantas para un mejor desarrollo, que se pudo observar en los tratamientos donde se involucró la adición del bagazo de mezcal con Biokomplet y Nitrobak. Entre otros residuos utilizados están el bagazo de agave, el aserrín de laurel y algarrobo, las semillas del zapote mamey y el polvillo de fique. Vargas *et al*, 2018, que también reporto Rodriguez *et al* 2010, donde sobresale la producción de plántulas con mayor altura, peso fresco y seco de la parte aérea y seco de raíz de las plántulas con el compost de agave producido en la Universidad de Guadalajara.



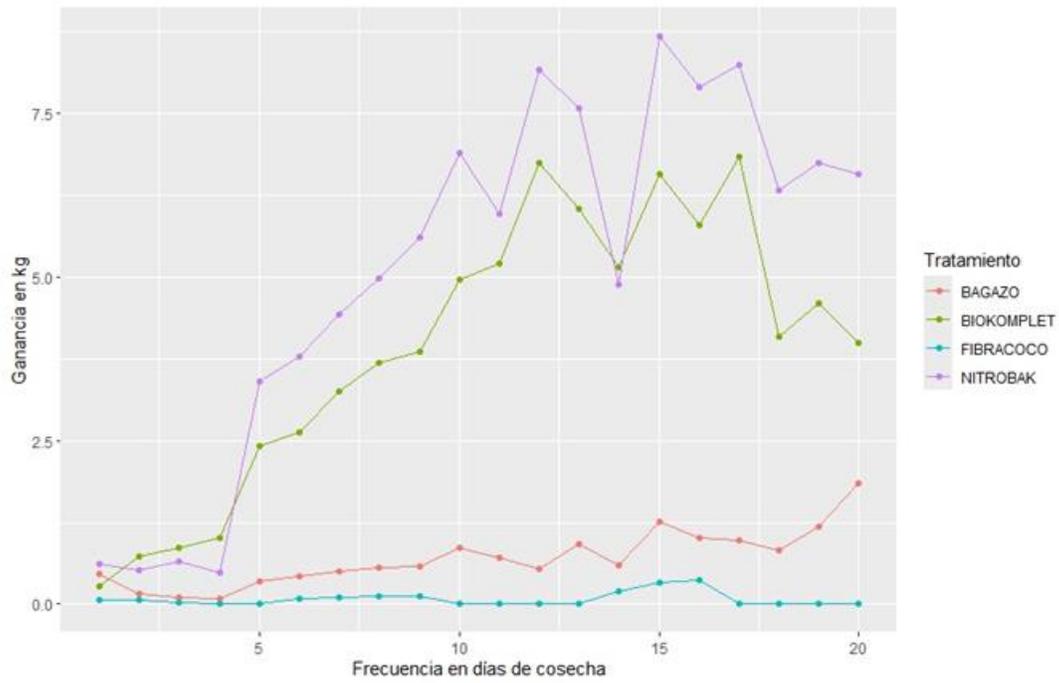
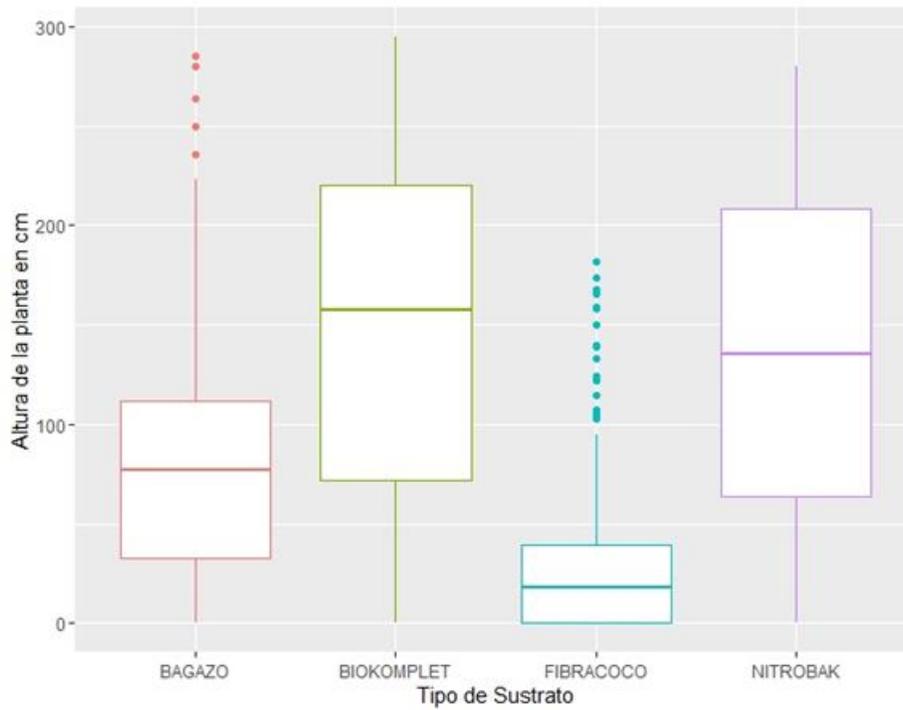


Gráfico 2. Grafica de rendimiento en kilogramos por tratamiento.



Cuadro 3.





4.2 Caracterización del sustrato de bagazo de *Agave durangensis*

Tabla 2. Indicadores de rentabilidad para gabazo.

AÑO	INGRESOS	COSTOS	FLUJO DE EFECTIVO	TASA $(1 + t) - n$	INGRESOS ACTUALIZADOS	EGRESOS ACTUALIZADOS
0	\$ -	\$ 150,138.00	-\$ 150,138.00	1.00000	\$ -	\$ 150,138.00
1	\$ 60,000.00	\$ 36,760.00	\$ 23,240.00	0.90909	\$ 54,545.45	\$ 33,418.18
2	\$ 101,000.00	\$ 39,190.00	\$ 61,810.00	0.82645	\$ 83,471.07	\$ 32,388.43
3	\$ 142,814.00	\$ 41,709.50	\$ 101,104.50	0.75131	\$ 107,298.27	\$ 31,336.96
4	\$ 185,454.18	\$ 44,322.98	\$ 141,131.21	0.68301	\$ 126,667.70	\$ 30,273.19
TOTAL	\$ 489,268.18	\$ 312,120.48	\$ 177,147.71		\$ 371,982.50	\$ 277,554.76

El índice B/C obtenido es de 1.34 por lo que económica y financieramente el proyecto se considera viable. Esto indica que por cada peso invertido se obtiene 0.34 pesos de ganancia neta. El VAN obtenido fue de \$94,427.74 (mayor a cero), una TIR del 29.92% (este valor fue mayor a la tasa de descuento) es decir, el rendimiento de la inversión será mayor que el mínimo fijado aceptable.

Tabla 3. Recuperación de la inversión

AÑO	FNE Actualizado	FNE Acumulado
0	\$ 150,138.00	- \$ 150,138.00
1	\$ 23,240.00	- \$ 126,898.00
2	\$ 61,810.00	- \$ 65,088.00
3	\$ 101,104.50	\$ 36,016.50
4	\$ 141,131.21	

Como la unidad de tiempo utilizada en la proyección son meses de 30 días, el periodo de recuperación para 2.64 equivaldría a 2 años + 7 meses + 21 días. Lo que indica que el monto de la inversión que se destine para la instalación del proyecto será recuperable en un corto plazo.





Con base en Gurrola, 2016. Al añadir composta al suelo, se producen cambios en su estructura, lo que favorece la circulación de aire y agua y, como consecuencia de la descomposición de la materia orgánica, se producen variaciones en el pH. La transformación del bagazo de agave en un abono con características aceptables para su aplicación como mejorador de suelos y fuente de nutrimentos para las plantas.

|Conclusiones y recomendaciones

Los resultados obtenidos demuestran que es viable reemplazar el sustrato comercial., en el área de influencia de las vinatas. Al ser reutilizado, se aprovecharía el 100% del gabazo que es desechado en los márgenes de los ríos y arroyos. A través de la técnica de compostaje, se pondrá a disposición su valor nutricional para la producción de hortalizas, así se reduciría el impacto ocasionado por este desecho, además de reducir los costos de producción, ya que la composta puede elaborarse localmente.

El compost de bagazo de agave mezcalero constituye una alternativa viable y económica para la rehabilitación de suelos degradados, al aportar materia orgánica y mejorar sus propiedades físicas y químicas.

La rentabilidad de la propuesta se evidenció en la evaluación económico – financiera. Se obtuvo un VAN de \$94,427.74 (mayor a cero), una TIR del 29.92% este valor fue mayor a la tasa de descuento. El índice B/C fue de 1.34 y la inversión será recuperable en un corto plazo.





REFERENCIAS

1. García mendoza, A.J. (2007) Los agaves de México. Ciencias, (087). Disponible en: <http://www.revistas.unam.mx/index/php/cns/article/view/1211>
2. Zizumbo Villalreal, D., García Marín, PC (2008). El origen de la agricultura, la domesticación de plantas y el establecimiento de corredores biológico-culturales en Mesoamérica, Revista de Geografía Agrícola, (41) 85-113. Disponible en: <http://www.redalyc.org>
3. Espinosa Barrera, L. (2015). Generalidades e importancia de los agaves en México, Desde el Herbario CICY (7) 161-164. Disponible en: http://www.cicy.mx/sitios/desde_herbario
4. Pérez Hernández, Elia, Chávez Parga, Ma. del Carmen, & González Hernández, Juan Carlos. (2016). Revisión del agave y el mezcal. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 18 (1), 148-164. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v18n1.49552>
5. Gentry, H. S. 1982. Agaves of Continental North America. The University of Arizona Press, Tucson
6. Rosales-Mata, Sergio & Antuna, Marcelo & Sigala, Jose. (2014). PRODUCCIÓN DE PLANTA DE Agave durangensis EN SISTEMA DE ACOLCHADO Y RIEGO POR GOTEO.
7. López-Serrano, P.M., Hernández-Ramos, A., Méndez-González, J., Martínez-Salvador, M., Aguirre-Calderón, O., Vargas-Larreta, B., Corral-Rivas J.J. 2021. Mejores prácticas de manejo y ecuaciones alométricas de biomasa de Agave durangensis Gentry., en el estado de Durango. Proyecto: 2017-4-292674. CONAFOR-CONACYT. México.
8. Maciel, N. J.F. 2010. Composición y estructura de la vegetación de la Sierra El Registro, Durango. Tesis de Maestría. Centro de Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Durango (CIIDIR-Dgo), IPN. Durango. México. 109 pp
9. Barraza-Soto, S,; Domínguez-Calleros, P.A.; Montiel-Antuna, E. LA PRODUCCIÓN DE MEZCAL EN EL MUNICIPIO DE DURANGO, MÉXICO Ra Ximhai, vol. 10, núm. 6, julio-diciembre, 2014, pp. 65-74 Universidad Autónoma Indígena de México El Fuerte, México. Disponible en: <http://www.uvm.mx/iiesca/files/2019/10/volumen-1ligas>
10. Morales-Carrillo, N., Escobar-Moreno, D. A., y Paredes-Hernández, E. (2007). Estudio sobre el impacto que a las modificaciones a la NOM-070 traeran a la industria del mezcal. Universidad Autonoma Chapingo-CRUCEN, Zacatecas.
11. Ordaz-Diaz, Luis & Bailon-Salas, Ana. (2019). APROVECHAMIENTO DE LOS SUBPRODUCTOS VALIOSOS DE LA INDUSTRIA DEL MEZCAL EN DURANGO.





12. COMERCAM (Consejo Mexicano Regulador de la Calidad del Mezcal). (2022). Informe de actividades.
13. COMERCAM (Consejo Mexicano Regulador de la Calidad del Mezcal). (2023). Informe de actividades.
14. Rosas-Medina I.; Colmenero-Robles A. Naranjo-Jímenez N. **EI MEZCAL DE DURANGO, MÉXICO**, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Durango, Instituto Politécnico Nacional, VIDSUPRA, 5(2): 113-117, 2013.
15. Rodríguez-Cortés, A. & Cerna-Hernández, C. (2017). El mezcal, su producción y tratamiento de residuos. *Revista Alianzas y tenencias* 2 (8), 10-14.
16. Flores-Ríos, P.; Robles-Celerino, E. Generación y caracterización básica de bagazos de la agroindustria del mezcal en Oaxaca, *Revista Mexicana Ciencias Agrícolas* volumen 11 número 6 14 de agosto - 27 de septiembre, 2020.
17. Íñiguez, G., Martínez, G.A., Flores, P.A. & Virgen, G. (2011a). Utilización de subproductos de la industria tequilera. Parte 9. Monitoreo de la evolución del compostaje de dos fuentes distintas de bagazo de agave para la obtención de un sustrato para jitomate. *Revista. Internacional de Contaminación Ambiental* 27
18. Crespo-González, M., López-Alcocer, F. & Castro-Ibáñez, J. (2014). El uso racional del bagazo de agave y las estrategias de reproducción campesina en el occidente de México. Una reflexión. En *Complejidad y desafíos de la transformación social, de la ciencia a la agencia*. Ed. De la noche, Guadalajara México.
19. Rodríguez, M. R.; Pascoe, S.; Zamora, N. F.; Álvarez de la Cuadra, J. y Salcedo, E. 2001. Evaluación de sustratos vegetales elaborados a partir de residuos de la industria tequilera. *In: Memorias del I Congreso Nacional de Agricultura Sustentable*. Veracruz, México. 257-259 pp.
20. Zbytniewski R, Buszewski B. Characterization of natural organic matter (NOM) derived from sewage sludge compost. Part 2: multivariate techniques in the study of compost maturation. *Bioresour Technol.* 2005 Mar;96(4):479-84. doi: 10.1016/j.biortech.2004.05.019. PMID: 15491830.
21. Rodríguez, M. R. 2004. Desarrollo y caracterización de sustratos orgánicos a partir de bagazo de agave tequilero. Tesis de Doctorado en Ciencias. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas, Montecillo, Estado de México. 128 p.
22. Taherzadeh MJ, Karimi K. Pretreatment of lignocellulosic wastes to improve ethanol and biogas production: a review. *Int J Mol Sci.* 2008 Sep;9(9):1621-1651. doi: 10.3390/ijms9091621. Epub 2008 Sep 1. PMID: 19325822; PMCID: PMC2635757.
23. Espinosa Negrín, Ana María & López González, Lisbet Mailin & Casdelo Gutiérrez, Neibys. (2022). Pretratamientos aplicados a biomasas lignocelulósicas: una revisión de los principales métodos analíticos utilizados para su evaluación.. 34. 87-110.





24. Salmones, Dulce. (2017). Pleurotus djamor, un hongo con potencial aplicación biotecnológica para el neotrópico. *Revista mexicana de micología*, 46, 73-85.
Disponible en:
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S018731802017000200073&lng=es&tlng=es.
25. Peralta, Daniel. (2017). Caracterización del cultivo de tomate (solanum lycopersicum) y pimiento (capsicum annum) bajo condiciones controladas REVIEW.
26. Fornaris G.; Conjunto Tecnológico para la Producción de Tomate de Ensalada – 2007 Estación Experimental Agrícola, Universidad de Puerto Rico, Recinto Universitario de Mayagüez
27. MATAS, A.J.; CUARTERO, J.; HEREDIA, A., Phase transitions in the biopolyester cutin isolated from tomato fruit cuticles. *Thermochimica Acta*, 409: 165-168, 2004
28. Pérez-Díaz F.; Arévalo-Galarza Ma.; CRECIMIENTO Y CARACTERÍSTICAS POSTCOSECHA DE FRUTOS DE GENOTIPOS NATIVOS DE TOMATE (Solanum lycopersicum L.) *Rev. Fitotec. Mex.* Vol. 43 (1): 89 - 99, 2020
29. Escoto-García, T., Vivanco-Castellanos, EM, Lomelí-Ramírez, MG, & Arias-García, A. (2006). Tratamiento fermentativo-químico-mecánico del bagazo de maguey (Agave Tequilaza Weber) para su aplicación en papel hecho a mano. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 5 (1), 23-27.
30. Escoto-García, T., Vivanco-Castellanos, EM, Lomelí-Ramírez, MG, & Arias-García, A. (2006). Tratamiento fermentativo-químico-mecánico del bagazo de maguey (Agave Tequilaza Weber) para su aplicación en papel hecho a mano. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 5 (1), 23-27.
31. Orona-Castillo, I, Del-Toro-Sánchez, CL, Fortis-Hernández, M, Preciado-Rangel, P, Espinoza-Arellano, JJ, Rueda-Puente, E, Flores-Vázquez, M, & Cano-Ríos, P. (2022). Indicadores técnico-económicos de la producción del cultivo de tomate bajo agricultura protegida en la Comarca Lagunera, México. *Biotecnia*, 24(3), 70-76. Epub 19 de junio de 2023. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v24i3.1721>
32. Rosas Medina, I El mezcal de Durango, México: un análisis histórico, biológico y económico para su producción sustentable, *Innovación & Sustentabilidad Tecnológica* | Instituto Tecnológico Superior de Misantla | Año 1 | No. 1 | Pag. 75 <http://citt.itsm.edu.mx/ingeniantes/pdfversio/ingeniantes1.pdf>
33. Baena, González A. Aprovechamiento del Bagazo del Maguey Verde (Agave Salmiana) de la Agroindustria del Mezcal en San Luis Potosí atar de hacerlo comprensible para el público general, sin abreviaturas) Disponible en: http://ipicyt.repositorioinstitucional.mx/Tesis_Armando_revisada_05
34. El cultivo de tomate en Durango | Representación AGRICULTURA Durango | Gobierno | disponible en gob.mx

