INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE INVESTIGACIÓN PARA EL DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL, UNIDAD OAXACA



Contribución al Conocimiento Científico y Tecnológico en Oaxaca







Contribución al Conocimiento Científico y Tecnológico en Oaxaca

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Septiembre, 2023

DIRECTORIO

Dr. Salvador Isidro Belmonte Jiménez

Director CIIDIR Unidad Oaxaca

Subdirector Académico y de Investigación

Ing. Ángel Rosales Torres

Subdirector de Servicios Educativos e Integración Social

Ing. Alejandro Cruz Aguilar

Subdirector Administrativo

M. en I. José Navarro Antonio

Jefe del Departamento de Investigación

M. en C. Gabriel Isaías Cruz Ruíz

Jefe del Departamento de Posgrado

Lic. Elinora Orozco Arango

Jefa del Departamento de Servicios Educativos

M. en D. Ariel Ortiz Mendoza

Jefe de la Unidad Politécnica de Integración Social

C.P. Salma Paulina Cervantes Cruz

Jefa del Departamento de Capital Humano y Recursos Financieros

Jefe del Departamento de Recursos Materiales y Servicios

L.D.G. Angélica Ortiz López

Coordinadora de Enlace y Gestión Técnica

L.I. Justo César Marcial Aguilera

Jefe de la Unidad de Informática





Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Septiembre, 2023

CUERPO DE ÁRBITROS DEL VOL. 7, NÚMERO ESPECIAL

Dra. Aleyda Pérez Herrera

Dr. Alfonso Vásquez López

Dr. Carlos Inocencio Cortés Martínez

Dra. Cecilia Rocío Juárez Rosete

Dr. Celerino Robles Pérez

Dr. Cirenio Escamirosa Tinoco

Dr. Daniel Rodríguez Mercado

Dr. David Martínez Sánchez

Dr. Edgar García Sánchez

Dr. Edwin Alfonso Zelaya Benavidez

Dr. Ernesto Castañeda Hidalgo

Dr. Fernando Carballo Méndez

M. en C. Frank Manuel León Martínez

Dr. Gabino Alberto Martínez Gutiérrez

Dr. Isidro Morales García

Dr. Jorge Alejandro Santiago Urbina

Dr. José Raymundo Enríquez Del Valle

Dr. Josué Barragán Iglesias

Dr. Juan Carlos Rodríguez Ortiz

M. en C. Laura Victoria Aquino González

Dr. Marco Antonio Garzón Zúñiga

Dra. Patricia Araceli Santiago García

Dr. Pedro Benito Bautista

Dr. Sabino Honorio Martínez Tomás

Dr. Teodulfo Aquino Bolaños

M. en C. Verónica Del Carmen Martínez Gallegos

Dr. Vicente Arturo Velasco Velasco

Dr. Víctor Hugo Guadarrama Atrizco





Contribución al Conocimiento Científico y Tecnológico en Oaxaca

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Septiembre, 2023

COMITÉ EDITORIAL

Editor en Jefe

Dr. Sadoth Sandoval Torres

Editores Asociados

Dr. Gabino Alberto Martínez Gutiérrez
Dr. Isidro Morales García
Dr. Juan Rodríguez Ramírez
Dr. Pastor Teodoro Matadamas Ortiz
M. en C. Mario César Lavariega Nolasco
M. en I. José Navarro Antonio

Responsables de la Edición

Ing. Dulce María del Rosario Montaño Hernández
L. en E. Paulo Nava Arellanes
M. en I. José Navarro Antonio

Instituto Politécnico Nacional

Unidad Profesional "Adolfo López Mateos" Zacatenco, Alcaldía Gustavo A. Madero C.P. 07738, Ciudad de México.

Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Oaxaca

Hornos No. 1003, Col. Noche Buena, Santa Cruz Xoxocotlán C.P. 71230. Oaxaca. Teléfono: (951) 517 0610 Ext. 82769

Contribución al Conocimiento Científico y Tecnológico en Oaxaca, Año 7, Vol. 7, Número Especial, septiembre 2023, es una publicación anual editada por el Instituto Politécnico Nacional, a través del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional CIIDIR – Unidad Oaxaca. Calle Hornos No. 1003, Col. Noche Buena, Municipio de Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca. México, C.P. 71230. Teléfonos: 951 517 06 10, ext. 82769, http://www.ciidiroaxaca.ipn.mx/cccto/, Editor responsable: Dr. Sadoth Sandoval Torres. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2017-060817174800–203. ISSN: 2594-0171, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este Número, Unidad de Informática del CIIDIR – UNIDAD OAXACA del IPN: L.I. Justo César Marcial Aguilera. Calle Hornos No. 1003, Col. Noche Buena, Municipio de Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca. México, C.P. 71230, fecha de la última modificación, 25 de septiembre de 2023. Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación. Queda estrictamente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización del Instituto Politécnico Nacional.





Contribución al Conocimiento Científico y Tecnológico en Oaxaca

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Septiembre, 2023

PRESENTACIÓN

Desde tiempos prehispánicos, el género agave ha sido parte importante de la cultura, tradición y alimentación de muchos habitantes de los pueblos de Mesoamérica. En México, existen 159 especies de agaves, de las cuales 129 son endémicas del territorio mexicano (García-Mendoza et al., 2019). El uso más importante que se le ha dado, ha sido para la obtención de bebidas espirituosas como: mezcal, tequila, bacanora etc., sin embargo, esta maravillosa planta, tiene más de 40 usos aún conservados por 27 grupos étnicos distribuidos en toda la República Mexicana. Estas razones convierten al agave en una especie vegetal con alto potencial de uso, el cual debe conocerse y aprovecharse de una manera sustentable. Por lo anterior, la revista Contribución al Conocimiento Científico y Tecnológico de Oaxaca (CCCTO) dedica un número especial a esta noble planta, su cultivo, trasformación y aprovechamiento, así como la reutilización de los residuos que la agroindustria del mezcal genera.

Durante el proceso de obtención del mezcal, se desecha al medio ambiente principalmente bagazo y vinazas, residuos que ocasionan un serio problema ambiental. Por esta razón, los tres primeros manuscritos contienen resultados importantes que muestran la reutilización del bagazo de agave, para su posible uso como briquetas para la producción de energía, bloques con mezclas de tierra para usarse como adobes y, por último, la utilización del bagazo de agave para la elaboración de biopolímeros. El cuarto y quinto manuscritos, contienen información relevante para el tratamiento biológico de las vinazas del mezcal mediante procesos de oxidación avanzada, así como el desarrollo de biofiltros anaeróbicos

Contribución al Conocimiento Científico y Tecnológico en Oaxaca

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

de origen orgánico también para revalorizar las vinazas del mezcal. El sexto y

séptimo manuscrito, abordan aspectos de la cinética de la fermentación con la

bacteria Saccharomyces sp., y de la caracterización microbiológica del proceso

de producción artesanal del mezcal. Tanto el octavo como el noveno trabajo,

abordan temas de propagación de agaves, evaluando fechas de colecta de la

semilla y su efecto en la calidad física y fisiológica del A. durangensis G., y el rescate

y multiplicación de agaves silvestres para la producción de mezcal. El décimo

manuscrito contiene la distribución potencial de A. americana var. oaxacensis,

ante el impacto del cambio climático.

Finalmente, reitero que la misión de CCCTO es ser una plataforma para la

divulgación y comunicación de resultados de investigación básica, aplicada y de

desarrollo tecnológico, que busca ser de gran interés para todo tipo de público,

esperando que, al leerlo, usted encuentre información valiosa. Por lo cual,

aprovecho para extenderles una cordial invitación para que considere publicar sus

trabajos en esta revista.

Dr. Gabino Alberto Martinez Gutiérrez

Coordinador general del 3er Congreso Nacional y 1er Congreso

Internacional Agave - Mezcal 2023 "Hacia la Sustentabilidad"

REFERENCIAS

García-Mendoza, A. J., I. S. Franco Martínez y D. Sandoval Gutiérrez. 2019. Cuatro especies nuevas de Agave (Asparagaceae, Agavoideae) del sur de México. Acta Botánica Mexicana 126: e1461. DOI: 10.21829/abm126.2019.1461

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Septiembre, 2023

CONTENIDO

Artículo	Página
Valorización energética de briquetas de agave mezcalero	07-16
Hernández Contreras Emilia, Cruz José, Márquez Benavides Liliana	
Reutilización del bagazo de agave para la producción de bloques de tierra comprimida	17-28
Morales Félix Luisa María, Martínez Molina Wilfrido, Morales Félix Verónica de Jesús, Márquez Benavides Liliana	
Tratamiento biológico y mediante procesos de oxidación avanzada de vinazas mezcaleras	29-44
Escudero Santiago Carlos Javier, López Chávez Diego Alejandro, Gómez Vázquez Raúl	
Desarrollo tecnológico para revalorizar vinazas de mezcal artesanal en biofiltros anaerobios con soporte orgánico/inorgánico	45-56
Vigueras Cortés Juan Manuel, Garzón Zúñiga Marco Antonio, Uribe Ordóñez Luis Antonio	
Elaboración de un biopolímero con residuos de bagazo de Agave angustifolia Haw	57-71
Gutiérrez Jiménez Eugenio, Montero Toledo Elva, Caballero Sánchez Homero, Velásquez Hernández Francisco Emanuel, Hernández Osorio Luis Alberto	
Cinética de fermentación de Saccharomyces sp. aisladas de Agave angustifolia Haw	72-84
Pineda Valdivieso Alejandra Natalia, Vásquez López Arnel Salvador, Velasco Vásquez Elisa, Díaz García Edmar de Jesús, García Montalvo Iván, Matías Pérez Diana, Varapizuela Sánchez Carlos Francisco, Pérez Santiago Alma Dolores, Sánchez Medina Marco Antonio	
Caracterización microbiológica del proceso de producción del mezcal artesanal de una vinata de Durango	85-95
Arenivas Villa Deissy Elizabeth, Ávila Reyes José Antonio, Salazar Palacios Diana Laura	
Efecto de la fecha de colecta sobre la calidad física y fisiológica de semillas de agave cenizo (<i>Agave durangensis</i> Gentry)	96-105
Cruz Cárdenas Carlos Iván, Santos Lavalle Rodolfo, Calvillo Aguilar Francisco Fabián, Islas Moreno Asael	
Proyecto maguey: rescate, multiplicación y aprovechamiento de agaves silvestres para producción de mezcal en Oaxaca	106-118
Morales Gervacio Leonardo, Bernabé Martínez Rubén	
Distribución potencial ante el impacto del cambio climático del cultivo de <i>Agave</i> americana var. oaxacensis	119-133

Jiménez García Luis, García Martínez Yuliana Grisel, Ballesteros Barrera Claudia

Contribución al Conocimiento Científico y Tecnológico en Oaxaca

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Artículo

VALORIZACIÓN ENERGÉTICA DE BRIQUETAS DE AGAVE

MEZCALERO

Hernández Contreras, Emilia¹, Cruz, José², Márquez Benavides, Liliana¹

¹Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo Instituto de Investigaciones

Agropecuarias y Forestales Tarímbaro, Michoacán. Teléfono (443) 3.22.35.00 ext. 5219.

²Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo Facultad de Tecnología de la Madera.

Autor de correspondencia: Liliana.marquez@umich.mx

Recibido: 21 de julio de 2023

Aceptado: 09 de septiembre de 2023

Publicado en línea: 25 de septiembre de 2023

Resumen

La idea de elaborar briquetas utilizando bagazo de agave mezcalero (BAM), nace de la

preocupación del uso excesivo de leña en el proceso de elaboración del mezcal. En nuestro

país los productores ocupan 7 a 8 kg de leña para producir un litro de mezcal. El objetivo fue

evaluar las características de las briquetas con el fin de reducir costos y reducir el uso de leña

en el proceso de destilación del mezcal. Se realizaron mezclas en distintos porcentajes de

bagazo/aglutinante y únicamente de bagazo con o sin pretratamiento térmico. Las briquetas

fueron elaboradas con una briquetadora manual, realizando el mismo procedimiento con

todas las mezclas. Se identificó cual mezcla genera las mejores propiedades en peso

volumétrico, porcentaje de cenizas, tiempo de quemado y poder calórico. La mayor densidad

obtenida fue en la briqueta con una mezcla de 60 % de bagazo y 40 % de aglutinante, la cual

tuvo el mayor tiempo de quemado en comparación a las otras briquetas con diferentes

Contribución al Conocimiento Científico y Tecnológico en Oaxaca

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

mezclas. Así mismo de esta mezcla se obtuvo el mayor porcentaje de cenizas, y el menor

porcentaje se obtuvo con las briquetas hechas únicamente con BAM. Por lo tanto,

encontramos que las briquetas hechas con 60 % bagazo y 40 % aglutinante son de momento

la mejor opción para complementar el uso de leña en el proceso de destilación del mezcal.

Palabras clave: Aglutinante, Agroindustria del mezcal, Bagazo, Biomasa, Valor energético.

Abstract

The idea of making briquettes using mezcal agave bagasse (BAM) was born from the concern

about the excessive use of firewood in the mezcal production process. In our country,

producers use 7 to 8 kg of firewood to produce one liter of mezcal. The objective was to

evaluate the characteristics of the briquettes in order to reduce costs and reduce the use of

firewood in the mezcal distillation process. Mixtures were made with different percentages

of bagasse/agglutinant and only bagasse with or without thermal pretreatment. The briquettes

were made with a manual briquetting machine, performing the same procedure with all the

mixtures. It was identified which mixture generated the best properties in terms of volumetric

weight, ash percentage, burning time and calorific value. The highest density obtained was

in the briquette with a mixture of 60 % bagasse and 40 % binder, which had the longest

burning time compared to the other briquettes with different percentages of mixture.

Likewise, the highest percentage of ash was obtained from this mixture, and the lowest

percentage was obtained with the briquettes made only with BAM. Therefore, we found that

the briquettes made with 60 % bagasse and 40 % binder are for the moment the best option

to complement the use of firewood in the mezcal distillation process.

Keywords: Mezcal Agroindustry, Biomass, Bagasse, Binder, Energy value.

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Septiembre, 2023

Introducción

En México, en 2021, se produjeron 8 millones de litros de mezcal, principalmente artesanal. El principal productor es el estado de Oaxaca, seguido de Zacatecas, Puebla y Durango (COMERCAM, 2021). La destilación del mezcal es una actividad tradicional y culturalmente arraigada. Sin embargo, esta industria enfrenta desafíos relacionados con la disponibilidad de fuentes de energía adecuadas y sostenibles para satisfacer su demanda energética. Esto exige cantidades de leña y subproductos de la industria forestal, ocasionando la explotación de los bosques. En este contexto, el bagazo de agave mezcalero se presenta como una alternativa para cubrir dicha demanda, a través de su transformación en briquetas como biocombustible sólido. El bagazo de mezcalero, subproducto agave generado durante el proceso de extracción del jugo de agave, ha sido considerado como un residuo sin un aparente valor. No

obstante, su utilización como fuente de energía renovable puede contribuir a la sostenibilidad y eficiencia energética de la destilación del mezcal.

residuos pueden actuar como combustible alternativo. reduciendo parcialmente la huella ambiental en el ámbito de la gestión de residuos. Las briquetas de residuos se utilizan como una opción de tratamiento para mejorar la eficiencia, la gestión y el manejo de la combustión de residuos (Ferronato et al., 2022). La producción de combustibles sólidos a partir de biomasa es una aplicación que ofrece grandes beneficios ambientales y económicos (Seco et al., 2019).

En este trabajo se presenta el desarrollo de un método para producir briquetas a partir del bagazo de agave mezcalero, con el objetivo de satisfacer la demanda energética específica de la destilación del mezcal en México. Esta solución aborda la necesidad de contar con una fuente de

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Septiembre, 2023

energía confiable, rentable y respetuosa con el medio ambiente para impulsar, desde este ángulo, el crecimiento sostenible de la industria mezcalera.

La producción de briquetas de bagazo de

agave se basa en un proceso que involucra el secado, mezcla de aglutinantes y bagazo, compactación de estos y secado de las briquetas, utilizando tecnología accesible para pequeños productores. Estas briquetas presentan un alto poder calorífico una baja emisión de contaminantes, lo que las convierte en una opción para cubrir las necesidades energéticas de la destilación del mezcal. Al aprovechar el bagazo de agave mezcalero, se logra una gestión adecuada de este subproducto agrícola, evitando su acumulación y los posibles impactos ambientales negativos. Además, el uso de briquetas como biocombustible sólido contribuye a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y a la disminución de la dependencia de los combustibles fósiles.

Este enfoque puede permitir cubrir la demanda energética de manera sostenible, promoviendo la eficiencia energética y reduciendo los impactos ambientales negativos asociados con la industria mezcalera. Existen propuestas de briquetas como biocombustible a partir de residuos agroforestales, tales como: fibras de racimos de frutos de palma (Cabrales et al., 2020), bagazo de caña de azúcar con almidón y melaza como aglutinantes (Rahman et al., 2022). Sin embargo, este estudio propone la integración de prácticas sostenibles en el ámbito de la producción de biocombustibles sólidos y la gestión de residuos sólidos de las fábricas de mezcal. El objetivo de este trabajo fue desarrollar briquetas de bagazo de agave mezcalero (BAM) aprovechamiento para su

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Septiembre, 2023

cubriendo la demanda energética de la destilación del mezcal.

Materiales y Métodos

Área de estudio y recolección de muestra Se recolectaron 50 kg de bagazo residual de una mezcla de Agave cupreata, angustifolia y A. inaequidens en el municipio de Etúcuaro, Michoacán, -101.214722 longitud: latitud: 19.420278. Se recolectaron de la pila de bagazo amontonado en el traspatio de la vinata, por lo que las proporciones de la mezcla no fueron conocidas. Para su recolección el bagazo se tomó del tope de las pilas de bagazo residual, aún húmedo, se llenaron bolsas de 10 kg, se sellaron y se llevaron inmediatamente al laboratorio para proceder a secar al aire libre. La fecha de recolección fue en febrero de 2023, el palenque está en operación continua, por lo que produce alrededor de 2 Ton de bagazo residual mensualmente.



Figura 1. Bagazo residual del proceso de producción de mezcal.

Se recolectó papel bond tipo carta y cartón (usado y descartado como residuo en casas de estudiantes), se llevaron al laboratorio y posteriormente este fue disminuido de tamaño.

La investigación se desarrolló en el Laboratorio de Conservación de la Madera de la Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH).

Características físicas del bagazo

El bagazo es un residuo fibroso que va de color café a amarillo y el largo de la fibra es irregular, sin embargo, se ha observado que puede variar entre 5-18 cm. La

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Septiembre, 2023

temperatura del bagazo en las vinatas fue de 48.5 °C y en el laboratorio se encontraban a temperatura ambiente (22 °C \pm 2).

Características fisicoquímicas del aglutinante

Ambos aglutinantes tienen como base celulosa y su componente principal son fibras, su densidad varía entre 300 y 1000 kg/m³ y son componentes normalmente porosos, además, su humedad varía entre 5-8% dependiendo del tipo de fibra y de la humedad del ambiente.

Características técnicas del equipo briquetador

El material del equipo es de metal, elaborado por un herrero, las medidas son de 50 cm de alto, 30 cm de largo y 18.5 cm de ancho. El sistema de compresión es manual, por medio de una palanca de 50 cm de largo, se genera presión y se obtienen briquetas de 14 cm de alto, 30 cm de largo y 16 cm de ancho.



Figura 2. Equipo briquetador para bagazo de agave residual.

Tratamientos previos

Para prevenir el crecimiento de microorganismos se colocó el bagazo en el sol hasta su secado. Para el aglutinante se dividieron las hojas de papel tamaño carta en cuatro partes, y el cartón se cortó en pedazos cuadrados de 10 x 10 cm y después se pesaron el bagazo y los aglutinantes en una balanza electrónica (Ohaus Scout SCA210). El proceso de mezcla se facilitó al remojar las muestras y posteriormente fueron colocadas en diferentes recipientes durante tres días.

Para las briquetas hechas únicamente de bagazo caliente, se calentó la fibra a una temperatura de $115~^{\circ}C~\pm~2~en$ una autoclave (All American 3067) e



Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Septiembre, 2023

inmediatamente al sacarla se construyeron las briquetas, con el propósito de no disminuir la temperatura y aumentar la densidad, esto para simular la temperatura de la que salen del proceso de destilación de mezcal.

Elaboración de briquetas

Se integraron diferentes porcentajes de bagazo y aglutinantes para realizar las diferentes mezclas. En el proceso de compactación se utilizó una briquetadora manual proporcionada por la Facultad de Tecnología de la Madera, UMSNH. Las mezclas fueron compactadas en bloques densificados hechos de biomasa de bagazo residual de agave y otras que contienen aglutinante (papel cartón) posteriormente se dejó reposar en el sol por un periodo de 15 días para su secado. De manera general el proceso se indica en la Figura 3, y a continuación se explica el diseño experimental de las distintas formulaciones de briquetas.

Diseño experimental



B : bagazo:, B1 : bagazo caliente:, A : aglutinante papel:, $A1\,$: aglutinante cartón

Figura 3. Diseño experimental de porcentajes de bagazo y aglutinante.

Métodos de laboratorio

Para obtener la densidad se usó la metodología descrita según Palo et al., (2021) con la siguiente ecuación (1):

$$\rho = \frac{M}{V}$$
Donde:

ρ : densidad de las briquetas

M: masa de la muestra

V: volumen de la muestra

El tiempo de quemado de las briquetas se realizó en una parrilla de carbón portátil (Cuisinart CGG-190RB) de 14 pulgadas. El fuego se inició con iniciador de fuego y

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Septiembre, 2023

el tiempo fue medido con un cronómetro y se registró desde el inició de la combustión hasta que se consumiera totalmente, cabe mencionar que las corrientes de aire siempre estuvieron presentes (Oyelaran et al., 2015).

El porcentaje de cenizas, fue recolectado y se dejó enfriar durante dos horas. Se llevó a cabo los análisis de acuerdo a la Norma mexicana NMX-AA-18-1984.

Para obtener el poder calórico, se recortaron pedazos de 0.7 gramos de cada grupo de briquetas y se llevaron al laboratorio, y se analizaron en una bomba calorimétrica compensado modelo 6100.

Actualmente se encuentran en proceso los resultados.

Resultados y discusión

Se obtuvieron briquetas de 12 x 26 x 6 cm de ancho, largo y alto respectivamente y un peso promedio de 373 gramos.

Tabla 1. Características físicas de las briquetas obtenidas, a partir de bagazo mezcalero.

C	Densidad	Tiempo de quemado	Cenizas
Grupos	(kg/m3)	(min)	(%)
1	129.66	19	10
2	152.66	25	12
3	162.61	54	14
4	181.63	58	14
5	219.63	64	14
6	201.36	41	14
7	174.89	54	9

Para comparar los resultados se tomaron de referencia el tipo de leña utilizado en la vinata "La flor del mezcal", localizado en Etúcuaro, Mich. La leña que utilizaron los productores fue obtenida de aserraderos y las especies maderables son: *Pinus pseudostrobus*, *P. devoniana* y *P. leiophylla*. La densidad promedio de los pinos puede variar de los 530 a 550 kg/m³, por lo que en general los pinos presentan una mayor densidad en comparación a las briquetas mostradas en la Tabla 1.

El tiempo de quemado en el proceso de destilación oscila entre 10 a 15 minutos, comparando las briquetas hechas de



Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Septiembre, 2023

bagazo de agave mezcalero residual, estás tuvieron un mayor tiempo, resaltando que estás no fueron quemadas en las vinatas (Tabla1).

El porcentaje de cenizas indica la cantidad de materia sólida no combustible por kilogramo de material, y reducen el poder calórico del combustible y el rendimiento térmico del horno por interferir en la transferencia de calor. Se registró el porcentaje de las cenizas para el tipo de leña utilizado en las vinatas y va de 0.8 a 1.5 %, mientras que el porcentaje de cenizas de las briquetas es mucho mayor (9-14 %; Tabla 1).

Conclusiones

Proponemos que las briquetas hechas de BAM residual son una alternativa eficiente, rentable y sostenible que puede cubrir la demanda de la destilación de mezcal. Además, las briquetas pueden presentar características físicas menos favorables a las de la leña, sin embargo,

pueden tener un mejor costo-beneficio en relación al valor económico y al impacto ambiental, ya que están constituidas de residuos sólidos que son reutilizados.

Agradecimientos

A Francisco Cardoso Ramírez,

Departamento de Ciencias de Ingeniería,

Universidad Michoacana de San Nicolás

de Hidalgo, por facilitar los análisis de

poder calórico.

Referencias

Cabrales, H., N. Arzola, & O. Araque.

2020. Los efectos del contenido de humedad, la longitud de la fibra y el tiempo de compactación en los parámetros de calidad de las briquetas de racimos de frutos vacíos de palma africana. *Heliyon*. 6(12).

Consejo Mexicano Regulador de la Calidad del Mezcal, A.C (COMERCAM). (2022). Informe estadístico 2022. Autor

Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Septiembre, 2023

Ferronato N., Calle M. I. J., Antoni G. M. P., Conti F. & V. Toretta. (2022).
¿Son las briquetas a base de desechos combustibles alternativos en los países en desarrollo? Una revisión crítica. Energía para el desarrollo sostenible. 68(1), 220-241.

Oyelaran O. A., Bolaji B. O., Waheed M. A & M. F. Adekunle (2015). Evaluación del desempeño del efecto del papel usado en la briqueta de cáscara de cacahuate. Revista internacional de desarrollo de energía renovable. 4 (2), 95-101.

Palo T. J., Puma T. A., Campos F. E.,
Colque O. D., Figueroa C. I., & Q. L.
Chaupi (2021). Aprovechamiento del
Estiércol de Alpaca e Ichu para la

producción de briquetas como fuente de energía calorífica en Arequipa. *Tecnia*, 31(1), 51-55.

Rahman N. A., M. Ajiza, D. A.

Anggorarowati, F. Rastini & L.

Mustiadi. 2022. Destilación de hojas

de clavo utilizando combustible de

briquetas con almidón y melaza como

aglutinante. *Materials Today: Proceedings.* 63(1), 293-296.

Seco A., Espuelas S., Marcelino S.,
Echeverría AM & E. Prieto. (2019).
Caracterización de briquetas de biomasa a partir de posos de café y goma xantana usando baja presión y temperatura. *Investigación en bioenergía*. 13(1), 369-367.

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Artículo

REUTILIZACIÓN DEL BAGAZO DE AGAVE PARA LA

PRODUCCIÓN DE BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA

Morales Félix, Luisa María¹, Martínez Molina, Wilfrido², Morales Félix, Verónica de Jesús³,

Márquez Benavides, Liliana⁴

¹Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Maestría en Ciencias en Ingeniería

Ambiental.

²Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Jefe Sección de Corrosión del

Laboratorio de Materiales "Ing. Luis Silva Ruelas". Avenida Francisco J. Mújica S/N,

Colonia Felícitas del Río, CP 58040, Morelia, Michoacán, México. Teléfonos 443 3223500,

Ext 4325, 4329.

³Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato, Ingeniería en procesos alimentarios.

Carr. Valle-Huanímaro km 1.2, C.P. 38400, Valle de Santiago, Guanajuato, México. Tel. 456

6437180 Ext. 115.

⁴Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Instituto de Investigaciones

Agropecuarias y Forestales. Tarímbaro, Michoacán. Teléfono (443) 3.22.35.00 ext. 5219.

Autor de correspondencia: liliana.marquez@umich.mx

Recibido: 19 de julio de 2023

Aceptado: 09 de septiembre de 2023

Publicado en línea: 25 de septiembre de 2023

Resumen

El bagazo de agave es un residuo de la agroindustria mezcalera, que se obtiene después de

pasar por el proceso de fermentación. El bagazo no cuenta con un tratamiento o una

17

Contribución al Conocimiento Científico y Tecnológico en Oaxaca

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

disposición final adecuada y termina siendo desechado en el campo. El objetivo fue probar

el uso de bagazo de agave como material de refuerzo para la elaboración de bloques de tierra

comprimida (BTC). En la fabricación de estos BTC se hizo una mezcla utilizando el bagazo

de agave espadín (Agave angustifolia Haw) y la arcilla del banco de material de la región de

Santa María de Atzompa, Oaxaca; esta es una arcilla de baja plasticidad lo que la hace apta

para la fabricación de los bloques ya que facilita el prensado y secado de estos. Por otro lado,

los BTC se sometieron a pruebas físico-mecánicas para su caracterización, las cuales se

llevaron a cabo conforme a las normas mexicanas del Organismo Nacional de Normalización

y Certificación de la Construcción y Edificación (ONNCCE), las pruebas fueron de absorción

de agua, resistencia a la compresión y flexión. Los resultados mostraron que los BTC a la

compresión presentan una resistencia de 27 kgf/cm², a flexión de 2.6 kgf/cm², una absorción

inicial de 6.7 g/(cm²·min^{0.5}) y una absorción total del 23 %. Basados en los parámetros

mínimos expresados en la norma para BTC (NMX-C-508-ONNCCE-2015), se concluye que

los BTC no cumplen con estos límites para poder ser usados en la construcción, por lo que

es necesario probar otros niveles experimentales del contenido de bagazo.

Palabras clave: Durabilidad, Fibras vegetales, Material de construcción, Residuos, Resistencia.

Abstract

Agave bagasse is a residue of the mezcal agroindustry, which is obtained after going through

the fermentation processes. Bagasse does not have an adequate treatment or final disposal

and ends up being discarded in the field. The objective was to test the use of agave bagasse

as reinforcement material for the production of compressed earth blocks (CEB). In the

manufacture of these CEB a mixture was made using the bagasse of the agave espadín (Agave

angustifolia Haw) and the clay of the material bank of the region of Santa María de Atzompa,

Contribución al Conocimiento Científico y Tecnológico en Oaxaca

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Septiembre, 2023

Oaxaca; this is a clay of low plasticity which makes it suitable for the manufacture of the blocks since it facilitates the pressing and drying of these. On the other hand, the CEBS were subjected to physical-mechanical tests for their characterization, which were carried out according to the Mexican standards of the National Organization for Standardization and Certification of Construction and Building (ONNCCE) by its acronym in Spanish; these tests performed were of water absorption, resistance to compression, and flexural strength. The results showed that CEB to compression have a resistance of 27 kgf/cm², in flexural strength of 2.6 kgf/cm², an initial absorption of 6.7 g/(cm²·min⁰.5) and the total absorption of 23 %. Based on the minimum parameters expressed in the CEB standard (NMX-C-508-ONNCCE-2015), it can be concluded that the CEB do not comply with these limits to be used in construction, so it is necessary to test other experimental levels of bagasse content.

Keywords: Durability, Vegetal fibers, Construction materials, Waste, Resistance.

Introducción

El bagazo de agave es un residuo de la agroindustria mezcalera, el cual se obtiene después de pasar por los procesos de cocción, molienda, fermentación y destilación. El bagazo no cuenta con un tratamiento o una disposición final adecuada y termina siendo desechado en el campo. Por litro de mezcal se producen en promedio 5.63 kg de bagazo en base húmeda (Flores-Ríos et al., 2020).

Debido al aumento en la producción del mezcal se hace necesario buscar alternativas para la reutilización de los desechos que esta agroindustria mezcalera genera, ya que al no tener un tratamiento para su disposición final estos residuos son depositados en áreas abiertas y en algunas ocasiones hasta en ríos, dañando así al medio ambiente contaminado suelos y cuerpos de agua.

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Septiembre, 2023

La producción de estas bebidas ha alcanzado cifras históricas, por un lado, la industria mezcalera, en Oaxaca en el 2019, produjo el 90.1 % del mezcal certificado producido a nivel nacional (Flores-Ríos et al., 2020), eso sin tomar en cuenta la cantidad del mezcal que se produce sin estar certificado y el que se produce en otros estados del país.

Por otro lado, en el tema de la construcción, la elaboración de materiales cerámicos es también un problema para el medio ambiente. Los ladrillos y los bloques concreto hidráulico son de los principales materiales de construcción usados, producirlos implica, en el caso de los ladrillos, una cocción en un horno, para el cual el calentamiento se hace a través de la combustión de materiales como el aserrín, aceites, plásticos y neumáticos (Berumen-Rodríguez et al., 2021). Como resalta Quiroz-Carranza, Cantú-Gutiérrez García-Martínez (2021),la contaminación debe ser tratada como una

matriz ambiental (aire, suelo y agua) debido a que los contaminantes se propagan y dispersan en diferentes combinaciones y a grandes distancias de la fuente de emisión. En el caso de los bloques de concreto, la obtención del cemento genera intrínsecamente gran impacto al ambiente y a la salud de las personas que lo producen.

Por lo tanto, este proyecto tuvo como objetivo evaluar una mezcla de arcilla con bagazo de agave, para elaborar bloques de tierra comprimida (BTC), los cuales puedan ser usados en la industria de la construcción, de acuerdo con las normas mexicanas del Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción la Edificación (ONNCCE); y los cuales no tenga que pasar por un proceso de horneado o extracción de material, para evitar que se generen más problemas ambientales, buscando ofrecer la alternativa de un material de construcción que tenga la

Septiembre, 2023

ventaja de poder reciclar el bagazo de agave, adicionándolo al bloque de tierra.

Materiales y métodos

Las pruebas se llevaron a cabo en el laboratorio de materiales "Ing. Luis Silva Ruelas" de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo en Morelia, Michoacán.

Para la caracterización del suelo a usar en la fabricación de los bloques de tierra comprimida, se obtuvo el suelo de un banco de tierra de la región de Santa María de Atzompa, Oaxaca.

En esta etapa se caracterizó el tipo de suelo usado en la fabricación de BTC adicionado con bagazo de agave, la clasificación de suelo se llevó a cabo de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS). Las pruebas se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Pruebas y caracterización del suelo

	Prueba y caracterización
1)	Granulometría
2)	Límites de consistencia y contracción
3)	Peso específico
4)	Compactación de suelos, prueba PROCTOR
5)	Prueba de compresión simple
6)	Prueba triaxial rápida

El flujo del proceso para la prueba de granulometría se muestra en la Figura 1.

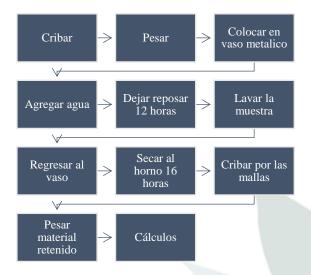


Figura 1. Diagrama de flujo de la metodología para granulometría.

También se realizaron las pruebas de límites de consistencia y contracción. Abarcando la prueba del límite líquido, con el objetivo de conocer las

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Septiembre, 2023

características plásticas del suelo para poder clasificarlo; del límite plástico para encontrar la plasticidad del material y la contracción lineal, volumétrica, peso específico, contracción del suelo por la prueba PROCTOR, prueba de compresión simple y prueba triaxial rápida.

La caracterización de los bloques de tierra comprimida (BTC), los cuales tiene un 2 % de bagazo de agave, se hizo de acuerdo a las normas mostradas en la Tabla 2.

Tabla 2. Normas usadas en la caracterización de BTC

Normas	Contenido
NMX-C-036-	Resistencia a la
ONNCCE-2013	compresión simple
NMX-C-037-	Absorción de agua
ONNCCE-2013	
NMX-C-038-	Dimensiones de tabiques
ONNCCE-2013	
NMX-C-404-	Especificaciones y
ONNCCE-2012	métodos de ensayo a
	cumplir
NMX-C-508-	Bloques de tierra
ONNCCE-2015	comprimida

Resultados y discusión

Resultados de la caracterización del suelo

En la prueba de granulometría se determinó que la composición del suelo es un suelo fino en el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos. Los resultados de caracterización del suelo tales como: límites de consistencia, contracción, densidad y compresión se muestran en la tabla 3.

Tabla 3. Tabla concentradora de resultados a pruebas al suelo

resultados a pruebas ai suelo			
Prueba		Valor	Unidad
Granulometría		Suelo fino	-
	Humedad	3.5 (± 0.28)	%
Límites de consistencia	Límite líquido	37.9 (± 1.5)	%
	Límite plástico	16.3 (± 1.1)	%
	Índice plástico	21.6	%
Contracción	Lineal	$10.2 (\pm 0.7)$	%
Contracción	Volumétrica	14.3 (±1.1)	%
Densidad		2.61	Adimen- sional
Contracción del suelo prueba PROCTOR		16.4	%
Compresión simple		1.98 (±0.08)	kg/cm ²
Compresión triaxial		Cohesión = 0.43	kg/am²
		Ángulo de fricción interna = 28°	kg/cm ²

Con la información obtenida de los límites de consistencia, se ubicó el suelo en la

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Septiembre, 2023

Carta de Plasticidad (Figura 2) encontrando que se trata de una arcilla de baja plasticidad (CL).

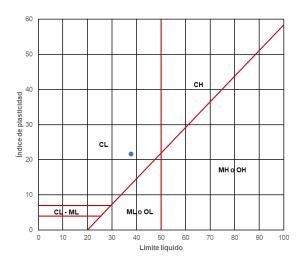


Figura 2. Carta de plasticidad para el SSMA.

Resultados de la caracterización BTC

La prueba de compresión simple se llevó a cabo de acuerdo a las normas mexicanas antes mencionadas en la Tabla 2.

En la tabla 4 se muestran los resultados de las diferentes pruebas.

Tabla 4. Tabla concentradora de resultados de pruebas de laboratorio del BTC con bagazo de agave

Prueba	Valor	Unidad	Límites normativa
Compresión simple	27 (± 4.02)	kgf/cm ²	Resistencia normalizada BTC3 = 30

			BTC6 = 60
			BTC9 = 90
Absorción	6.7	a/(am²	Arcilla
Absorcion	0.7	g/(cm ² •	prensada
inicial 10 min	(± 2.31)	min ^{0.5})	£
			5 máx.
A b = = = = = 4 = 4 = 1	22		Arcilla
Absorción total	23	%	prensada
24 h	(± 1.53)		19 máx.
			19 max.
Resistencia a	2.6	1raf/am²	
flexión	(± 0.21)	kgf/cm ²	-
Middle de	112 244		
Módulo de	113,244	kgf/cm ²	-
elasticidad	(± 8758.46)		

Los valores muestran el promedio y la desviación estándar de cada prueba.

El promedio de la resistencia obtenida a la compresión de las muestras es de 27 (±4.02) kgf/cm², mayor a la reportada por Velandia, Sánchez-Bernal, Pita-Castañeda y Pérez-Navar (2019), tanto de su muestra con aserrín de 5.30 (±0.72) kgf/cm², como de la mezcla con heno de 3.26 (±0.59) kgf/cm²; para el ladrillo con heno reporta 41.59 (±2.286) % de absorción de agua. Por otro lado, Roux-Gutiérrez, Espuna-Mújica, y Plaza Y Valdés (2017), reportan la resistencia del BTC, sin fibra de 22.12 kgf/cm² y, de 21 kgf/cm² con 2 % de fibra de coco; para la absorción, sin fibra tiene

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Septiembre, 2023

un 10.34 % y para el BTC con 2 % de fibra de coco obtienen 10.54 %. Para la resistencia a la flexión obtuvieron 8.76 kgf/cm² del BTC sin fibra, y 11.62 kgf/cm² para el BTC con 2 % de fibra. En el caso del BTC con bagazo de agave, el promedio de absorción total fue de 23 (± 1.53) % y la norma marca un máximo de 19, esto se puede deber al contenido de bagazo o a una inadecuada compactación del BTC.

La información obtenida de las pruebas de caracterización del suelo y los resultados de las pruebas de laboratorio en relación con los bloques de tierra comprimida (BTC) con bagazo de agave arrojan una serie de observaciones significativas; el análisis granulométrico del suelo reveló que su composición corresponde a un suelo fino según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos. Además, la Carta de Plasticidad, construida a partir de los límites de consistencia determinados, permitió identificar que el suelo es un tipo de arcilla de baja plasticidad (CL). Estos

resultados son valiosos para entender las propiedades inherentes del suelo y su comportamiento ante diferentes situaciones. Gracias a esta información se sabe la densidad del material y el porcentaje óptimo de agua necesario para su compactación, esto facilita la fabricación de los bloques al momento del prensado y secado de estos.

En lo que respecta a los BTC con bagazo de agave como material de refuerzo, los resultados de las pruebas de laboratorio también presentan datos interesantes. La prueba de compresión simple exhibió una resistencia promedio de 27 kgf/cm², que supera las resistencias reportadas en investigaciones anteriores para otras mezclas de materiales, como el aserrín y el heno. Esta mejora en la resistencia podría estar relacionada con las propiedades del bagazo de agave, que posiblemente actúa como un componente de refuerzo eficaz en la mezcla.

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Septiembre, 2023

Es relevante destacar que la absorción inicial y total de agua en los BTC con bagazo de agave se sitúa por arriba de los parámetros aceptables para arcilla prensada, lo que nos indica que el BTC con bagazo de agave tiene una absorción considerable de agua. Esto es esencial para garantizar la durabilidad y estabilidad de los bloques en diferentes condiciones climáticas.

Comparando los resultados de resistencia a la flexión, se observa que los BTC con bagazo de agave obtienen una resistencia promedio de 2.6 kgf/cm². Aunque esta resistencia es menor en comparación con otros materiales estudiados, como el BTC sin fibra y el BTC con fibra de coco, es esencial recordar que la resistencia a la flexión es solo una de las muchas propiedades a considerar en la construcción.

Es importante destacar que los valores de las pruebas de laboratorio se presentan junto con sus desviaciones estándar, lo que refleja la consistencia y confiabilidad de los resultados obtenidos en el estudio.

En resumen, las pruebas realizadas en el suelo y en los BTC con bagazo de agave ofrecen una visión integral propiedades físico-mecánicas de comportamiento del material. Los resultados sugieren que la adición de bagazo de agave como material de refuerzo puede influir positivamente en la resistencia de los bloques, aunque existen áreas en las que podrían buscarse mejoras. Estos hallazgos abren la puerta a futuras investigaciones y ajustes en la mezcla para optimizar aún más las propiedades de los BTC con bagazo de agave, potencialmente contribuyendo a soluciones sostenibles y resistentes en la construcción.

Conclusiones

Los resultados han sido prometedores debido a que han quedado en valores muy cercanos a la norma.

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Septiembre, 2023

Si bien esta mezcla aun no es la adecuada para fabricar BTC, y que estos sean usados como material de construcción, al no cumplir con los límites normados hace falta investigar probando otros niveles de contenido de bagazo de agave en la mezcla para mejorarla.

Respecto a la adición de fibra de bagazo de agave, se puede concluir que esta eleva la resistencia del material, al compararlo con los resultados reportados por Roux-Gutiérrez, Espuna-Mújica, y Plaza Y Valdés (2017), para el BTC sin fibra de coco: y también superó las resistencias obtenidas por Velandia, Sánchez-Bernal, Pita-Castañeda y Pérez-Navar (2019), en otras mezclas con fibras de aserrín y heno, lo que sugiere que el bagazo de agave puede ser un refuerzo eficaz en la fabricación de BTC.

Agradecimientos

Al CONACYT por el apoyo otorgado para la beca de posgrado. Al laboratorio de materiales "Ing. Luis Silva Ruelas" de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo en Morelia, Michoacán. A la empresa CENIT, CONSULTORÍA & ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA.

Referencias

Berumen-Rodríguez, A. A., Pérez-Vázquez, F. J., Díaz-Barriga, F., Márquez-Mireles, L. E., & Flores-Ramírez, R. (2020). Revisión del impacto del sector ladrillero sobre el ambiente y la salud humana en México. Salud Pública De México, 63(1, enefeb), 100-108. https://doi.org/10.21149/11282

Flores-Ríos, P. A., Celerino, R., & Castañeda-Hidalgo, E. (2020).

Generación y caracterización básica de bagazos de la agroindustria del mezcal en Oaxaca. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 11(6), 1437–1445. https://doi.org/10.29312/remexca.v11i 6.2615

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Septiembre, 2023

ONNCCE (2013). Norma Mexicana

NMX-C-036-ONNCCE-2013. Industria

de la construcción – mampostería
resistencia a la compresión de bloques,

tabiques o ladrillos y tabicones y

adoquines - método de ensayo.

Organismo Nacional de Normalización

y Certificación de la Construcción y la

Edificación, S. C. Diario Oficial de la

Federación, México. 3 de julio de 2013.

ONNCCE (2014). Norma Mexicana

NMX-C-037-ONNCCE-2013. Industria

de la construcción – mampostería –

determinación de la absorción total u la

absorción inicial de agua en bloques,

tabiques o ladrillos y tabicones
método de ensayo. Organismo Nacional

de Normalización y Certificación de la

Construcción y la Edificación, S. C.

Diario Oficial de la Federación,

México. 31 de enero de 2014.

ONNCCE (2014). Norma Mexicana

NMX-C-038-ONNCCE-2013. Industria

de la construcción – mampostería –

determinación de las dimensiones de bloques, tabiques o ladrillos y tabicones — método de ensayo.

Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y la Edificación, S. C. Diario Oficial de la Federación, México. 31 de enero de 2014.

ONNCCE (2012). Norma Mexicana

NMX-C-404-ONNCCE-2012. Industria

de la construcción – mampostería
bloques, tabiques o ladrillos y

tabicones para uso estructural –

especificaciones y métodos de ensayo.

Organismo Nacional de Normalización

y Certificación de la Construcción y la

Edificación, S. C. Diario Oficial de la

Federación, México. 13 de diciembre

de 2012.

ONNCCE (2015). Norma Mexicana

NMX-C-508-ONNCCE-2015. Industria

de la Construcción - Bloques de Tierra

Comprimida Estabilizados con Cal
Especificaciones y Métodos de Ensayo.

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Septiembre, 2023

Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y la Edificación, S. C. Diario Oficial de la Federación, México. 2015.

Quiroz-Carranza, J. A., Cantú-Gutiérrez,
C., & García-Martínez, R. (2021).

Entre humo y arcilla: contaminación
ambiental y sobrevivencia humana en
la producción artesanal de ladrillos
(1.ª ed.). Cuidado editorial: Claudio M.
Amescua García.
https://www.atmosfera.unam.mx/wpcontent/uploads/2021/12/LadrillerasLi
bro.pdf

Roux-Gutiérrez, R. S., Espuna-Mújica, J.

A., & Plaza Y Valdés. (2017, 01

noviembre). Repositorio Institucional UAT: Bloques De Tierra Comprimida Adicionados Con Fibras Naturales. RIUAT. Recuperado 2022, de https://riuat.uat.edu.mx/handle/123456 789/1500

Velandia, K. D. G., Sánchez-Bernal, R.,
Pita-Castañeda, D. J., & Pérez-Navar,
L. F. (2019). Caracterización de las propiedades mecánicas de un ladrillo no estructural de tierra como soporte de material vegetal en muros verdes.
Ingeniería Investigación y Tecnología,
20(3),
1-9.
https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.

2019.20n3.030



Contribución al Conocimiento Científico y Tecnológico en Oaxaca

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Artículo

TRATAMIENTO BIOLÓGICO Y MEDIANTE PROCESOS DE

OXIDACIÓN AVANZADA DE VINAZAS MEZCALERAS

Escudero Santiago, Carlos Javier¹, López Chávez, Diego Alejandro¹, Gómez Vázquez,

Raúl²

¹Departamento de Biotecnológicas y Ambientales, Universidad Autónoma de Guadalajara.

Avda. Patria 1201, Lomas del Valle, C.P. 45129, Zapopan, Jalisco.

²Facultad de Turismo y Gastronomía, Universidad La Salle Bajío. Blvd. Torres Landa Pte.

1002, Las Américas, C.P. 37150, León, Guanajuato.

Autor de correspondencia: carlos.escudero@edu.uag.mx

Recibido: 21 de julio de 2023

Aceptado: 09 de septiembre de 2023

Publicado en línea: 25 de septiembre de 2023

Resumen

La elaboración de 1 litro de mezcal genera hasta 15 L de vinazas. Estos residuos tienen

características peligrosas y, debido a que en la gran mayoría de los centros productores de

mezcal no se tratan adecuadamente implican un problema ambiental y social. En el presente

trabajo se realizó un tratamiento biológico de una mezcla de vinazas mezcaleras muestreadas

en Los Valles Centrales de Oaxaca, implementando un sistema de reactor discontinuo

(Sequencing Batch Reactor, SBR). Se determinó que el tiempo de retención hidráulico

óptimo del SBR fue de 48 h consiguiendo una eliminación de 75 % de la demanda química

de oxígeno (DQO) y del 30 % de los sólidos suspendidos totales. Este efluente fue sometido

a un postratamiento utilizando procesos de oxidación avanzada, debido a la acidez de la

Contribución al Conocimiento Científico y Tecnológico en Oaxaca

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

muestra se optó por aplicar el proceso Fenton y foto-Fenton de manera independiente, lo que

condujo a una eliminación de 33 y 47 % de la DQO del efluente del SBR, respectivamente.

Lo anterior, significó un nivel de depuración en todo el tren de tratamiento de las vinazas

entre el 83 y el 87 % de la DOO. Los efluentes resultantes deberían pasar por una etapa de

pulimento final para tener los niveles permisibles de los parámetros de calidad del agua para

descargar a cuerpos receptores.

Palabras clave: Fenton, Foto-Fenton, Reactor biológico secuencial, Vinazas mezcaleras.

Abstract

The production of 1 liter of mezcal generates up to 15 L of vinasses. These residues have

dangerous characteristics and because in the mezcal factories they are not properly treated

represent an environmental and social problem. In the present work, a biological treatment

of a mixture of mezcal vinasses sampled in the Central Valleys of Oaxaca was carried out,

implementing a Sequencing Batch Reactor (SBR). It was determined that the optimal

hydraulic retention time of the SBR was 48 h, achieving up to 75 % chemical oxygen demand

(COD) removal and 30 % of elimination of total suspended solids. This effluent was

subjected to a post-treatment using advanced oxidation processes. Due to the acidity of the

sample, it was suitable to apply the Fenton and photo-Fenton processes independently, which

led to a removal of 33 and 47 % of the COD of the SBR effluent, respectively. This means a

depuration level in the total wastewater treatment train between 83 and 87 % of the COD

removal. The final effluents should be led to a final polishing stage since they still do not

have the allowance levels of water quality parameters for discharge to receiving water bodies.

Key words: Fenton, photo-Fenton, Sequencing batch reactor, Mezcal vinasses.

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Septiembre, 2023

Introducción

La cadena productiva agave-mezcal tiene una relevancia socioeconómica en México, sin embargo, también genera algunos inconvenientes en lo que respecta a los residuos generados por esta actividad productiva (Robles-González et al., 2018; Zelaya-Benavidez et al., 2022).

En la elaboración de 1 litro de mezcal se generan entre 9 y hasta 15 L de vinazas, que es el agua residual generada y debido a que en la gran mayoría de los centros productores de mezcal no se tratan adecuadamente representa un problema ambiental y social (López et al., 2019). Las características ácidas de las vinazas, el alto contenido de materia orgánica, de sustancias tóxicas compuestos recalcitrantes, representan un gran reto para las mezcaleras ya que ponen de manifiesto el riesgo para el suelo y cuerpos de agua si no se tratan estos residuos (López et al., 2019; Robles-González et al., 2012). Algunos reportes indican que en

México se generan alrededor de ocho millones de litros de mezcal al año y de los nueve estados productores del destilado, Oaxaca, quien produce más del 90 % a nivel nacional, es el que enfrenta el mayor desafío para disponer más de 50 millones de litros de vinazas al año (Robles-González et al., 2012; Zelaya-Benavidez et al., 2022).

En muchas regiones de Oaxaca, aún se tiene la práctica de canalizar las vinazas mezcaleras al suelo, lo que puede generar acidificación del suelo, lixiviación de ciertos metales, e incluso la reducción de su porosidad y de los microorganismos presentes (Díaz et al., 2020; Sánchez-Lizárraga et al., 2018; Zelaya-Benavidez et al., 2021). Además, existen estudios que han determinado la toxicidad para algunas hortalizas regadas con bajas dosis de estas vinazas (Zelaya-Benavidez et al., 2021). Dentro de las limitaciones de los sistemas tratamiento existentes para estas vinazas están los tiempos de retención



Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Septiembre, 2023

hidráulico de operación, el espacio que ocupan los reactores biológicos y el mantenimiento de los éstos (Díaz et al., 2020). Además, de los costos asociados a la misma operación de los trenes de tratamiento. Uno de los sistemas biológicos existentes aún no probados en las vinazas mezcaleras son los sistemas biológicos de reactores discontinuos o reactores por lotes (SBR, por las siglas en inglés de Sequencing Batch Reactor). Esta tecnología resulta atractiva para el tratamiento de efluentes complejos aunado a los beneficios de tener un mismo tanque donde ocurre la etapa aerobia-anaerobia y la sedimentación lo que significa un ahorro de espacio. Los sistemas tipo SBR son catalogados como de fácil operación y efectivos eliminación para la de macronutrientes presentes en el agua residual y apropiado para industrias que tienen producción por lotes como en el caso de las mezcaleras (Escudero et al., 2023). Debido a la característica compleja

de las vinazas mezcaleras, los procesos biológicos pueden conceptualizarse como tecnologías de tratamiento aplicadas previamente a una fase de pulimento, usando Procesos de Oxidación Avanzada (POAs), por ejemplo.

Los POAs se han desarrollado y estudiado desde los últimos 40 años y se caracterizan por la generación y uso de agentes altamente oxidantes como el radical hidroxilo (HO•), en los que se incluyen la reacción Fenton y procesos fotoquímicos como el foto-Fenton (Escudero et al., 2022; Hurtado et al., 2021).

El proceso Fenton consiste en el uso de iones de hierro (Fe^{2+}) y peróxido de hidrógeno (H_2O_2) en un medio acidificado para la generación de las especies oxidantes. Si a este mismo proceso se le aplica luz UV se convierte en foto-Fenton $(Fe^{2+} + H_2O_2 + UV)$, donde se forma mayor cantidad de radicales HO^{\bullet} , la regeneración de Fe^{2+} , además de aprovechar la capacidad fotolítica de los

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Septiembre, 2023

complejos de hierro formados (Ameta et al., 2018; Hurtado et al., 2021).

En presente estudio tuvo como objetivo el tratamiento de una mezcla de vinazas provenientes de diferentes mezcaleras de la región de los Valles Centrales de Oaxaca, aplicando un reactor tipo SBR para evaluar los beneficios inherentes a esta tecnología dado que no existe literatura alguna donde se reporte este sistema para tratar estos efluentes. Debido al carácter ácido de las vinazas se eligieron los procesos Fenton y foto-Fenton como vía de postratamiento al efluente obtenido del biorreactor SBR, con lo que se elimina la adición de reactivos para bajar el pH.

Materiales y Métodos

Se realizaron tres muestreos de vinazas provenientes de tres mezcaleras ubicadas en la región central del Estado de Oaxaca. Posteriormente estas muestras fueron conducidas a un laboratorio de análisis químicos (Procesos Químicos Sostenibles-

UAG) para determinar los parámetros de la calidad de estos efluentes siguiendo métodos estandarizados.

Dentro de los parámetros fisicoquímicos estudiados se encuentra la concentración de la materia orgánica, medida como demanda química de oxígeno (DQO), sólidos suspendidos totales (SST), pH, conductividad eléctrica, turbiedad, sólidos sedimentables (SSed), principalmente. Las técnicas usadas para la determinación de cada parámetro mencionado anteriormente fueron las indicadas en la normatividad NMX-AA-030-SCFI-2001, NMX-AA-034-SCFI-2015, NMX-AA-008-SCFI-2016, NMX-AA-093-SCFI-2018, NMX-AA-038-SCFI-2001 y NMX-AA-004-SCFI-2013, respectivamente.

Las muestras fueron mezcladas para su homogeneización y se determinaron las características de la nueva muestra compuesta. A esta mezcla se le aplicó un tratamiento en un reactor tipo SBR, de 3 L de volumen, por un periodo de

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Septiembre, 2023

aproximadamente cuatro semanas. Esta etapa correspondió a la depuración biológica de la muestra.

Este biorreactor estuvo operado con relojes temporizadores o timer, uno para controlar la agitación provista por una barra magnética, y otro que estuvo conectado a una bomba de aireación para el suministro de oxígeno que fue medido con un equipo portátil LAQUAtwin-EC-22 Horiba Scientific. Ambas etapas de activación de estos timer representaron la fase de reacción anaerobia/aerobia del sistema SBR. El biorreactor fue evaluado bajo tres diferentes tiempos de retención hidráulico (TRH) de 24, 48 y 72 h, en referencia a trabajos previos (Escudero et al., 2023), además que experimentar con TRH mayores no representaría beneficio para los palenques dado que esto limitaría el volumen de vinaza a tratar por día. En cada muestreo en el sistema SBR se obtenía 500 mL del efluente tratado y nuevamente alimentado con ese volumen

de vinaza para completar los 3000 mL de la capacidad del biorreactor.

Después del quinto día de arranque del biorreactor se inocularon 300 mL de lodo biológico de una planta de tratamiento donde se depura agua residual doméstica, lo anterior, con el fin de acelerar el arranque del sistema tipo SBR.

Los efluentes obtenidos del biorreactor caracterizados midiendo fueron los parámetros fisicoquímicos señalados previamente y los que presentaron mejor calidad, en cuanto a mayor eliminación de sólidos sedimentables DQO, turbiedad, fueron sometidos a tratamiento Fenton y foto-Fenton. Para estas pruebas con POAs se requirieron 250 mL de muestra proveniente del SBR. Como las muestras finales del SBR presentaban condiciones ácidas no fue necesaria la acidificación de éstas al aplicar los POAs, con lo que únicamente se evalúo el efecto de la iluminación UV del proceso.

Para Fenton y foto-Fenton se trabajaron

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Septiembre, 2023

con dosis de sulfato ferroso de 500 mg/L (FeSO₄, Golden Bell) y H₂O₂ (J.T. Baker al 30 %) de 1000 mg/L con base a resultados de trabajos previos (Escudero et al., 2022; Hurtado et al., 2021).

El proceso fotoquímico fue llevado a cabo bajo una irradiancia de 8.87 W/m², medida con un fotoradiómetro (Delta OHM, HD 2102.1), provisto de un fotosensor en el rango de 315-400 nm. La fuente de iluminación se trató de un sistema tipo LED empleando una barra con 9 unidades de la marca Exulight, de 30 W.

Las pruebas Fenton y foto-Fenton se realizaron utilizando 300 mL de muestra de vinaza mezclada a una agitación de 400 rpm durante 30 min de reacción. En la Figura 1, se muestran imágenes de la experimentación con el proceso Fenton, en ausencia de iluminación, y el proceso foto-

Fenton iluminado con sistemas tipo LEDs.





Figura 1. Experimento (izq.) de la reacción Fenton y (der.) del proceso foto-Fenton aplicados al efluente del reactor SBR.

Cada efluente recuperado tanto del reactor SBR como de los experimentos con POAs fue dejado en reposo por un periodo de más de 2 h para alcanzar la máxima sedimentación de los sólidos remanentes contenidos en estas muestras.

En la Figura 2, se muestra el montaje experimental de cada uno de los procesos estudiados, primero el biorreactor tipo SBR (a), después los sistemas donde se llevaron las pruebas con los POAs (b y c).

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Septiembre, 2023

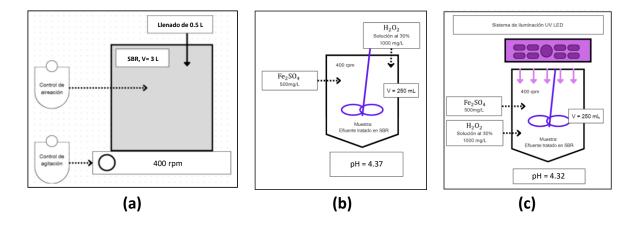


Figura 2. Diagrama experimental del (a) sistema tipo SBR aplicada a las vinazas mezcaleras crudas, del (b) procesos Fenton y (c) foto-Fenton a los que fueron sometidos los efluentes que presentaron la mejor calidad obtenidos del reactor SBR.

Resultados y Discusión

En la Tabla 1 se muestran los resultados de la caracterización de las vinazas de diferentes fábricas de elaboración de mezcal, donde son notables las variaciones de la acidez, aunque todas se encuentran por debajo de las 5 unidades de pH.

Otro parámetro con gran diferencia en concentración son los sólidos totales, con rangos que van desde los 9510 mg/L hasta los 23700 mg/L, que también está relacionado con la concentración de la materia orgánica o DQO con valores desde 37333 mg/L hasta alrededor de 43000

mg/L. Con esta información se revela que, cada palenque tiene etapas particulares en la elaboración del mezcal que pudieran cambiar las características sensoriales del destilado y, por ende, de sus vinazas, teniendo algunos efluentes más complejos. Una vez mezcladas las tres vinazas resultó en una muestra compuesta que presentó valores intermedios de los parámetros de calidad. Esto es lo que pudiera ocurrir en una planta de tratamiento real donde tratasen vinazas de diferentes empresas. Los resultados de las concentraciones de la DQO de los efluentes del SBR se muestran

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Septiembre, 2023

en la Figura 3. En diferentes colores se representa el periodo de tiempo que correspondió a cada TRH medido de forma continua en un solo experimento.

Tabla 1. Resultados de la caracterización de las muestras de vinazas mezcaleras crudas muestreadas y la vinaza resultante de la mezcla de las tres muestras.

Parámetro	Unidad	Valores de VM-1	Valores de VM-2	Valores de VM-3	Valores M-V
DQO	mg/L	37333.33	42000.00	42666.67	40000.00
Turbiedad	NTU	723.67	905.00	883.33	904.00
Conductividad eléctrica	μS/cm	1240.67	1124.67	1321.00	1157.90
pН	U-pH	4.97	4.14	3.86	4.37
Sólidos totales	mg/L	9510.00	17240.00	23718.00	19020.00
Sólidos disueltos totales	mg/L	8835.00	16775.00	23398.00	18665.00
Sólidos suspendidos totales	mg/L	275.00	445.00	485.00	355.00
Sólidos sedimentables	mg/L	12.00	1.10	1.70	3.80

VM-1= Muestra de vinaza 1; VM-2= Muestra de vinaza 2; VM-3= Muestra de vinaza 3; M-V= Mezcla de vinazas.

El corto periodo para la operación del biorreactor a un TRH de 24 h fue debido a que en investigaciones previas con este sistema se encontró que con esta condición experimental se conseguía la eliminación

menor de la DQO (Escudero et al., 2023), por lo que se prosiguió a aumentar el valor del TRH. En la Figura 3 se aprecia que después del quinto día de tratamiento hay un declive en la concentración de la DQO

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Septiembre, 2023

que se atribuye a la inoculación del lodo biológico realizado en este lapso. Es importante mencionar que el nivel de oxigenación en la etapa aerobia se mantuvo en un valor de 3.29 ± 0.26 mg/L para cualquiera de los TRH probados.

Además, en la Figura 3 se incluye una gráfica de los valores de la turbiedad medida para cada periodo de tiempo, donde se muestra que después del tercer día de arranque del biorreactor SBR se tiene una disminución de la turbiedad distinguiendo un aumento a partir del día 17 de operación del SBR pasando de 730 NTU a 780 NTU, este comportamiento se corresponde al mostrado con la DQO.

de retención óptimo fue de 48 h, ya que bajo esta condición experimental se obtuvo en promedio un efluente con 14500 mg/L de DQO y 748 de NTU, mientras que con las otras condiciones de TRH no se logró una eliminación mayor de la materia

Los resultados del tratamiento de vinazas

en el sistema SBR muestran que el tiempo

orgánica y turbiedad. Es importante comentar que la mejor calidad del efluente del SBR generó un valor de la DQO de 10000 mg/L que representa 75 % de la materia orgánica eliminada y concentración final de 250 mg/L de SST que correspondió a 30 % de eliminación de este parámetro. Estos resultados fueron mejor en comparación con trabajos reportados donde por vía anaerobia se han obtenido hasta 80 % de la eliminación de la DQO, pero para ello se hacen diluciones al influente de vinazas del reactor además de usar prolongados TRH (Díaz et al., 2020).

Con un TRH mayor en el SBR se carece de una mejoría del proceso depurativo ya que, como se puede distinguir en la Figura 3, se presenta un aumento de los valores de la DQO de 10000 mg/L a 16000 mg/L logrando una concentración al término del experimento de 14000 mg/L de la DQO. Cabe señalar que el objetivo de este trabajo no fue la identificación de los

Septiembre, 2023

microorganismos asociados a la depuración del agua residual en el SBR, más bien en la evaluación de las variables de este sistema, como por ejemplo el TRH. Hay estudios que han comprobado que a mayor tiempo de retención mayor es la reducción de la materia orgánica, puesto que se da mayor tiempo de reacción alimento-microorganismo, además se ha establecido que una reducción del TRH lleva a una mejora de la calidad de la biomasa al haber una mayor fracción

orgánica evitando la acumulación de sustancias inorgánicas al tener una mayor frecuencia de extracción del efluente (Balaguer, 2011). Lo anterior, responde a los resultados obtenidos con el biorreactor SBR bajo un TRH intermedio de 48 h. Posteriormente, se llevaron a cabo las pruebas de tratabilidad del efluente del SBR de TRH a 48 h aplicando proceso Fenton, por un lado, y posteriormente se experimentó con foto-Fenton con luz UV.

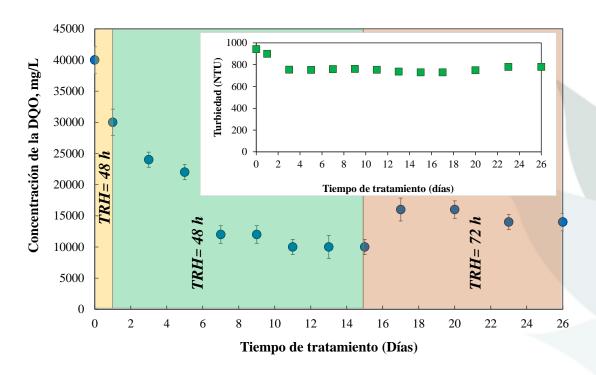


Figura 3. Comportamiento de la DQO a lo largo de la experimentación en el reactor SBR, bajo diferentes tiempos de retención hidráulico (TRH).

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Septiembre, 2023

En la Tabla 2, se muestra de manera comparativa los valores de algunos de los parámetros fisicoquímicos medidos en los efluentes del biorreactor SBR y del postratamiento de éstos por procesos Fenton y foto-Fenton. Los valores finales obtenidos de la reacción Fenton y foto-Fenton indican una mejora de la muestra en cuanto a la concentración de la DOO, conductividad eléctrica y SST. Sin embargo, las concentraciones de DQO, SST y el valore de pH se encuentran aún por arriba de la NOM-001-SEMARNAT-2021 en materia de descargas de aguas residuales a cuerpos receptores.

De la reacción Fenton se logró eliminar 33 % de DQO adicional del efluente del SBR, mientras que con el proceso foto-Fenton la iluminación UV permitió una mejora del grado de depuración permitiendo obtener hasta 47 % de eliminación adicional de la DOO. comportamiento Este puede atribuirse a que con la fuente de iluminación UV aumenta la cantidad de radicales HO generados debido a la fotorreducción de la especie intermediaria de Fe(OH)²⁺ con la regeneración de los iones Fe²⁺, que es el catalizador del proceso fotoquímico (Ameta et al., 2018).

Tabla 2. Valores de los parámetros fisicoquímicos de la muestra del reactor SBR y las postratadas vía procesos Fenton y foto-Fenton.

Parámetro	Unidad	Efluente del SBR, TRH= 48 h	Efluente del proceso Fenton	Efluente del proceso foto-Fenton
DQO	mg/L	10000	6666.67	5333.33
pН	U-pH	4.32	4.29	4.21
Conductividad eléctrica	mS/cm	1093.00	1054.00	1069.00
SST	mg/L	250.00	182.00	176.00
SSed	mL/L	6.50	300.00	166.67

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Septiembre, 2023

Se ha corroborado en otras investigaciones que en el proceso foto-Fenton la fuente de iluminación permite la generación de dos radicales HO[•] adicionales a partir de la fotólisis del H₂O₂ (Hurtado et al., 2021). En general los POAs no fotoquímico y fotoquímico, permitieron una eliminación de la DQO de 83 y 87 %, respectivamente, dentro del tren de tratamiento establecido para las vinazas mezcaleras. Se tiene también que el proceso Fenton generó cerca de 1.8 veces más lodos residuales, medido como sólidos sedimentables. respecto al proceso foto-Fenton, lo que hace a este último más atractivo como etapa de postratamiento.

A pesar de la mejora de la calidad de los efluentes sometidos a los POAs, aún falta mayor pulimento de esta agua residual para poder descargarse a cuerpos receptores sin generar algún efecto adverso al ambiente y a la salud pública.

Conclusiones

En esta investigación se corroboró algunas diferencias de las vinazas mezcaleras obtenidas de varios palenques en cuanto a las concentraciones de la materia orgánica, sólidos disueltos totales, turbiedad y valores de pH. Sin embargo, todas las muestras tienen características complejas. Resultó atractivo la implementación del sistema de tratamiento biológico mediante un reactor tipo SBR, pues se reconoce que este proceso permite reducir costos de construcción al ahorrar espacio y mejorar la calidad del efluente con la eliminación de materia orgánica y sólidos presentes en aguas residuales complejas como las vinazas mezcaleras. En este estudio se logró una eliminación de hasta 75 % de la materia orgánica de la vinaza cruda que fue sometida al biorreactor bajo un tiempo de retención hidráulico intermedio, que es un resultado satisfactorio a lo conseguido en trabajos reportados mediante procesos anaerobios convencionales.

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Septiembre, 2023

La implementación de procesos fisicoquímicos posterior al SBR, tales como el Fenton y foto-Fenton conducen a una mejora adicional de la calidad del efluente, evidenciando una sinergia con los procesos biológicos. Sin embargo, se obtiene un efluente que rebasa los límites máximos permisibles de la DQO, aun cuando se tiene una eliminación cercana al 90 % de este parámetro de calidad del agua.

Εl de los aspectos otro imprescindibles a evaluar del tren de tratamiento, ya que bien. característica ácida de la muestra problema inicial **POAs** permite aplicar los experimentados sin ningún ajuste del pH, esto conlleva a generar un efluente final ácido que debe neutralizarse previo a su descarga a cuerpos receptores.

Los procesos fotoquímicos como el foto-Fenton pueden implementarse con uso de energías limpias como la luz solar para abaratar costos y brindar mejores eficiencias, por lo que el presente proyecto
puede apuntar a nuevas experimentaciones
para concebir una tecnología más
sostenible en términos energéticos.

Referencias

Ameta, R., Chohadia, A., Jain, A. & Punjabi, P. (2018). Fenton and photo-Fenton Processes. En Ameta, S., Ameta, R., Advanced Oxidation Processes for Wastewater Treatment: Emerging Green Chemical Technology (49-87). Elsevier Inc. ISBN: 978-0-12-810499-6.

Belaguer-Arnandis, E. (2011). Estudio de la influencia del tiempo de retención hidráulico en un reactor biológico secuencial (SBR) de depuración de aguas residuales. [Trabajo de fin de Máster en Seguridad Industrial y Medio Ambiente]. Universitat Politècnica de València.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos

Naturales (2022). *NOM-001-*

Septiembre, 2023

SEMARNAT-2021, que establece los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la nación. Diario Oficial de la Federación.

- https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php ?codigo=5645374&fecha=11/03/2022 #gsc.tab=0.
- Díaz, S., Garzón, M. & Moreno, I. (2020).
 Tratamiento de vinazas de mezcal:
 Revisión de procesos y propuesta de tren de tratamiento. Revista
 Latinoamericana el Ambiente y las
 Ciencias, 11(28), 216-220.
- Escudero, C., Pellegrini, F. & Delgadillo, O. (2022). Tratamiento de vinazas tequileras mediante la aplicación de coagulación-floculación y procesos Fenton y foto-Fenton. *Ciencia y Frontera*, 1(2), 40-49.
- Escudero, C., López, D. & Cuevas, G. (2023). Tratamiento de vinazas tequileras con enfoque de economía circular. En De Regil, I., Gerónimo, E.,

- Ecosistema de los Bio y Agro emprendimientos en la región occidente de México (pp. 138-144). Universidad del Valle de Atemajac (UVM) ISBN: 978-607-8153-82-4.
- Hurtado, J., Valdez, L. & Escudero, C. (2021). Solar homogeneous catalysis to the removal of organic matter from slaughterhouse effluents undergone to a prior biological process. *Water Science* & *Technology*, 84(9), 2242-2251.
- López, M., Ventura, E., Rodríguez, J. & Hensel, O. (2019). Inoculum adaptation for the anaerobic digestion of mezcal vinasses. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 35(2), 447-458.
- Robles-González, V., Galíndez-Mayer, J.,
 Rinderknecht-Seijas, N., PoggiVaraldo, H. (2012). Treatment of
 mezcal vinasses: A review. *Journal of Biotechnology*, 157, 524-536.
- Robles-González, V., Poggi-Varaldo, H., Galíndez-Mayer, J. & Ruiz-Ordaz, N.

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Septiembre, 2023

(2018). Combined treatment of mezcal vinasses by ozonation and activated sludge. *Water Environment Research*, 90(11), 1985-1996.

Sanchez-Lizarraga, A., Arenas-Montaño,
V., Marino-Marmolejo, E., Dendooven,
L., Velazquez-Fernandez, J., Davila-Vazquez, G. & Rodriguez-Campos, J.
(2018). Vinasse irrigation: effects on soil fertility and arbuscular mycorrhizal fungi population. *Journal of Soils and Sediments*, 18, 3256-3270.

Zelaya-Benavidez, E., Martínez-Gutiérrez, G., Escamirosa-Tinoco, C. & Morales, I. (2021). Vinazas de mezcal y su efecto biofertilizante en el rendimiento de hortalizas. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 8(3), 1-12.

Zelaya-Benavidez, E., Martínez-Gutiérrez, G., Robles, C. & Morales, I. (2022). Use of mezcal vinasses to produce methane by co-digestion with bovine manure. *Biotecnia*, XXIV (2), 53-58.

Contribución al Conocimiento Científico y Tecnológico en Oaxaca

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Septiembre, 2023

Artículo

DESARROLLO TECNOLÓGICO PARA REVALORIZAR VINAZAS

DE MEZCAL ARTESANAL EN BIOFILTROS ANAEROBIOS CON

SOPORTE ORGÁNICO/INORGÁNICO

Vigueras Cortés, Juan Manuel¹, Garzón Zúñiga, Marco Antonio¹, Uribe Ordóñez, Luis

Antonio¹

Instituto Politécnico Nacional - Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo

Integral Regional (IPN CIIDIR DURANGO). Sigma 119, Fracc. 20 de Noviembre II,

Teléfono: 55 57 29 6000 Ext. 82602 y 618 814 2091.

Autor de correspondencia: mviguer@ipn.mx

Recibido: 25 de julio de 2023

Aceptado: 09 de septiembre de 2023

Publicado en línea: 25 de septiembre de 2023

Resumen

La producción de mezcal artesanal genera residuos líquidos conocidas como vinazas, y por

cada litro de mezcal comercial producen hasta 15 L de vinazas. Comúnmente se emplean

para riego de agaves, aunque ambientalmente causan impactos negativos. Se caracterizan por

alto contenido de materia orgánica, temperatura ≥90 °C, pH ácido y diversos compuestos

recalcitrantes. Con el objetivo de revalorizar las vinazas para obtener biocombustible y

efluentes menos contaminantes se evaluaron dos biofiltros anaerobios (BAs), uno empacado

con astilla de encino y tezontle (BM) y otro solo astilla (BS) en dos etapas, con co-digestión

de una mezcla de vinazas-agua residual municipal (MVAR) a 20 y 30 % v/v, variando la

carga hidráulica superficial (CHS) a 0.10, 0.15 y 0.32 m³/m²d. En la primera etapa el

Contribución al Conocimiento Científico y Tecnológico en Oaxaca

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

acondicionamiento de la biopelícula de BAs se obtuvo a 57 y 69 días, con remoción de DQO

de 68 y 73 % en BM y BS. En la segunda etapa, con 20 % y 0.15m³/m²d se obtuvieron 5.90

y 8.21 L/d de biogás con 84 y 82 % de remoción de DQO en BM y BS. Con 30 % a 0.32

m³/m²d de CHS, produjeron 7.34 y 9.07 L/d de biogás, y eficiencia de remoción de DOO de

91 y 94 %, alcanzando 45 y 53 % de CH₄ en BM y BS, respectivamente. Finalmente, con la

producción de biocombustible y efluentes menos contaminantes en biofiltros anaerobios las

vinazas muestran su revaloración prediciendo el futuro aprovechamiento del biogás y

reducción de la contaminación ambiental por lo que se pueden alcanzar criterios de

sustentabilidad del proceso.

Palabras clave: Biocombustible, Biofiltración anaerobia, Astilla de encino, Materia orgánica,

Vinazas.

Abstract

The production of artisanal mezcal generates liquid residues known as vinasse, and for every

liter of commercial mezcal they produce up to 15 L of vinasse. They are commonly used to

irrigate agaves, although they cause negative environmental impacts. These are characterized

by high organic matter content, temperature ≥90 °C, acidic pH, and diversity of recalcitrant

compounds. With the objective of revaluing the vinasses to obtain biofuel and less polluting

effluents, two anaerobic biofilters (AB) were evaluated, one packed with oak chips and

tezontle (MB) and another only chips (CB) in two stages, with co-digestion of vinasses-

municipal wastewater mixture (VWWM) at 20 and 30 % v/v, varying the superficial

hydraulic load (SHL) at 0.10, 0.15 and 0.32 m³/m²d. In the first stage, the biofilm

conditioning in the ABs was obtained at 57 and 69 days, with COD removal of 68 and 73 %

in MB and CB. In the second stage, with 20 % and 0.15m³/m²d, 5.90 and 8.21 L/d of biogas

Contribución al Conocimiento Científico y Tecnológico en Oaxaca

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Septiembre, 2023

were obtained with 84 and 82 % COD removal in MB and CB, respectively. With 30 % at 0.32 m³/m²d of HSL, they produced 7.34 and 9.07 L/d of biogas, and COD removal efficiency of 91 and 94 %, reaching 45 and 53 % of CH₄ in MB and CB, respectively. Finally, with the production of biofuel and less polluting effluents in anaerobic biofilters, shows its revaluation, predicting the future use of biogas and reduction of environmental contamination, so that process sustainability criteria can be achieved.

Keywords: Anaerobic biofiltration, Biofuel, Oak chip packing, Organic matter, Vinasses.

Introducción

Actualmente a nivel mundial la crisis del empleo de combustibles fósiles es un problema ambiental, por lo que la utilización de fuentes renovables es imperante. El debate actual sobre los biocombustibles de primera generación producidos partir de cultivos alimentarios ha puesto muchas esperanzas en los biocombustibles de segunda generación producidos principalmente a partir de cultivos, residuos forestales y cultivos energéticos no alimentarios (Christy et al., 2014), considerando que el biogás es una mezcla inflamable cuando la concentración de biometano es superior al 40 % (Parsaee et al., 2019).

En este sentido, en México se producen anualmente más de 14 millones de litros de mezcal artesanal incrementado con altos beneficios económicos al productor (COMERCAM, 2023). Sin embargo, por cada litro de producto genera hasta 15 L de vinazas, que se caracterizan por el alto contenido de materia orgánica con más de 120 000 y hasta 50 000 mg/L de DQO y DBO₅; temperatura mayor de 90 °C y compuestos refractarios como fenoles, polifenoles y melanoidinas responsable del color oscuro, respectivamente (Robles-González et al., 2012). Cuando

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Septiembre, 2023

descargados al suelo o cuerpos de agua causan severos daños ecológicos como salinidad, destrucción de microbiota autóctona y eutrofización en cuerpos de agua (López Velarde et al., 2017).

Para remover contaminantes de vinazas, el proceso anaerobio es el más recomendado (Cruz-Salomón et al., 2017). La vinaza sin diluir no produce biogás (Aguilar Aguilar 2020), al., sin embargo, descomposición biológica en co-digestión con otro coadyuvante si es posible (Parsaee et al., 2019). Por tanto, en la descomposición anaerobia se lleva a cabo con mezcla compleja de microorganismos simbióticos que transforman materiales orgánicos en condiciones libres de oxígeno produciendo biogás, remoción de nutrientes y materia celular adicional, dejando sales y materia orgánica refractaria (Christy et al., 2014). En este sentido, en el CIIDIR IPN Durango, durante los dos últimos años ha realizado investigación con tratamiento

anaerobio de vinazas de mezcal logrando obtener hidrógeno, electricidad y biometano; tecnología sustentable que se pretende transferir a los productores de mezcal para reutilizar los subproductos como biocombustible (Díaz Barajas et al., 2021).

Por otro lado, observaciones en campo de donde proceden las vinazas en este estudio, algunos productores de mezcal artesanal emplean las vinazas en el riego de plantas de agave. Con el fin de revalorizar las vinazas, no solamente en riego, se evaluó la producción de biocombustible y disminución la materia orgánica en biofiltros anaerobios, en dos etapas, siendo la primera la determinación del tiempo de acondicionamiento de la biopelícula y la segunda la producción de biocombustible y remoción de materia orgánica en el efluente. El proceso de biofiltración anaerobia realizó se aplicando dos tipos de empaque, uno orgánico/ inorgánico y el segundo solo

Contribución al Conocimiento Científico y Tecnológico en Oaxaca

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Septiembre, 2023

material orgánico, en co-digestión de una mezcla de vinazas-agua residual municipal, a temperatura controlada de 35 °C.

Con los resultados obtenidos, complementados con procesos aerobios de tratamiento de vinazas anaerobias, se efluentes podrá obtener menos contaminante (Molleta, 2005), y formular un paquete tecnológico de tratamiento de vinazas con obtención de subproductos comercialmente importantes la reducción de contaminantes efluentes del proceso de producción de mezcal artesanal, para ser transferido a productores de mezcal artesanal competir en los mercados nacionales e internacionales con la etiqueta de un proceso de producción de mezcal artesanal sustentable.

Material y métodos

Descripción de los biofiltros

Los biofiltros anaerobios (BAs) se construyeron con tubería de PVC de 15 cm de diámetro interno con 1.0 m de altura y se empacaron con material orgánico (astilla de encino) e inorgánico (tezontle). El primero compuesto con astilla de encino y tezontle (BM) y el segundo solo con astilla (BS), ambos a temperatura de operación de 35 °C. Ambos BAs fueron alimentados con un solo inóculo preparado vinaza mezcal con de artesanal. proporcionada por dos mezcaleras de tipo artesanal de Nombre de Dios, Durango, y agua residual anaerobia proveniente de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR-Sur) de la ciudad de Durango. mezcla se preparó en dos

La mezcla se preparó en dos concentraciones de 20 y 30 % v/v. Se operaron los BAs con tres cargas hidráulicas superficiales (CHS) de 0.10, 0.15 y 0.32 m³/m² d. La CHS más baja se lleva a cabo para alcanzar el acondicionamiento de los BAs donde se desarrolla la biopelícula y se alcanza

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Septiembre, 2023

cuando la variación de la DQO permanece estable, mientras que las otras dos CHS se aplicaron para comparar la eficiencia de producción de biocombustible sin correr el riesgo aplicar esfuerzos cortantes sobre biopelícula y disminuir la eficiencia de degradación de los contaminantes. Estructuralmente los BAs cuentan con un sistema de captación de biocombustible y una entrada del inóculo localizados en la parte superior y en la parte inferior la descarga de los efluentes.

Caracterización de vinazas, inóculo y efluentes de los biofiltros.

Se caracterizaron la vinaza, el inóculo y el efluente de cada BA respecto al contenido de materia orgánica, a través de la demanda química de oxígeno (DQO) y la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), material suspendido con sólidos suspendidos totales (SST), organismos patógenos a través de coliformes fecales (CF) por el método del Número Más Probable (NMP/100 mL), conductividad

eléctrica (CE) y pH (APHA, 1998) La producción de biogás en la etapa de acondicionamiento se midió por un método convencional de desplazamiento de agua de un matraz a un segundo recipiente.

Análisis del biocombustible

La composición del biocombustible fue realizada por cromatografía de gases empleando un cromatógrafo SRI 8610C equipado con un detector de conductividad térmica y una columna Carboxen 1010 de 30 m (ID 0.53 mm). Las temperaturas del inyector, columna y detector corresponden a 200, 100 y 230 °C, respectivamente. La fase móvil corresponde a gas nitrógeno con un caudal de 4 mL/min. El análisis se realizó duplicado por para cada concentración de la MVAR y CHS, respectivamente.

Resultados y discusión

La caracterización fisicoquímica y biológica de las vinazas de mezcal

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Septiembre, 2023

artesanal y el inóculo de los BAs se comparan con la composición de vinazas de mezcal industrial (Robles González et al., 2012) (Tabla 1). Estos muestran que las vinazas de mezcal son altamente contaminantes de materia orgánica, ya que comparada con un agua residual municipal es alta la concentración (de 30 a 50 veces), ya que la máxima concentración de DQO en el agua residual cruda es de 1000 mg/L (Metcalf and Eddy, 1991). Respecto a la DOO la vinaza de mezcal de este estudio fue mayor la concentración a la reportada por Robles-González et al., (2012) en vinazas de producción de mezcal artesanal del estado de Oaxaca, lo que podría deberse principalmente a que existe diferente materia prima, las especies de agave son diferentes. Para Oaxaca se emplea principalmente el Agave angustifolia Durango durangensis (Arellano Plaza et al., 2022). Etapa de acondicionamiento

tiempo de acondicionamiento se alcanzó a los 57 y 69 días con la CHS de $0.10 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ y 20 % de MVAR, alcanzando una eficiencia de remoción de 68 y 73 %. de DQO para los BM y BS, respectivamente. Después de 70 días se observó el inicio de producción de biocombustible. La baja recomendable para que la biopelícula pueda adecuarse a las condiciones del inóculo (Garzón Zúñiga y Buelna, 2011). Estos resultados muestran materiales de empaque de los BAs son eficientes para desarrollar la biopelícula. En el caso del BM, la mezcla de materiales filtrantes orgánicos e inorgánicos, tiene menor tiempo de acondicionamiento que el BA con astilla de encino. Sin embargo, aún con este tiempo de acondicionamiento en ambos BAs es mucho más corto que el acondicionamiento proceso anaerobio a escala real, ya que estos llegan a estabilizarse hasta después de los 180 días (Metcalf and Eddy, 1991).

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Septiembre, 2023

Producción de biocombustible/ eficiencia de remoción de DQO.

En la segunda etapa, con 20 % de la MVAR y 0.15 m³/m² d, el BM obtuvo una producción promedio de biogás de 5.90 y 8.21 L/d y una eficiencia de remoción de DQO fue de 84 y 85 % para los BM y BS, respectivamente.

Con 30 % de la MVAR a 0.32 m³/m²d de CHS, en los BAs registraron producción volumétrica promedio de 7.34 y 9.07 L/d de biogás en los BM y BS, respectivamente. Las concentraciones finales de DQO fueron de 445±132 y 297±186 mg/L que representan eficiencias de remoción de DQO de 91 y 94 % BM y BS, respectivamente.

La diferencia de producción de biogás entre los BAs podría deberse a que el área de contacto de la astilla de encino es mayor que la de tezontle.

Estas eficiencias de remoción son elevadas comparadas con las obtenidas por Gomes de Barros et al (2016) quienes removieron

82 % en el tratamiento anaerobio de vinazas empleando un reactor anaerobio de flujo ascendente. Tratando vinazas de la producción de etanol, Ramos Vaquerizo (2018) tuvo una remoción de 70 % de DQO. Robles-González et al (2012) mencionan que Yu et al. (2006) obtuvieron una eficiencia de remoción de DOO del 82 % y que Thanikal et al. (2007) tratando vinazas en un reactor anaeróbico a escala de laboratorio empacado con polietileno de baja densidad removieron 80 % de DQO. La composición promedio del biogás en BM fue 45.3± 0.07 % de CH₄, $54.2 \pm 0.89 \%$ de CO_2 y 1.16 % de hidrógeno, mientras en el BS fue 52.5 0.76 % CH₄ y 47.1 0.21 % de CO₂, respectivamente.

De acuerdo con Parsaee et al. (2019) mencionan que el biogás es una mezcla inflamable cuando la concentración de biometano es superior al 40 %, por tanto, el biogás obtenido en este proceso tiene una utilidad inmediata durante su

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Septiembre, 2023

producción, aunque es deseable elevar la concentración respecto del CO₂. La composición del biogás es muy similar a la

obtenida por López Velarde et al. (2019) quienes obtuvieron de 50 a 57 % de metano en un proceso anaerobio.

Tabla 1. Caracterización de la vinaza industrial, vinaza de mezcal artesanal y la mezcla del influente durante la valoración de los biofiltros anaerobios.

	Concentración			
			Vinaza-agua	
Parámetro	Vinaza	Vinaza	residual antes de	
	industrial*	cruda**	la digestión	
			anaerobia	
Demanda química de oxígeno	60 560 ± 1 004	$75\ 267\pm 30$	26 338 ± 2 563	
(mg/L)	00 300 ± 1 004	795	20 338 ± 2 303	
Demanda bioquímica de	22 000 ± 2 830	19 000 a 31	7 163 ± 1 076	
oxígeno (mg/L)	22 000 ± 2 830	700	7 103 ± 1 070	
Sólidos suspendidos totales	3 905 ± 156	2 957 ± 1 946	2 841 ± 4 312	
(mg/L)	3 903 ± 130	2 937 ± 1 940	2 041 ± 4 312	
Conductividad eléctrica	3.9 ± 0.03	3 680 ± 1 359	2 008 ± 232	
(µS/cm)	3.9 ± 0.03	3 000 ± 1 339	2 008 ± 232	
Coliformes fecales	n d	nd	6.0 x 10 ⁵	
(NMP/100 mL)	nd	nd	0.U X 1U	
рН	3.6	4.0 ± 0.2	6.8 ± 0.4	

^{*} Vinaza industrial de Oaxaca (Robles-González, et al 2012); **Vinaza de mezcal artesanal Durango; nd= no disponible.

Conclusiones

Los biofiltros anaerobios empacados con material orgánico/inorgánico mostraron ser eficientes en la revalorización de vinazas de mezcal artesanal obteniendo mayor concentración de biogás en 0.32 m³/m²d y 30 % de vinaza-agua residual, destacando que los empaques orgánicos





Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Septiembre, 2023

son más eficientes en producción de biocombustible, alcanzando 53 % de metano y se considera inflamable, lo que permiten ser utilizado directamente en los procesos de producción de mezcal artesanal acompañados de una eficiente remoción de materia orgánica expresada como DQO, que posibilita un reúso de los efluentes para aplicarse en cultivos productivos sin causar contaminación ambiental en cuerpos receptores. Finalmente se prevé que en corto plazo el proceso de producción de mezcal artesanal podrá catalogarse como un proceso sustentable, que destacará internacional con etiqueta económica de valor ambiental y que seguramente abrirá puertas a la competencia exigente en los procesos productivos.

Agradecimientos

Los autores agradecen al COCYTED por el apoyo financiero en la Convocatoria para el Impulso a la vinculación mediante proyectos Academia-Empresa-Sociedad 2019-01 y al IPN (SIP2019 RE/040).

Aguilar-Aguilar F.A., Mora-Flores L.,

Referencias

López-Hernández *V*... Limón-Hernández. R.A..& Hernández-Martínez, I. (2020). Producción de biogás a partir de la co-digestión anaerobia de la mezcla de vinaza proveniente del mezcal con excretas bovinas. *RINDERESU* 5(1):376-388 Albuquerque, J.N., Ratusznei S.M. & Rodrigues J.A.D. (2019). Biomethane thermophilic production by digestion of sugarcane vinasse and whey in an AnSBBR: Effects of composition, organic load, feed strategy and temperature. Journal of

APHA, AWWA and WEF 1998. Standard

Methods for the Examination of Water

and Wastewater. 20th edn, American

Environmental

251:109606:1-11

Management

Septiembre, 2023

Public Health Association, American
Water Works Association and Water
Environment Federation, Washington,
DC, USA.

Arellano-Plaza1 M., Paez-Lerma J.B.,
Soto-Cruz N.O., Kirchmayr M.R. &
Gschaedler Mathis A. (2022). Mezcal
Production in Mexico: Between
tradition and commercial exploitation.
Frontiers in Sustainable Food Systems
6 Article 832532

Christy P.M., Gopinath L.R., & Divya D. (2014). A review on anaerobic decomposition and enhancement of biogas production through enzymes and microorganisms. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 34:167–173.

COMERCAM (2023). Informe estadístico 2023. Oaxaca, Oax.

Cruz-Salomón A., R. Meza-Gordillo R.,
A. Rosales-Quintero A., VenturaCanseco C., Lagunas-Rivera S., &
Carrasco-Cervantes J. (2017). Biogas

production from a native beverage vinasse using a modified UASB bioreactor. *Fuel* 198:170-174.

Díaz-Barajas S. A., Garzón-Zúñiga M. A.,
Moreno-Andrade I., Vigueras-Cortés J.
M. & Barragán-Huerta B. E. (2021).
Acclimation of microorganisms for an efficient production of volatile fatty acids and biogas from mezcal vinasses in a dark fermentation process. Water Sci Tech 83(11): 2724-2731.

Garzón-Zúñiga M. A. & Buelna G. (2011). Treatment of wastewater from a school in a decentralized filtration system by percolation over organic packing media. *Water Sci Technol* 64 (5): 1169–1177.

Gomes de Barros V., Duda R.M. & Alves de Oliveira R. (2016). Biomethane production from vinasse in upflow anaerobic sludge blanket reactors inoculated with granular sludge.

Brazilian Jour Microbiol 47:628-639

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Septiembre, 2023

López Velarde M.S., Ventura Ramos E.J.,
Rodríguez Morales J.A. & Hensel O.
(2019). Inoculum adaptation for the
anaerobic digestion of mezcal vinasses.
(Adaptación de inóculo para la
digestión anaerobia de las vinazas del
mezcal). Rev. Int. Contam. Amb. 35 (2)
447-458.

López Velarde Santos M., Rodríguez Valadéz F.J., Mora Solís V., González Nava, C., Cornejo Martell A.J. & Hensel O. (2017). Performance of a microbial fuel cell operated with vinasses using different cod concentrations. *Rev. Int. Contam. Amb.* 33 (3):521-528.

Metcalf & Eddy. (1991). Wastewater engineering: treatment, disposal and

reuse. Third Edition. McgrawHill.

New York.

Moletta R. (2005). Winery and distillery wastewater treatment by anaerobic digestion. *Water Sci Technol* 51 (1): 137–144.

Parsaee, M., Kiani M.K.D., & Karimi K. (2019). A review of biogas production from sugarcane vinasse. *Biomass and Bioenergy* 122: 117-125.

Ramos Vaquerizo F. (2018) Tesis:

Generación de biogás mediante un biorreactor EGSB a partir vinazas.

Facultad de Ingeniería UCACh.

Robles González V., Juvencio Galíndez Mayer J., Seijas N.R. & Poggi-Varaldo H.M. (2012). Treatment of mezcal vinasses: A review. *Jour Biotechnol* 157:524-5

Artículo

ELABORACIÓN DE UN BIOPOLÍMERO CON RESIDUOS DE

BAGAZO DE Agave angustifolia Haw

Gutiérrez Jiménez, Eugenio¹, Montero Toledo, Elva¹, Caballero Sánchez, Homero²,

Velásquez Hernández, Francisco Emanuel¹, Hernández Osorio, Luis Alberto¹.

¹Facultad de Ciencias Químicas - Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca. Av.

Universidad S/N. Ex-Hacienda 5 Señores, Oaxaca de Juárez C.P. 68000

²Facultad de Odontología - Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca. Av.

Universidad S/N. Ex-Hacienda 5 Señores, Oaxaca de Juárez C.P. 68000

Autor de correspondencia: luisosorio@uabjo.mx

Recibido: 21 de julio de 2023

Aceptado: 09 de septiembre de 2023

Publicado en línea: 25 de septiembre de 2023

Resumen

El mezcal es la principal actividad agroindustrial en Oaxaca, se producen alrededor de

catorce millones de litros. La producción del mezcal presentó un incremento anual del 74 %

respecto al año 2022, lo que genera un aproximado de doscientos cuarenta mil toneladas de

bagazo, el cual no es tratado y principalmente es abandonado en los cultivos de maguey; sin

embargo, esta práctica provoca el deterioro del ecosistema, principalmente la corrosión de

los suelos donde se vierte. El objetivo del trabajo es generar un biopolímero de fibras de

bagazo proveniente del Agave angustifolia Haw. Las fibras fueron recolectadas después de

su destilación y transportadas en contenedores de plástico, las muestras de bagazo fueron

previamente tratadas mediante secado solar y lavadas con agua destilada a 90 °C durante 45

Contribución al Conocimiento Científico y Tecnológico en Oaxaca

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

minutos para la neutralización de carbohidratos residuales. Posteriormente, el bagazo fue

pulverizado en un mortero hasta la obtención de la textura deseada. Para la elaboración del

biopolímero se sintetizó una matriz a base de almidón, glicerina, agua y ácido acético a

diferentes concentraciones, una vez alcanzadas las concentraciones óptimas, se incorporó el

bagazo tratado en la formulación. La mezcla fue depositada en moldes y se dejó reposar a

temperatura ambiente durante 48 horas. Se obtuvieron seis formulaciones con diferentes

concentraciones de aditivos, Las seis formulaciones demuestran que las fibras de bagazo son

materia orgánica tratable para formar productos alternativos y aumentar su valor, Así

también, se observó que la formulación 4 presentó una textura viable, resistencia y elasticidad

intermedia.

Palabras clave: Bioplástico, Desecho, Fibras, Maguey, Mezcal.

Abstract

Mezcal is the main agro-industrial activity in Oaxaca, around fourteen million liters are

produced. The production of mezcal presented an annual increase of 74 % compared to the

year 2022, which generates approximately two hundred and forty thousand tons of bagasse,

which is not treated and is mainly abandoned in maguey crops; however, this practice causes

the deterioration of the ecosystem, mainly the corrosion of the soils where it is dumped. The

objective of the work is to generate a biopolymer of bagasse fibers from Agave angustifolia

Haw. The fibers were collected after their distillation and transported in plastic containers,

the bagasse samples were previously treated by solar drying and washed with distilled water

at 90 °C for 45 minutes to neutralize residual carbohydrates. Subsequently, the bagasse was

pulverized in a mortar until the desired texture was obtained. For the elaboration of the

biopolymer, a matrix based on starch, glycerin, water and acetic acid was synthesized at

Contribución al Conocimiento Científico y Tecnológico en Oaxaca

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Septiembre, 2023

different concentrations. Once the optimal concentrations were reached, the treated bagasse was incorporated into the formulation. The mixture was deposited in molds and allowed to settle at room temperature for 48 hours. Six formulations with different concentrations of additives were obtained. The six formulations demonstrate that bagasse fibers are treatable organic matter to form alternative products and increase their value. Likewise, it was observed that formulation 4 presented a viable texture, resistance, and intermediate elasticity. **Keywords:** Bioplastic, Fibers, Maguey, Mezcal, Waste.

Introducción

El mezcal es una bebida espirituosa que se produce principalmente en el territorio mexicano. En México, son nueve los estados productores de mezcal: Zacatecas, Durango, Guerrero, Michoacán, San Luis Potosí, Guanajuato, Puebla, Tamaulipas Oaxaca, todos ellos cuentan con la denominación de origen del producto, siendo Oaxaca uno de los principales productores de mezcal (secretaria de economía & de Origen, 2015).

En el estado de Oaxaca la elaboración de mezcal involucra diferentes especies de agaves, como son, *Agave angustifolia* Haw (espadín), *A. macroacantha* (mexicano),

A. potatorum (tobalá), A. marmorata (tepeztate), A. karwinskii (barril), A. convallis (jabalí), y A. americana subsp. oaxacensis (sierra negra) (Luis Nogales, 2018).

Oaxaca es el estado que posee la mayor cantidad de agaves y produce la mayor cantidad de mezcal, por lo cual esta agroindustria importancia es de socioeconómica, generando anualmente más de 40 mil empleos y una derrama económica del orden de los \$2,276,970,675.00 (MXN) (Cortés-Martínez, 2017). En el 2022, comercialización del mezcal presentó un

Contribución al Conocimiento Científico y Tecnológico en Oaxaca

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Septiembre, 2023

incremento anual del 74 % respecto al año 2021 (COMERCAM, 2023)

Aunque esto es ampliamente beneficioso para el desarrollo regional del estado, también implica diversos retos con áreas de oportunidad. La mayoría de los productores de mezcal abandonan estos residuos de agave directamente en el campo para que se degraden con el tiempo, pero en realidad, lo que provoca es un deterioro en el ecosistema, principalmente el pH de los suelos donde se vierte.

La industria mezcalera tiene efectos negativos en el ambiente por el mal manejo de los residuos de bagazo del cual se estima que se producen anualmente 122 696 toneladas y en conjunto una cantidad de vinaza que van desde los 14 a 27 millones de litros (Paniagua Pérez et al., 2022). Su degradación natural causa varios problemas ambientales, como la modificación del pH del suelo, el deterioro del paisaje, la generación de olores y una mayor atracción de fauna nociva como:

roedores, insectos y patógenos. Adicionalmente, el bagazo es otro residuo orgánico que puede aprovecharse mediante la incorporación de otros materiales para la fabricación de productos alternativos y aumentar su valor (Hidalgo-Reyes et al., 2015).

Por otra parte, el uso excesivo y alta demanda de productos plásticos derivados del petróleo y la creciente contaminación ambiental son factores que inducen al desarrollo de nuevos productos que estén elaborados con materiales biodegradables para la reducción del impacto negativo al medio ambiente, por lo que la creación de bioplásticos son una alternativa que se ajustan a estas nuevas necesidades industriales y sociales ya que el 90 % de sus materiales que lo constituyen son de origen vegetal que, al desecharse en condiciones favorables integran rápidamente a la naturaleza en forma de dióxido de carbono, agua y biomasa. Los biopolímeros macromoléculas son

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Septiembre, 2023

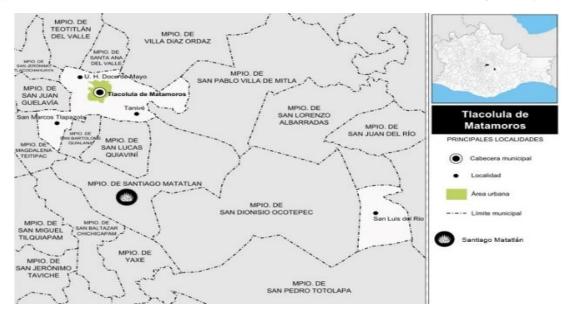


Figura 1. Ubicación del área de estudio: Santiago Matatlán. Fuente: INEGI. II Conteo de Población y Vivienda 2005. Cuaderno Estadístico Municipal de Tlacolula de Matamoros, Oaxaca., Edición 2003.

formadas por unidades funcionales que han sido desarrollados por diferentes organismos de maneras directas procesadas indirectamente. Los biopolímeros plásticos o bioplásticos son descritos como todos los plásticos que también son de base biológica o pueden ser biodegradables. Pueden elaborarse a través carbohidratos (almidón, celulosa, azúcar de caña etc.), proteínas (gelatina, caseína, seda y lana), lípidos (aceites vegetales) y otros grupos funcionales para formar: Ácido poliláctico-PLA, poliésteres como los Polihidroxialcanoatos-PHA almidones termoplásticos entre otros (Song et al., 2009). Por lo anterior, el presente proyecto tiene como finalidad obtener un prototipo de matriz polimérica a partir de bagazo proveniente de *Agave angustifolia* Haw. mezclado con polisacárido vegetal.

Materiales y métodos

El presente proyecto de investigación fue cuantitativo de tipo descriptivo y experimental. Se llevó a cabo en la comunidad de Santiago Matatlán, perteneciente al distrito de Tlacolula,

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Septiembre, 2023

Oaxaca (Figura 1) y en la Facultad de Ciencias Químicas, de la Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca, durante el periodo comprendido de eneromayo del 2023.

Se realizó un estudio descriptivo para la obtención de un prototipo de matriz polimérica incorporando fibras naturales provenientes de los desechos de *Agave angustifolia* Haw, el sitio de colecta fue en un palenque de la localidad de Santiago Matatlán, Tlacolula, Oaxaca. Para la selección de muestra de las fibras se utilizaron los siguientes criterios de inclusión:

- a) Bagazo de *Agave angustifolia* Haw colectado de un palenque en el municipio de Santiago Matatlán.
- b) Bagazo en buen estado, de hasta 10
 días dispuesto en un área específica para
 su reposo después de la destilación en el palenque.

Dentro de los criterios de exclusión se consideró no procesar la muestra de bagazo con presencia de fauna nociva cómo larvas de moscas, y el crecimiento de microrganismos que denotarán el inicio de descomposición.

La metodología de trabajo siguió los pasos mostrados en la Figura 2.



Figura 2. Diagrama general de trabajo metodológico.

Contribución al Conocimiento Científico y Tecnológico en Oaxaca

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Septiembre, 2023

Recolección de la muestra de bagazo

Durante la última etapa del proceso de elaboración de mezcal conocido como "destilación", se estableció un área para la descarga y separación de vinazas y el bagazo generado, se procedió a tomar una alícuotas, posteriormente fueron empaquetadas en contenedores de plástico y trasladadas al laboratorio #9 de Biología Experimental en la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma "Benito Juárez" de Oaxaca.

Secado solar

Las muestras provenientes del palenque fueros sometidas a un proceso de pretratamiento el cual consistió en la remoción de la humedad mediante la extensión de fibras en placas de 30 x 30 cm de acero inoxidable. Las placas con las muestras de bagazo se dejaron en condiciones medio ambientales estándar con exposición a luz solar durante 72 horas, posteriormente fueron pesadas en

una báscula digital para la validación de la perdida de humedad.

Remoción de azucares residuales

Una vez libres de humedad se procedió a la eliminación de impurezas en un medio acuoso; colocando 25 g. de fibras de bagazo previamente cortadas de manera manual aproximadamente de 1.0 cm de largo, sumergidas en agua purificada con relación dilución de 1:50, una posteriormente calentó se una temperatura de 90 °C por 45 minutos. Terminando este proceso se procedió a realizar un lavado con 500 ml de agua y dejándolo reposar durante 3 minutos, este proceso se repitió 5 veces hasta obtener una muestra en difusión de agua purificada sin presencia de turbidez, finalmente, la muestra fue colocada en una malla para escurrir el excedente de agua y ser expuesta nuevamente a la luz solar.

Pulverización de la fibra

Las fibras tratadas fueron pulverizadas en un mortero hasta obtener la consistencia de



Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Septiembre, 2023

polvo y pasadas por un tamiz del número 30 para que este sea homogéneo.

Preparación del biopolímero

Para la elaboración del biopolímero se procedió a sintetizar una matriz a base de almidón suplementado con agua destilada, glicerina y ácido acético a diferentes concentraciones, esta parte se llevó de manera aleatorizada hasta obtener un prototipo de matriz polimérica base. Una vez seleccionadas las concentraciones de las variables de interés, se procedió a la formulaciones. síntesis de las polimerización se realizó por calor utilizando una parrilla eléctrica con agitación constante en un rango de temperatura de 60 a 70 °C hasta un punto adición de los componentes, el producto

resultante fue sometido a un choque térmico utilizando láminas de aluminio de 20 x 20 cm, así como una caja Petri, finalmente la muestra se dejó reposar a temperatura ambiente.

Evaluación del producto final

Las láminas y moldes fueron evaluados cualitativamente; considerando la textura, flexibilidad y dureza basadas la metodología descrita por Anita et al., (2023) del prototipo de matriz polimérica.

Resultados

- a) Obtención de la muestra.
 Se recolectaron seis muestras de agave de
 6 kg cada una de acuerdo a los criterios establecidos en la metodología.
 - b) Secado solar



Figura 3. Esquema de colecta de fibras. 3.a) Recolección del alambique 3. b) Secado solar de fibras, 3. c) Fibras de bagazo secas, 3. d) Pesado de las fibras después del tratamiento de secado.





Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Septiembre, 2023

Al evaluar las fibras se obtuvo una masa final de 1.526 kg. perdiendo el 74.56 % de su masa total, lo cual representa la cantidad de agua eliminada en el proceso, que sería equivalente a la cantidad de vinazas presente en la muestra en condiciones normales (Figura 3).

c) Pulverización de la muestra
En la fase de pulverización la muestra
inicial fue de 25 g al momento de aplicarle
la metodología descrita se obtuvo un
producto final de 15.062 g, que representa
el 39.75 % de muestra perdida, (Figura 4).
La molienda que se dio a las fibras de
agave fue insuficiente para hacer harina
con un tamaño de partículas similares a la
de un almidón (Alcides et al., 2015).



Figura 4. Diagrama de pulverización de muestra. 4.a) Pulverización en mortero 4.b) y pesado de las fibras.

d) Elaboración y evaluación del biopolímero.

Tabla 1. Formulaciones para la elaboración de prototipo base de polisacárido vegetal.

Formula	Pv	Ad	G	ÁA
1	20 g	100 ml	5 ml	5 ml
2	20 g	100 ml	5 ml	5 ml
3	10 g	100 ml	5 ml	5 ml
4	10 g	100 ml	5 ml	5 ml
5	20 g	100 ml	15 ml	10 ml
6	25 g	158 ml	15 ml	15 ml
7	30 g	60 ml	15 ml	15 ml
8	10 g	100 ml	5 ml	5 ml
9	10 g	120 ml	5 ml	6 ml
10	20 g	100 ml	5 ml	5 ml

Pv: polisacárido vegetal; ÁA: ácido acético glacial; G: Glicerol o glicerina, Ad: Agua destilada.

El proceso descriptivo se dividió en dos fases: la primera, consistió en la formulación de un biopolímero a base de almidón proveniente del maíz (Riera, 2020) realizando 10 pruebas en las cuales se varió la cantidad de cada uno de los componentes de la matriz como se muestra en la tabla 1, obteniendo así biopolímeros con diferentes características como se muestra en la Figura 5. Obteniendo que la

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Septiembre, 2023

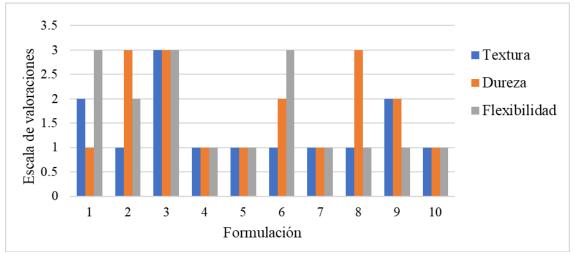


Figura 5. Evaluación de diez formulaciónes (1 al 10) con diferentes concentraciones de aditivos.

formulación número 3 es la más apta para continuar a la segunda fase, ya que esta nos brinda los mejores resultados en textura, dureza y flexibilidad con base en la metodologia descrita de Anita et al. (2023) y Pizá Cedano et al. (2018).

La evaluación de la textura consitio en tener una superficie lisa y color lo mas cercana a un plastico convencional, para al valoración de la dureza se comprobo que el prototipo resistiera a una fuerza manual sin romperceo o cuartearse y como ultimo punto la flexibilidad se evaluo doblando el prototipo revisando que este no se agriete, todos estos factores fueron evaluados en

un rango establecido de 1 al 3 donde 1 es malo, 2 es regular y 3 esbueno, bajo el criterio cualitativo del evaluador. En la segunda fase se le añadió las fibras de bagazo en diferentes cantidades (Tabla 2), ocupando como base la formulación número tres de la primera fase.

Tabla 2. Concentraciones de fibras de bagazo empleadas en la formulación

Formula	BGA
1	5 g
2	3 g
3	1 g
4	2 g
5	3 g
6	9 g

BGA: bagazo de agave





Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

eptiembre, 2023

Realizando seis formulaciones distintas como se muestra en la Figura 6, siendo la formulación número 4 la que presenta mejores características cualitativas evaluadas.

Flores-Ríos et al. (2020) y Pérez et al. (2021). Una vez tratado el bagazo, este puede biodegradarse con mayor facilidad, siendo esta fracción del residuo un material potencial para su

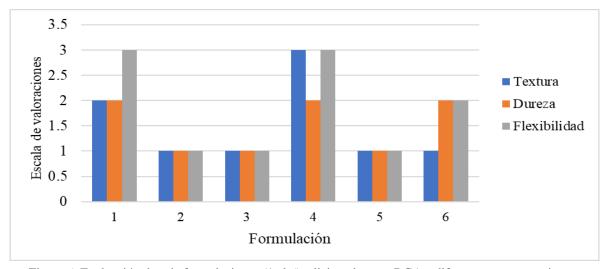


Figura 6. Evaluación de seis formulaciones (1 al 6) adicionados con BGA a diferentes concentraciones.

Discusión

Las fibras de bagazo generalmente contienen agua, azucares residuales, entre otras moléculas que acidifican el residuo, por lo que genera problemas al desecharlo en los campos de cultivos, en nuestro estudio se estima que aproximadamente el 74 % del peso de bagazo húmedo contiene esta fracción liquida ácida, lo que es consistente a los trabajos descritos por

aprovechamiento síntesis de en la materiales biodegradables cómo los trabajos descritos por Avilez et al. (2020). En relación a las formulaciones obtenidas en nuestro estudio, las pruebas muestran consistencia con los productos obtenidos por Silva Espino et al. (2020), en la que se describe la síntesis de biopolímeros a partir de la mezcla entre polisacáridos, bagazo y aditivos. De acuerdo con las cualidades descritas por Anita et al.

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Septiembre, 2023

(2023)., describiendo el biopolímero en relación a su textura, dureza y flexibilidad, determinando diferentes aue las aditivos concentraciones de condiciones que modifican el valor de cualidades. Las formulaciones estas elaboradas con mayores cantidades de plastificante tienden a ser más flexible y contraparte al disminuir por la concentración de este en la formulación la biopelícula se vuelve más rígida tal como establece Enríquez et al. (2012). En cuanto a la coloración del prototipo presenta un aspecto blanquecino semitransparente y/o café ligeramente, coincidiendo con lo publicado por Cuervo y Mosquera (2011). Así, se plantea la siguiente alternativa para atender el remplazo de los polímeros sintéticos utilizados en la industria de los plásticos, que generalmente son derivados del petróleo y presentan una durabilidad, siendo esta cualidad un tema de interés ambiental. Las fibras naturales o biopolímeros tienen muchas propiedades

físicas y mecánicas parecidas a las deseadas de los polímeros sintéticos, a diferencia de estos, los biopolímeros obtenidos de fuentes naturales, son más fáciles de degradar naturalmente que los sintéticos (Suárez Castañeda et al., 2017)

Conclusiones

El bagazo de *Agave angustifolia* Haw resultante del proceso de elaboración de mezcal puede ser utilizado como materia prima para la síntesis de biopolímeros.

Para la síntesis de biopolímero adicionados con bagazo requiere necesariamente un tratamiento para la eliminación de contaminantes.

Las concentraciones de los aditivos en la síntesis del biopolímero generan variaciones de las cualidades de textura, dureza y flexibilidad.

Referencias

Alcides, J., Chanatasig Escuela, C.,
Panamericana, A., & Honduras, Z.

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Septiembre, 2023

(2015). Caracterización de bioplástico de almidón elaborado por el método de casting reforzado con albedo de maracuyá (Passiflora edulis spp.). https://bdigital.zamorano.edu/handle/1 1036/4560

Anita, B., Camacho, P., Oscar, M.,
Berrios, J., Coasesor, T., Andrés, B. J.,
& Veneros, R. C. (2023). Polvo del pericarpio (cáscara) de Musa paradisiaca y la producción de Biopolímeros biodegradables. Sullana 2022. Universidad Nacional de Frontera.
http://repositorio.unf.edu.pe//handle/U

Avilez, X. P. B., Fajardo, J. G. S., & Ramos, E. H. (2020). Aprovechamiento del bagazo de yuca en la elaboración de biomateriales. Revista EDIA, 5. https://doi.org/10.1590/fst.32117

Cortés-Martínez, C. (11 C.E.). Congreso nacional de agave-mezcal. Instituto

www.ciidiroaxaca.ipn.mx/conagave/ Cuervo-Pardo. Oscar Hernando y Mosquera-Velasco, Reinaldo. (2011). **Propiedades** fisicoquímicas mecánicas de películas obtenidas a partir de almidón nativo y oxidado de arracacha. Revista ION, ISSN: 0120-100X Colombia. PP. 8. https://www.redalyc.org/pdf/3420/342

politécnico nacional, 2017, 1–97.

Enríquez, Mario; Velasco, Reinaldo. y
Ortiz, Vicente. (2012). Composición y
procesamiento de películas
biodegradables basadas en almidón.
Universidad del Cauca. Biotecnología
en el Sector Agropecuario y
Agroindustrial. Vol. 10 No. 1 (182 192)
http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v10

030285004.pd

Flores-Ríos, P. A., Celerino, R., & Castañeda-Hidalgo, E. (2020).

Generación y caracterización básica de

n1/v10n1a21.pdf

NF/230

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Septiembre, 2023

bagazos de la agroindustria del mezcal en Oaxaca. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 11(6), 1437–1445. https://doi.org/10.29312/REMEXCA. V11I6.2615

Hidalgo-Reyes, M., Caballero-Caballero, M., Hernández-Gómez, L. H., & Urriolagoitia-Calderón, (2015).G. Chemical morphological and characterization of Agave angustifolia bagasse fibers. Botanical Sciences, 807-817. 93(4), https://doi.org/10.17129/BOTSCI.250 López Cruz, J. Y., Ortiz Hernández, Dra. Y. D., & Guzmán Cruz, D. L. (2019). Análisis de la situación de desigualdad, empobrecimiento y desarrollo social en dos comunidades productoras de mezcal artesanal Oaxaca. http://ru.iiec.unam.mx/4738/

Luis Nogales. (2018, April 1). *Agaves*mezcaleros de Oaxaca.

https://mezcologia.mx/agavesmezcaleros-de-oaxaca/

Paniagua Pérez, G., Sarabia Sereno, Y. L., & Belmonte Izquierdo, Y. (2022). *Una segunda vida para los residuos de la industria mezcalera*. Inventio, 17(43). https://doi.org/10.30973/INVENTIO/2 021.17.43/8

Pizá Cedano, H. S., Rolando Franco, S., Ramírez Urbina, C. C., Villanueva Benites, S., & Zapata Carrasco, A. P. (2018). Análisis experimental de la elaboración de bioplástico a partir de la cáscara de plátano para el diseño de una línea de producción alterna para las chifleras de Piura, Perú. https://pirhua.udep.edu.pe/handle/1104 2/3224

Riera, M. A. (2020). Obtención de bioplástico a partir de almidón de maíz (zea mays l.). Colón Ciencias, Tecnología y Negocios, 7(1), 1–11. https://doi.org/10.48204/J.COLONCIE NCIAS.V7N1A1

Secretaria de economía, & de Origen, D.

M. (2015). Dirección General de

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Septiembre, 2023

Comunicación Social.

http://www.gob.mx/se/articulos/seamplia-zona-de-denominacion-deorigen-del-

Silva E., & Espino, SIEE871118HGTLSL08. (2020).Obtención de biopolímero un absorbente a partir de bagazo residual demezcalero. agave http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8 083/xmlui/handle/DGB_UMICH/1917 Song, J. H., Murphy, R. J., Narayan, R., & Davies, G. B. H. (2009). Biodegradable compostable alternatives to and

conventional plastics. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, *364*(1526), 2127–2139.

https://doi.org/10.1098/RSTB.2008.02

Suárez Castañeda, J. L., Restrepo Montoya, J. W., Quinchía Figueroa, A., & Mercado Navarro, F. A. (2017). Fibras vegetales colombianas como refuerzo en compuestos de matriz polimérica. Tecnura, 21(51), 57–66. https://doi.org/10.14483/UDISTRITA L.JOUR.TECNURA.2017.1.A04

Contribución al Conocimiento Científico y Tecnológico en Oaxaca

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Septiembre, 2023

Artículo

CINÉTICA DE FERMENTACIÓN DE Saccharomyces sp. AISLADAS DE

Agave angustifolia Haw

Pineda Valdivieso, Alejandra Natalia¹, Vásquez López, Arnel Salvador¹, Velasco Vásquez,

Elisa¹, Díaz García, Edmar de Jesús², García Montalvo, Iván¹, Matías Pérez, Diana¹,

Varapizuela Sánchez, Carlos Francisco¹, Pérez Santiago, Alma Dolores¹, Sánchez Medina,

Marco Antonio¹

¹Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Oaxaca. Av. Ing. Víctor Bravo

Ahuja No. 125, Esquina Calzada Tecnológico, C.P. 68030.

²-CONAHCYT-Centro de investigación Facultad de Medicina. UNAM-UABJO de la Facultad

de Medicina y Cirugía, Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca. Ex Hacienda de

Aguilera S/N, Sur, San Felipe del Agua, C.P. 68020

Autor de correspondencia: marco.s.medina@itoaxaca.edu.mx

Recibido: 21 de julio de 2023

Aceptado: 09 de septiembre de 2023

Publicado en línea: 25 de septiembre de 2023

Resumen

Las levaduras Saccharomyces cerevisiae poseen elevada capacidad fermentativa, siendo la

especie predilecta en la producción de bebidas alcohólicas fermentadas. En procesos

industriales, se utilizan cepas con modificaciones genéticas limitando sus ciclos de propagación

y generando costos adicionales. El objetivo de este estudio fue identificar una cepa con

características de comportamiento fermentativo similares a las levaduras comerciales con

biodisponibilidad para su uso. Se analizaron 3 cepas Saccharomyces sp. aisladas de agave en

Contribución al Conocimiento Científico y Tecnológico en Oaxaca

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

diferentes etapas de la producción del mezcal; crudo, cocido y molido. Fueron inoculadas en

caldo papa dextrosa para evaluar la cinética de crecimiento, agotamiento de azúcares y grado

alcohólico probable respecto a una cepa comercial de Saccharomyces cerevisiae (BE-134). El

crecimiento celular se determinó mediante conteo en cámara de Neubauer durante 72 horas, al

igual que la cinética fermentativa por refractometría. Las cepas silvestres presentaron

diferencias significativas respecto a la levadura comercial, en donde las cepas aisladas de agave

crudo y cocido alcanzaron mayor densidad celular que el control. En cuanto al agotamiento de

azúcares, únicamente la cepa aislada de agave molido presentó una diferencia significativa

menor respecto a las cepas restantes. La evaluación del alcohol probable muestra una similitud

entre la cepa control y la cepa aislada de agave cocido. Las cepas aisladas de maguey crudo y

cocido no presentaron diferencia significativa del comportamiento general durante la

fermentación en caldo papa dextrosa en relación al control.

Palabras clave: Bebidas fermentadas, Espadín, Levadura.

Abstract

Saccharomyces sp. yeasts have a high fermentation capacity, which is why they are used in the

production of fermented alcoholic beverages. In industrial processes, strains with genetic

modifications are used, limiting their propagation cycles and generating additional costs to

production. The objective of this study was to identify a strain with similar fermentation

characteristics behavior to commercial yeasts with bioavailability for use. Three Saccharomyces

sp. Strains were analyzed, which were isolated from agave at different stages of mezcal

production; raw, cooked and ground. These were inoculated in potato dextrose broth to evaluate

growth kinetics, sugar depletion and probable alcoholic strength with respect to a commercial

Contribución al Conocimiento Científico y Tecnológico en Oaxaca

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Septiembre, 2023

strain of *Saccharomyces cerevisiae* (BE-134). Growth kinetics were determined by counting in a Neubauer chamber for 72 hours, as were fermentation kinetics by refractometry. The native strains showed significant differences from the commercial yeast, the raw and cooked agave strains reached a higher cell density than the control. As for sugar depletion, only the ground agave strain showed a significant difference rather the remaining strains. The evaluation of probable alcohol shows a similarity between the control strain and the cooked agave isolated strain. The strains isolated from raw and cooked maguey did not show a significant difference in the general behavior during fermentation in potato dextrose broth in relation to the control.

Keywords: Espadín, Fermented beverages, Yeast.

Introducción

Las levaduras Saccharomyces cerevisiae son microorganismos heterótrofos, los cuales obtienen energía a partir de la glucosa, utilizándola como sustrato para la producción de etanol y dióxido de carbono, es decir, una elevada capacidad fermentativa. Es por ello, que esta especie es la más utilizada en la producción bebidas productos fermentados. En el sector industrial, se utilizan levaduras con número de ciclos de propagación limitado debido modificaciones genéticas con la finalidad de

mejorar la capacidad fermentativa y atributos de los productos finales. Sin embargo, las levaduras comerciales no son capaces de crecer y predominar en la flora nativa, presentando fluctuaciones naturales de aparición y desaparición de las células de manera periódica (Schuller & Casal, 2006). Constantemente se buscan alternativas para minimizar costos y obtener una cepa con biodisponibilidad para su uso, que posea características que las levaduras comerciales atribuyen.

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Septiembre, 2023

Se ha encontrado gran potencial en las levaduras no convencionales como levaduras nativas de S. cerevisiae silvestre para su explotación en la industria cervecera, además de aportar mayor complejidad de aromas y sabores se pueden enfocar en bebidas distintas como cervezas NABLAB (nonalcoholic and low alcohol beer), bajas en calorías y funcionales. Por tal motivo, los estudios centrados en la comprensión del desempeño fermentativo y sensorial, de la propagación y estabilidad de los inóculos son de gran importancia para una introducción gradual de los productores a las fábricas (Burini et al., 2021; Segura-García et al., 2015).

Particularmente en las levaduras aisladas de *Saccharomyces* silvestres, se encuentra potencial en productos fermentados por tener altos niveles de productos volátiles deseados como ésteres etílicos, la habilidad de fermentar a baja temperatura, producir nuevos perfiles de aromas, niveles altos de etanol, y bajos de H₂S. Además de soportar

condiciones estresantes del medio, con lo que podría dar paso a nuevas estrategias cerveceras, debido a que las cepas silvestres adquieren diversidad fenotípica debido al estrés ambiental (Cubillos et al., 2019)

Por lo anterior, el presente estudio se centró en analizar las cinéticas de crecimiento, agotamiento de azúcares por medio de sólidos solubles totales y grado alcohólico probable de tres cepas aisladas del agave en distintas etapas del proceso de producción del mezcal. De esta manera fue posible identificar el comportamiento fermentativo de las cepas aisladas de acuerdo con una cepa comercial de *Saccharomyces cerevisiae* (BE-134).

Materiales y métodos

Propagación e inoculación de las cepas Saccharomyces sp.

La propagación se realizó a partir de cepas de levaduras silvestres (*Saccharomyces* sp.) aisladas de maguey espadín (*Agave angustifolia* Haw) obtenidas de magueyes en diferentes estados durante el proceso de

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Septiembre, 2023

producción del mezcal: maguey crudo, maguey cocido y maguey molido en fase lag fermentativa. Cada una de las cepas se activaron en placas de medio PDA (agar papa dextrosa), se incubaron a 25 °C por 72 horas. A partir de estas placas se inocularon tubos de CPD (caldo papa dextrosa) bajo las mismas condiciones con la finalidad de mejorar la manipulación de las cepas. Todas las sometidas muestras fueron las experimentaciones por triplicado. Para la propagación, el crecimiento celular en medio líquido se monitoreó por medio de conteo en cámara de Neubauer (Hausser Scientific, USA), obteniendo el número de células por mL utilizado la ecuación 1.

$$\bar{x} \cdot 10000 \cdot Factor \ de \ diluci\(on = \frac{c\(elulas \)}{mL}$$
 (1)

Donde,

x: Media de los 4 cuadrantes.

10000: Constante de volumen de la celda = $1mm \cdot 1mm \cdot 0.1mm = 0.0001 \text{ cm}^3$.

Factor de dilución: Dilución utilizada para el recuento $(10^{-1} = 10, 10^{-2} = 100, 10^{-3} = 1000)$

De esta manera se determinó el volumen de inoculación con el mínimo número de células aisladas de maguey necesarias para la fermentación, de modo que todos los medios iniciaran la cinética con la misma concentración de levadura. Como control fue utilizada la cepa comercial *Saccharomyces cerevisiae* BE-134).

Cinética de fermentación de las cepas Saccharomyces sp.

Las cepas asiladas y la cepa control fueron inoculadas nuevamente en medio CPD con 1 mL de inóculo con una concentración de células viables de orden 10⁷ células/mL, se incubaron a 25 °C por 72 horas. Se realizó recuento de células vivas no teñidas con azul de metileno a partir de muestras recolectadas cada cuatro horas a lo largo fermentación, simultáneamente se monitoreó el agotamiento de azúcares por medio de refractometría (ABBE) a 26 °C con sólidos solubles totales (SST) y la aproximación de concentración de etanol por medio de porcentaje de alcohol probable según

Contribución al Conocimiento Científico y Tecnológico en Oaxaca

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Septiembre, 2023

adaptaciones realizadas de correlaciones de gravedad específica obtenida por refractometría y la ecuación 2.

$$\% \ vol. = (0.6757 * {}^{\circ}Bx) - 2.0839$$
 (2)

Donde,

% vol: Porcentaje en volumen de alcohol

0.6757: factor de error

°Bx: grados Brix

2.0839: ajuste con gravedad específica

Análisis estadístico

Los datos obtenidos fueron sometidos a un análisis estadístico Games-Howell con significancia menor o igual a 5 % en IBM SPSS Statistics.

Resultados y discusión

El recuento de células con cámara de Neubauer permitió obtener la cinética de crecimiento microbiano durante la fermentación. Se obtuvieron medias de las muestras por triplicado, las cuales se muestran en la Tabla 1.1. y 1.2. El

agotamiento de azúcares y el porcentaje de alcohol probable son consistentes con su respectivo aumento de la densidad celular. La gráfica del crecimiento en la densidad celular se presenta en la Figura 1., donde se observa que la cepa aislada de agave molido presentó una menor densidad celular que el resto de las cepas a pesar de haber sido inoculada con la misma concentración. Por lo tanto, con esta cepa no se consiguió una estandarización en el número inicial de células. De manera distinta, se observa un comportamiento muy similar entre las cepas aisladas de maguey crudo, cocido y el control durante las primeras 24 horas. La cepa aislada de maguey cocido alcanzó mayor número de células antes que el control, a pesar de ello, la cepa aislada de maguey crudo fue la que consiguió mayor densidad celular a lo largo de toda la cinética.

Nuevamente, se destaca la cepa aislada de maguey crudo en la Figura 2, la cual muestra mayor rendimiento debido a haber al agotado mayor cantidad de azúcares en menor tiempo.

Contribución al Conocimiento Científico y Tecnológico en Oaxaca

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Septiembre, 2023

Alrededor de las 40 h los azúcares fueron consumidos en la misma medida, las diferencias de sólidos solubles totales (SST) fueron de 3.7, 2.1, 1.7 y 2.1 para las cepas aisladas de maguey crudo, cocido, molido y control respectivamente. La cepa aislada de agave molido presentó un menor agotamiento de azúcares, siendo congruente con su deficiente crecimiento.

En la Figura 3 se muestra el alcohol probable, siendo la cepa aislada de maguey crudo la que alcanza el mayor porcentaje alcohólico con 2.5 % en volumen, las cepas aisladas de cocido y control llegan hasta 1.42 %, presentando una gran similitud. Sin embargo, la cepa aislada de agave molido fue la de menor porcentaje de alcohol probable producido con un máximo de 1.15 %.

Análisis estadísticos

Por medio del modelo estadístico Games-

Howell (p < 0.05) se comprobó que las medias del desarrollo celular de las levaduras aisladas de maguey crudo y cocido no presentaron diferencia estadísticamente significativa entre ellas, por otra parte, sí lo presentaron respecto al control; alcanzando un mayor número de células. La cepa aislada de maguey molido se encuentra por debajo del control en cuanto a la media de crecimiento celular, mostrando una diferencia estadística significativa. En cuanto a las medias de SST analizadas, únicamente la cepa aislada de maguey molido mostró una diferencia significativa en el agotamiento de azúcares a lo largo de la cinética. El porcentaje de alcohol probable de la cepa aislada de maguey cocido no muestra diferencia significativa respecto al control, a diferencia de las restantes que sí lo muestran (Tabla 2).

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Septiembre, 2023

Tabla 1.1. Variables monitoreadas- durante la fermentación de las cepas asiladas de -agave crudo y cocido.

	Crudo			Cocido		
Tiempo [h]	Concentración media [cel/mL]	SST [°Bx]	% Alcohol probable	Concentración media [cel/mL]	SST [°Bx]	% Alcohol probable
0	2.98E+07	7.6	0	3.80E+07	6.4	0
4	3.58E+07	5.9	1.14869	3.47E+07	5.9	0.33785
8	3.17E+07	5.9	1.14869	3.50E+07	5.9	0.33785
12	4.00E+07	5.7	1.28383	4.48E+07	5.9	0.33785
16	3.68E+07	5.6	1.3514	5.05E+07	5.6	0.54056
20	5.06E+07	4.9	1.82439	5.02E+07	5.6	0.54056
24	5.65E+07	4.9	1.82439	6.00E+07	4.9	1.01355
28	5.15E+07	4.8	1.89196	6.87E+07	4.9	1.01355
32	6.03E+07	4.8	1.89196	6.88E+07	4.8	1.08112
36	6.61E+07	4.7	1.95953	6.98E+07	4.8	1.08112
40	7.82E+07	4.2	2.29738	6.68E+07	4.7	1.14869
44	7.97E+07	3.9	2.50009	6.72E+07	4.3	1.41897
48	6.78E+07	3.9	2.50009	6.98E+07	4.3	1.41897
52	8.28E+07	3.9	2.50009	6.48E+07	4.3	1.41897
56	8.62E+07	3.9	2.50009	7.02E+07	4.3	1.41897
60	8.03E+07	3.9	2.50009	7.28E+07	4.3	1.41897
64	7.86E+07	3.9	2.50009	7.27E+07	4.3	1.41897
68	8.08E+07	3.9	2.50009	8.18E+07	4.3	1.41897
72	8.31E+07	3.9	2.50009	8.78E+07	4.3	1.41897

Tabla 1.2. Variables monitoreadas- durante la fermentación de las cepas aisladas de -agave molido y control (BE-134).

	Molido			Control			
Tiempo [h]	Concentración media [cel/mL]	SST [°Bx]	% Alcohol probable	Concentración media [cel/mL]	SST [°Bx]	% Alcohol probable	
0	5.82E+06	6.4	0	2.80E+07	6.4	0	
4	5.50E+06	6.4	0	3.00E+07	6.2	0.13514	
8	6.67E+06	6.3	0.06757	4.08E+07	5.9	0.33785	
12	8.17E+06	6.2	0.13514	4.68E+07	5.9	0.33785	
16	1.60E+07	6.2	0.13514	5.50E+07	5.9	0.33785	
20	1.75E+07	6.2	0.13514	5.98E+07	5.4	0.6757	
24	1.85E+07	5.9	0.33785	6.28E+07	5.2	0.81084	

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

-			100		00	
50	nt	iem	ını	0	70	175

28	2.02E+07	5.7	0.47299	4.88E+07	4.9	1.01355
32	2.28E+07	5.5	0.60813	4.37E+07	4.7	1.14869
36	2.67E+07	5.5	0.60813	3.83E+07	4.7	1.14869
40	2.50E+07	5.5	0.60813	3.43E+07	4.4	1.3514
44	1.95E+07	5.5	0.60813	2.77E+07	4.4	1.3514
48	1.95E+07	5.2	0.81084	3.03E+07	4.4	1.3514
52	1.97E+07	5.2	0.81084	2.85E+07	4.3	1.41897
56	2.92E+07	4.9	1.01355	2.92E+07	4.3	1.41897
60	3.22E+07	4.9	1.01355	3.02E+07	4.3	1.41897
64	2.90E+07	4.9	1.01355	2.95E+07	4.3	1.41897
68	3.93E+07	4.8	1.08112	2.80E+07	4.3	1.41897
72	4.18E+07	4.7	1.14869	2.65E+07	4.3	1.41897
	1			1		

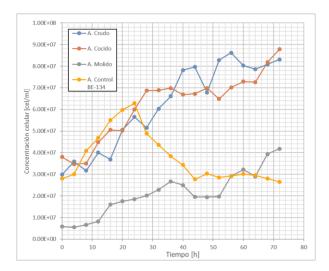


Figura 1. Cinética de crecimiento microbiano de Saccharomyces durante 72 horas.

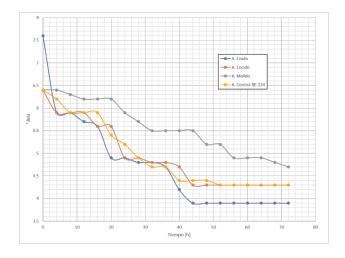


Figura 2. Agotamiento de azúcares de Saccharomyces durante 72 horas.

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Septiembre, 2023

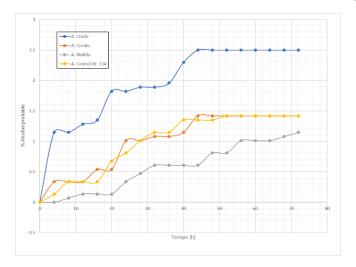


Figura 3. Porcentaje de alcohol probable de las Saccharomyces durante 72 horas.

Tabla 2. Variables monitoreadas durante el crecimiento celular.

Origen de levaduras	cel/mL	SST [°Bx]	% Alcohol probable
Crudo	$6.19 \times 10^{8^a} \pm 1.98 \times 10^7$	$4.73^a \pm 1.01$	$1.93^a \pm 0.69$
Cocido	$6.18 \times 10^{8^a} \pm 1.54 \times 10^7$	$4.94^a \pm 0.71$	$0.99^b \pm 0.48$
Molido	$2.12 \times 10^{8^c} \pm 1.05 \times 10^7$	$5.57^b \pm 0.59$	$0.56^c \pm 0.40$
Control (BE-134)	$3.67 \times 10^{8^b} \pm 1.36 \times 10^7$	$4.96^a \pm 0.75$	$0.97^b \pm 0.51$

^{*}Los resultados son la media de los datos obtenidos durante la cinética de fermentación. **Letras diferentes en la columna indican diferencias significativas respecto al control (Games-Howell, p < 0.05); \pm : desviación estándar.

Las cepas de levaduras aisladas de maguey mostraron su máxima población celular durante las primeras 40 h de la cinética. En el trabajo de Miranda (2014, pp. 759-772), el cual utiliza cepas no-*Saccharomyces* (n*S*) para la fermentación de vinos, las cepas alcanzaron su población máxima alrededor de 48 h posteriores a la inoculación, pero con un

crecimiento poco significativo. Ortiz (2015 pp. 169-182) complementa el trabajo de Miranda (2014, pp. 759-772) realizando la comparación de la cinética de levaduras *S. cerevisiae* y n*S*, predominando en todos los aspectos la primera levadura en los diferentes mostos vínicos. Otra técnica propuesta por Alcíbar (2019, pp. 4-6) termina la

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Septiembre, 2023

fermentación cuando el alcohol producido fue semejante al obtenido estequiométricamente, debido a que su finalidad era alcanzar el mayor rendimiento posible en cuanto a la producción de etanol. De manera que todas las levaduras aisladas de maguey iniciaron el proceso de fermentación posterior a la levadura comercial (Figura 1), difiriendo de la levadura con la que experimentó Abadin (2014, pp. 7-9); ya que presenta una mejor adaptación a bajas temperaturas e inicia el proceso de fermentación antes que las levaduras de origen comercial. Por lo tanto, muestra datos relevantes para considerar las levaduras autóctonas como una opción potencial exponiendo mayor resistencia al estrés en la fermentación.

Los SST obtenidos del control (BE-134) fueron menores a los presentados por Abadin (2014, pp. 7-9) de la levadura comercial debido al origen del sustrato, en este caso es el medio de cultivo CPD y el utilizado por Abadin es mosto vinícola, y aún mayor el contenido de azúcares de los viñedos

muestreados por Ortiz (2015, pp. 169-182). Por otro lado, Pérez (2018, pp. 49-67) únicamente utilizó las lecturas de °Bx con su respectiva densidad para determinar la evolución y el final de la fermentación del jugo de manzana.

El porcentaje alcohol probable fue evaluado respecto a los SST y tablas de correlación con gravedad, a diferencia de Abadin (2014, pp. 7-9) y Miranda (2014; pp. 759-772) que reportan la concentración de alcohol en porcentaje (v/v). Los tres trabajos mencionados coinciden en que no existe diferencia significativa entre las cepas autóctonas y las comerciales.

Conclusiones

Se compararon tres cepas silvestres de *Saccharomyces* sp., aisladas de *Agave angustifolia* Haw con una levadura comercial de *Saccharomyces cerevisiae* BE-134 durante una fermentación de 72 horas a través de un método estadístico (Games-Howell, p < 0.05). Los análisis realizados mostraron que

Contribución al Conocimiento Científico y Tecnológico en Oaxaca

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Septiembre, 2023

las levaduras silvestres poseen una capacidad fermentativa similar a la levadura comercial, por lo tanto, demuestran potencial para su uso en la producción de bebidas fermentadas.

De acuerdo al desarrollo de crecimiento celular en medio CPD las cepas silvestres presentaron diferencias significativas respecto a la levadura comercial, alcanzando las cepas aisladas de agave crudo y cocido mayor densidad celular que el control.

Únicamente la cepa aislada de agave molido presentó una diferencia significativa en el agotamiento de azúcares respecto a las 3 cepas restantes.

La evaluación del alcohol probable muestra una similitud entre la cepa control BE-134 y la cepa aislada de agave cocido. La cepa aislada de agave crudo presentó una producción alcohólica probable más eficiente respecto a las demás.

Las cepas aisladas de maguey crudo y cocido no presentan diferencia significativa del comportamiento general durante la fermentación en CPD en relación al control.

Agradecimientos

A CONACyT por el otorgamiento de la beca para la realización de estudios de posgrado con el número de registro del becario 632283.

Al Tecnológico Nacional de México por el apoyo otorgado en la Convocatoria de Proyectos de Desarrollo Tecnológico e Innovación Para Estudiantes 2021, con la clave de registro 10734.21-P.

Referencias

Abadin, C., Barbero, F., Oyanguren, Í.,
Zumáraga, M. (2014). Cepa de Saccharomyces cerevisiae y su uso para la producción de bebidas alcohólicas.
GUSERBIOT S.L.U. (100.0%) Polígono Industrial Jundiz C/Jundiz, 26 01015
Vitoria, Araba-Álava, ES, 2 525 343, 26, pp. 7-9.

Alcívar, A., Barreiro, J., Navia, J., Velásquez,
S., & Vinces, W. (2019). Obtención de alcohol a partir de la fermentación anaerobia del mosto de uva: artículo de investigación. Revista Científica

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Septiembre, 2023

Multidisciplinaria Arbitrada Yachasun - ISSN: 2697-3456, 3(5), 1-7, pp. 4-6. https://doi.org/10.46296/yc.v3i5.0015

Burini, J. A., Eizaguirre, J. I., Loviso, C., & Libkind, D. (2021). Levaduras no convencionales como herramientas de innovación y diferenciación en la producción de cerveza. Revista Argentina de Microbiología, 53(4), 359-377.

Cubillos, F. A., Gibson, B., Grijalva-Vallejos, N., Krogerus, K., & Nikulin, J. (2019). Bioprospecting for brewers: Exploiting natural diversity for naturally diverse beers. Yeast, 36(6), 383-398

Miranda, et. al. (2014) Aislamiento, selección
e identificación de levaduras

Saccharomyces sp. nativas de viñedos en
Querétaro, México. Querétaro:
Agrociencia, pp. 759-772.

Ortíz, et. al. (2015). Potencial enológico de

levaduras no-*Saccharomyces* nativas de viñedos establecidos en Querétaro, México. Querétaro: Agrociencia, pp. 169-182.

Pérez Olvera, P. (2018). Caracterización de levaduras nativas para la elaboración de sidra espumosa. Instituto Tecnológico de Oaxaca, pp. 49-67.

Schuller, D. & Casal, M. (2006) Utilización de cepas genéticamente modificadas de Saccharomyces cerevisiae en enología Revista internet de viticultura y enología, 4(2), p. 7.

Segura - García, L. E., Taillandier, P., Brandam, C., & Gschaedler, A. (2015).

Fermentative capacity of Saccharomyces and non-Saccharomyces in agave juice and semi-synthetic medium. LWT-Food Science and Technology, 60(1), 284-291

Contribución al Conocimiento Científico y Tecnológico en Oaxaca

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Septiembre, 2023

Artículo

CARACTERIZACIÓN MICROBIOLÓGICA DEL PROCESO DE

PRODUCCIÓN DEL MEZCAL ARTESANAL DE UNA VINATA DE

DURANGO

Arenivas Villa, Deissy Elizabeth¹, Ávila Reyes, José Antonio¹, Salazar Palacios, Diana

Laura²

¹Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo

Integral Regional (CIIDIR-IPN-DURANGO). Calle Sigma No. 119, Fracc. 20 de noviembre,

C.P 34220, Durango, Durango.

²Universidad Politécnica de Gómez Palacio, Carr. El Vergel, La Torreña Km. 0820.

Localidad El Vergel, C.P. 34220, Gómez Palacio. Durango.

Autor de correspondencia: ellizabetharenivas@gmail.com

Recibido: 21 de julio de 2023

Aceptado: 09 de septiembre de 2023

Publicado en línea: 25 de septiembre de 2023

Resumen

El mezcal es definido como un destilado obtenido a partir de piñas fermentadas de agaves

previamente cocidas. Su calidad y peculiaridad está determinada por una serie de factores,

entre los cuales se pueden mencionar: la especie de Agave utilizado, el proceso de

elaboración, la graduación alcohólica, el clima y los microorganismos involucrados. De este

último, la mayoría de los procesos de fermentación se llevan de manera espontánea y pocos

estudios se han realizado con respecto a su composición. En el Estado de Durango se han

registrado estudios tanto dependientes como independientes de cultivos para evaluar la

Contribución al Conocimiento Científico y Tecnológico en Oaxaca

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

composición microbiana en el proceso de fermentación. Sin embargo, para la entidad no se

tienen reportes del uso de herramientas de secuenciación de nueva generación para este

proceso. En el presente estudio se realizó un análisis metagenómico para identificar el perfil

microbiano en una vinata del municipio de Nombre de Dios. La muestra se secuenció en la

plataforma Illumina miseq500, obteniéndose más de 1,000,000 de lecturas, empleando el gen

ITS4 para levaduras y el gen 16s rDNA para bacterias. Se identificaron levaduras de los

géneros Torulaspora (41.61 %), Saccharomyces (26.14 %), Cladosporium (4.47 %),

Kluyveromyces (4.01 %) y bacterias de los géneros Lactobacillus (28.75 %), Oenococcus

(16.24 %). La diversidad microbiana del mosto fermentado de Agave durangensis de una

vinata de Durango mostró una diversidad de microorganismos asociados a la producción de

compuestos volátiles. Es el primer reporte del uso de una herramienta de secuenciación

masiva para la caracterización de mostos fermentados en el proceso de producción de mezcal

para el Estado.

Palabras clave: Bacterias, Levaduras, Mezcal artesanal, Secuenciación.

Abstract

The mezcal is defined as a distillate obtained from previously cooked agave fermented

pineapples. Its quality and peculiarity are determined by a series of factors, among which we

can mention: the Agave species of used, the elaboration process, the alcoholic graduation, the

climate, and the microorganisms involved. Of the latter, most of the fermentation processes

are carried out spontaneously and few studies have been carried out regarding its

composition. In the State of Durango, both dependent and independent studies of cultures

have been registered to evaluate the microbial composition in the fermentation process.

However, for entity there are no reports of the use of new generation sequencing tools for

Contribución al Conocimiento Científico y Tecnológico en Oaxaca

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

this process. In the present study, a metagenomic analysis was carried out to identify the

microbial profile in a vinata from the municipality of Nombre de Dios. The sample was

sequenced on an Illumina miseq500 platform, obtaining more than 1,000,000 readings, using

the ITS4 gene for yeast and the 16s rDNA gene for bacteria. Yeast of the genera Torulaspora

(41.61%), Saccharomyces (26.14 %), Cladosporium (4.47%), Kluyveromyces (4.01 %) and

bacteria of the genera Lactobacillus (28.75%), Oenococcus (16.24 %) were identified. The

microbial diversity of the fermented must of Agave durangensis from a Durango vinata

showed a diversity of microorganisms associated with the production of volatile compounds,

both Saccharomyces and Saccharomyces types. It is the first report of the use of a massive

sequencing tool for the characterization of fermented musts in the mezcal production process

for the State.

Key words: Artisanal mezcal, Bacteria, Sequencing, Yeast.

Introducción

Los procesos de producción de las bebidas

alcohólicas son impulsados por consorcios

microbianos, que interactúan con el medio

a fermentar definiendo la seguridad de las

fermentaciones características

organolépticas del producto final (Sánchez

et al., 2020).

El proceso de elaboración del mezcal

artesanal es una ruta bioquímica que se

define a partir de las especies de Agave

prácticas de producción, las condiciones climáticas regionales y la biodiversidad microbiológica involucrada procesos de elaboración que difieren de una región a otra (Torres-Velázquez et al.,

materia prima,

2022).

utilizadas como

La mayoría de los procesos

fermentación para la producción de mezcal

son espontáneos, sin la necesidad de

agregar inoculo, de tal manera que sus

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Septiembre, 2023

interacciones puedan ser equilibradas, sin alterar o disminuir la concentración de otros compuestos químicos o generar compuestos secundarios no deseados que puedan influir en la calidad sensorial del producto (Gómez-Zamora et al., 2016; Sánchez-Gema et al., 2020).

Algunos estudios han obtenido evidencia de Saccharomyces que cerevisiae, Kluyveromyces marxianus y Torulaspora delbrueckii, son las principales especies de levaduras más comunes en los procesos de fermentación del mezcal y el tequila, mientras Pichia kluyvery, que Zygosaccharomyces bailii, Clavispora lusitaniae. Candida etanolica, Saccharomyces exiguous, Candida diversa. Pichia fermentans y Hanseniaspora guilliermondii, son microorganismos que solo se encuentran presentes dependiendo del área geográfica de producción (Nolasco-Cancino et al., 2018).

Es por esto por lo que el objetivo del presente estudio fue identificar el perfil microbiano a partir de material metagenómico de una vinata de Durango empleando herramientas de secuenciación masiva.

Materiales y métodos

Colecta de material y extracción de ADN metagenómico

La recolección de la muestra del mosto fermentado de *Agave durangensis* fue realizada en una vinata del municipio de Nombre de Dios, Durango. La toma de la muestra se realizó en el tercer día de fermentación, se tomaron 50 ml de líquido de la parte media del mosto en fermentación, se almacenó a –80 °C para su conservación hasta su uso.

El proceso de extracción del material genético se realizó mediante una extracción líquido-líquido del mosto de fermentación, empleando el método de



Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Septiembre, 2023

Rojas-Herrera et al. (2008) con algunas modificaciones.

La extracción se realizó, empleando 1 mL de muestra líquida, que se dejó incubando previamente un día a 37 °C. Se agregó 1 mL de buffer TEN (100 mM Tris-HCL, 50 mM EDTA, 500 mM NaCl, pH 8.0) y se agitó en vórtex por un 1 min, después se centrifugó a 10,000 g por 10 min a temperatura ambiente. El precipitado se lavó por segunda vez bajo las mismas condiciones, después sé resuspendió en 1 mL de buffer TEN al cual se le añadió 0.2 mg/mL de lisozima. Se dejó incubar por 1 h a 37 °C en baño maría con agitación suave cada cinco min. Después de la incubación, se realizaron tres ciclos de congelación por 10 min y descongelación por 5 min a 65 °C. Posteriormente, se añadió una alícuota de 100 µl de SDS al 20 % y se agitó en vórtex durante 1 min. Se incubó nuevamente durante 30 min a temperatura ambiente y se centrifugó durante 10 min a 10,000 g a 4 °C, el

sobrenadante fue transferido a un nuevo tubo Eppendorf, se añadió 500 μl de acetato de potasio 5 M. En seguida fue incubado a 65 °C durante 5 min, y se congeló durante otros 20 min más, después se centrifugó a 20, 000 g por 30 min a 4 °C. El sobrenadante fue transferido a un nuevo tubo donde se le añadieron 200 μl de Sílice y se dejó incubar a temperatura ambiente durante 3 min con agitación suave, después se recuperó el Sílice-ADN mediante centrifugación a 16,000 g por 2 min a temperatura ambiente.

Posteriormente, el precipitado fue lavado dos veces añadiendo 1 mL de etanol al 70 %, luego se centrifugó a 10, 000 g por 2 min a 4 °C, y se dejaron reposar las muestras de ADN en la estufa hasta el día siguiente. El ADN fue diluido de la Sílice con 100 µl de agua estéril y se incubó a 55 °C por 5 min, finalmente el ADN se recuperó mediante centrifugación a 16,000 g por 5 min a temperatura ambiente y el

Contribución al Conocimiento Científico y Tecnológico en Oaxaca

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Septiembre, 2023

sobrenadante fue transferido a un nuevo microtubo de centrífuga.

Las muestras de ADN obtenidas fueron enviadas a la Unidad Universitaria de Secuenciación Masiva y Bioinformática UUSMB de la UNAM donde se usaron las regiones 16S RNA V3-V4 para la identificación de bacterias y la región ITS 1-4 para la identificación de hongos y levaduras. Las librerías fueron creadas de acuerdo con los protocolos establecidos por la UUSMB para la plataforma Illumina miseq 500, en donde se corrieron con un arreglo de 2 x 300 pb. Las muestras fueron evaluadas a partir de la plataforma digital One Codex (https://www.onecodex.com/).

Resultados y discusión

Se obtuvieron 901,618 lecturas para el gen ITS1 para la identificación de hongos y levaduras y 193,200 lecturas para el gen 16S para la identificación de bacterias. Se empleó la plataforma digital onecodex

para la identificación y clasificación taxonómica de los géneros y especies encontrados usando el método de loci dirigido. Se pudo observar la presencia de 10 géneros principales de levaduras, entre los que destacan, Torulaspora (41.61 %), Saccharomyces (26.14 %), Cladosporium (4.47 %) y Kluyveromyces (4.01 %) (Figura 1). A pesar de contar con más de 900 mil lecturas, solamente el 1 % fue posible clasificarse. Estos resultados concuerdan completamente por reportados por Adame-Soto et al. (2019), en donde se identificaron estos mismos géneros como los más abundantes. Sin embargo, el método para su identificación no coincide sobre cuál es el género más abundante.

No obstante, de acuerdo con Páez-Lerma et al. (2013), coincide donde el género *Torulaspora*, se encuentra en mayor proporción que el género *Saccharomyces*.

Septiembre, 2023

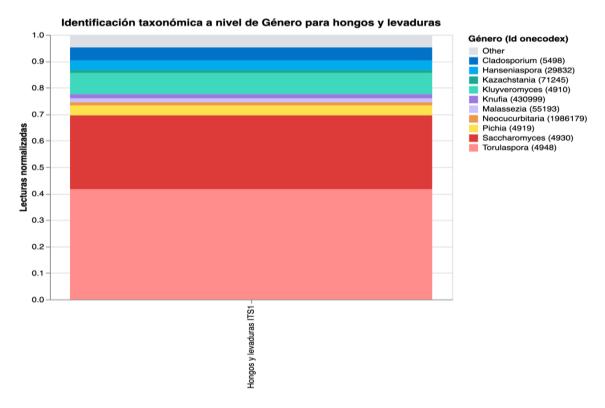


Figura 1. Asignación taxonómica a nivel género de hongos y levaduras expresadas en valores de lecturas normalizadas a partir de datos metagenómicos de mosto fermentado de *Agave durangensis*.

El potencial del uso de herramientas de secuenciación de alto rendimiento permitió identificar la presencia de *Malassezia*, el cual está asociado en la formación de cierto tipo de ácidos, y con la presencia de aminoácidos y productos con presencia de Nitrógeno (Liu et al., 2023). La presencia de especies del género *Torulaspora*, se han reportado como agentes importantes en el proceso de fermentación de mezcal. Aumentando los

niveles de enzimas β- fructofuranosidasas con actividad fructitransferasa, además de presentar niveles altos de fenil acetato, un compuesto aromático con gran valor en la industria biotecnológica (De la Torre-González et al., 2020). La presencia de especies de los géneros *Saccharomyces* y *Torulaspora* han demostrado favorecer mostos fermentados en la producción de

Septiembre, 2023

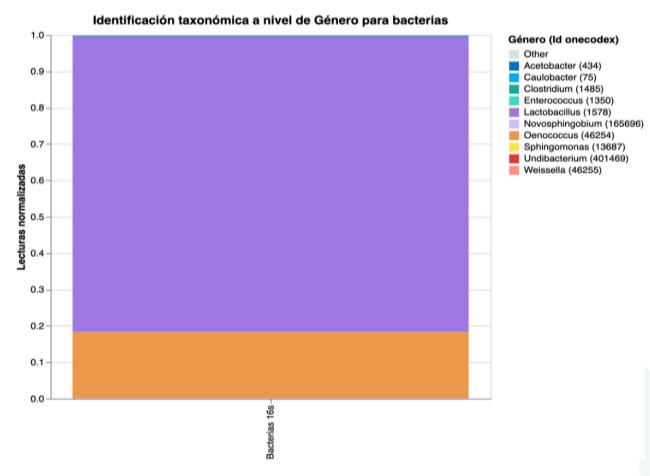


Figura 2. Asignación taxonómica a nivel género de bacterias expresadas en valores de lecturas normalizadas a partir de datos metagenómicos de mosto fermentado de *Agave durangensis*.

mezcal balanceados aromáticamente (Fernandes et al., 2021).

La importancia del uso de estas herramientas recae en la fiabilidad de sus resultados y en la rapidez para su interpretación, lo cual favorecerá los estudios donde se pueda identificar el potencial funcional de las comunidades microbianas.

Por su parte, las bacterias tuvieron cerca del 90 % de clasificación bajo la misma metodología empleada, observándose una mayor proporción de los géneros: Lactobacillus (28.75 %) y Oenococcus (16.24 %). Esto coincide con lo reportado por Torres-Velázquez et al. (2022), en donde encontraron la presencia de bacterias del género Lactobacillus (Figura

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Septiembre, 2023

2). En donde este último trabajo se realizó empleando una prueba independiente de cultivo, al igual que nuestro presente estudio. Así mismo, se logró identificar la ácido-láctica bacteria **Oenococcus** alcoholitolerans cuyo género se ha reportado por su participación en la producción de etanol en distintos sitios (Torres-Guardado et al., 2022). La identificación de estos microorganismos a partir de análisis metagenómico nos permitirá identificar una mayor cantidad de organismos y un grado de identificación más completo.

Conclusiones

Los estudios metagenómicos nos permiten la identificación de bacterias y levaduras a partir de muestras complejas. La presencia de elementos contraproducentes es un motivo para su consideración. Sin embargo, es necesario complementar este tipo de estudios con análisis metabólicos para así asociar la presencia de ciertos

microorganismos con la peculiaridad del producto final en cada sitio de producción. La identificación de géneros de levaduras como el *Malassezia* sirve de referencia sobre el potencial de identificación de las técnicas de secuenciación masiva. Ya que este último no se había reportado previamente para procesos fermentativos en la producción de mezcal del Estado de Durango.

Referencias

Adame-Soto, P. J., Aréchiga-Carvajal, E.

T., López, M. G., González-Herrera, S.

M., Moreno-Jiménez, M. R., UrtizEstrada, N., & Rutiaga-Quiñones, O.

M. (2019). Potential production of 2phenylethanol and 2phenylethylacetate by nonSaccharomyces yeasts from Agave
durangensis. *Annals of Microbiology*, 69 (9), 989-1000.

De la Torre-González, FJ; Narváez-Zapata, JA; Tailandier, P. Larralde-

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Septiembre, 2023

Corona, CP. (2020). El mezcal como nueva fuente de inóculo de levaduras mixtas para la fermentación del vino. *Procesos* 8, 1296.https://doi.org/10.3390/pr810129 6.

Fernandes, T., Silva-Sousa, F., Pereira, F., Rito, T., Soares, P., Franco-Duarte, R., & Sousa, M. J. (2021).

Biotechnological importance of Torulaspora delbrueckii: From the obscurity to the spotlight. *Journal of Fungi*, 7 (9), 712.

Gómez-Zamora, O., De Jesús-Fuentes, K., Peñafiel-López, F., y Tovar-Hernández, P. (2016). Perfil químico y organoléptico de los compuestos volátiles del mezcal. En *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 1(1), 916-923.

Liu, Y., Li, H., Dong, S., Zhou, Z., Zhan.
g, Z., Huang, R., ... y Pan, C. (2023).

Dynamic changes and correlations of microbial communities.

physicochemical properties, and volatile metabolites during Daqu fermentation of Taorong-type Baijiu. *LWT*, *173* (114290),0023-6438. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.1142 90.

Nolasco-Cancino, H., Santiago-Urbina, J.

A., Wacher, C., & Ruíz-Terán, F.

(2018). Predominant Yeasts During

Artisanal Mezcal Fermentation and

Their Capacity to Ferment Maguey

Juice. Frontiers in microbiology, 9,

2900.

https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.02 900.

Páez-Lerma, Jesús B., Arias-García, Armando., Rutiaga-Quiñones, Olga M., Barrio, Eladio., y Soto-Cruz, Nicolás O. (2013). Levaduras aisladas de la fermentación alcohólica de *Agave duranguensis* durante la producción de mezcal, Biotecnología de alimentos, 27 (4), 342-356.

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Septiembre, 2023

Rojas-Herrera, R., Narváez-Zapata, J., Zamudio-Maya, M., & Mena-Martínez, M. E. (2008). A simple silica-based method metagenomic **DNA** extraction from soil and sediments. Molecular biotechnology, 40 (1),13–17. https://doi.org/10.1007/s12033-008-9061-8.

Sánchez-Gema, D., Román Justo, N. Y., Méndez-Patiño, M., Ibarra-Benítez, G., Ramírez Peralta, A., & Vargas-Álvarez, D. (2020). Aislamiento y eficiencia de levaduras nativas de tinas fermentadoras para maguey (Agave cupreata Berger). Agro Trel. у; Productividad, 13 (3). https://doi.org/10.32854/agrop.vi.1639.

Torres-Guardado, R., Esteve-Zarzoso, B., Reguant, C., y; Bordons, A. (2022).

Microbial interactions in alcoholic beverages. International

Microbiology, 25 (1), 1-15.

Torres-Velázquez, Diana S., Rojas-Contreras, Juan A., Soto-Cruz, Nicolás O., Urtiz-Estrada, Norma, López-Miranda, Javier, Kirchmayr, Manuel R., Páez-Lerma, В. Jesús (2022). Monitoreo de la población bacteriana durante la fermentación alcohólica del mezcal en Durango por la DGGE. Revista internacional de agricultura recursos naturales, 49 (2), 112-122.

Contribución al Conocimiento Científico y Tecnológico en Oaxaca

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Artículo

EFECTO DE LA FECHA DE COLECTA SOBRE LA CALIDAD

FÍSICA Y FISIOLÓGICA DE SEMILLAS DE AGAVE CENIZO (Agave

durangensis Gentry)

Cruz Cárdenas, Carlos Iván¹, Santos Lavalle, Rodolfo², Calvillo Aguilar, Francisco Fabián¹,

Islas Moreno, Asael³

¹Laboratorio de Semillas Ortodoxas, Centro Nacional de Recursos Genéticos, Instituto

Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.

²Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, Av.

Normalistas N°800, Colinas de La Normal, C. P. 44270 Guadalajara, Jalisco, México.

³Instituto de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo,

Avenida Universidad Km. 1 s/n Exhacienda Aquetzalpa, Tulancingo de Bravo, Hidalgo,

México.

Autor de correspondencia: rsantos@ciestaam.edu.mx

Recibido: 21 de julio de 2023

Aceptado: 09 de septiembre de 2023

Publicado en línea: 25 de septiembre de 2023

Resumen

La explotación irracional del agave conlleva, entre otras cosas, a la pérdida de la diversidad

genética y a la extinción de algunas especies. Las estrategias de recolección y conservación

de semillas de agaves aseguran la disponibilidad de germoplasma para el futuro. El objetivo

de esta investigación fue evaluar la relación entre la fecha de recolecta y la calidad de semillas

de Agave durangensis. En el poblado de Cieneguilla, Poanas, Durango se recolectaron

Contribución al Conocimiento Científico y Tecnológico en Oaxaca

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

semillas de A. durangensis, de 9 años, en los meses de octubre y diciembre de 2022 y en abril

de 2023. La calidad física y fisiológica de las semillas fue evaluada con los parámetros: peso

de 1000 semillas, integridad física mediante la técnica de rayos X, tasa de germinación y

velocidad de germinación. Las 1000 semillas recolectadas en abril tuvieron un peso de 8.94

g; mientras que las colectadas en octubre y diciembre pesaron 7.89 y 7.64 g, respectivamente.

Las semillas de las tres fechas de colecta mostraron 100 % de integridad física en el análisis

de rayos X. Las semillas recolectadas en octubre y abril germinaron en 98 y 96 % a 15 días

después de la siembra; y las de diciembre en 88 %. El 96 % de las semillas de abril emergieron

a los 10 días; las de octubre a los 13 días y las de diciembre nunca alcanzaron ese porcentaje

de germinación. Se concluye que la fecha de colecta influye en la calidad de las semillas y

las recolectadas en abril presentan los mejores parámetros.

Palabras clave: Agaves, Calidad, Conservación, Germoplasma vegetal, Sostenibilidad.

Abstract

The irrational exploitation of the agave leads, among other things, to the loss of genetic

diversity and the extinction of some species. Agave seed collection and conservation

strategies ensure germplasm availability for the future. The objective of this research was to

evaluate the relationship between the date of collection and the quality of Agave durangensis

seeds. In the town of Cieneguilla, Poanas, Durango, 9-year-old A. durangensis seeds were

collected in the months of October and December 2022 and in April 2023. The physical and

physiological quality of the seeds was evaluated with the parameters: weight of 1000 seeds,

physical integrity through the X-ray technique, germination rate and germination speed. The

1000 seeds collected in April had a weight of 8.94 g; while those collected in October and

December weighed 7.89 and 7.64 g, respectively. The seeds of the three collection dates

Contribución al Conocimiento Científico y Tecnológico en Oaxaca

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Septiembre, 2023

showed 100 % physical integrity in the X-ray analysis. The seeds collected in October and April germinated 98 and 96 % 15 days after sowing; and those of December 88 %. Meanwhile 96 % of the April seeds emerged after 10 days; those of October at 13 days and those of December never reached that percentage of germination. It is concluded that the collection date influences the quality of the seeds and those collected in April present the best parameters.

Keywords: Agaves, Conservation, Plant germplasm, Quality, Sustainability.

Introducción

México es conocido por sus altos niveles de biodiversidad, y los agaves o magueyes son un ejemplo muy importante de ello. El género Agave es endémico del continente americano, principalmente de las zonas áridas y semiáridas de México. Existen aproximadamente 200 especies de agave, de las cuales 166 se distribuyen en México y 119 son endémicas (García-Mendoza et al., 2017). La suculencia y rigidez de sus hojas que permite el almacenamiento de agua, el eficiente sistema de absorción de humedad a lo largo de sus raíces y la limitada pérdida de agua por transpiración, son algunas de las adaptaciones que

poseen los agaves para poder vivir en ecosistemas secos (García-Mendoza et al., 2019). Gracias a estas características morfológicas y fisiológicas los agaves viven en una gran variedad de ambientes y se ha ampliado su distribución geográfica (Figueredo-Urbina et al., 2021). Sumado a esto, los agaves cuentan con mecanismos fisiológicos que permiten que la semilla persista y germine en el momento que tiene las condiciones adecuadas (Peralta Reyes et al., 2023).

El agave cenizo, como se conoce a la especie *Agave durangensis*, crece en las regiones áridas del país principalmente en el estado de Durango (Loera-Gallegos et

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Septiembre, 2023

al., 2018). Para una importante cantidad de familias de entidad esta aprovechamiento de esta especie de agave representa la única alternativa económica para su sustento. Es frecuente que las personas que utilizan esta especie no tengan acceso a la información técnica necesaria realizar para aprovechamiento racional, planeado y sustentable como lo marca la NOM-007-SEMARNAT-1997. Esta situación representa amenaza la una para sobrevivencia y persistencia del agave cenizo. Un aspecto relevante sobre el que se carece de conocimiento es el efecto que tiene la fecha de recolecta de las semillas sobre las características fisiológicas de germinación velocidad de la germinación. Este trabajo tiene como objetivo evaluar dicho efecto identificar si existe alguna época idónea para recolectar la semilla y con ello tener una mayor tasa de germinación.

Materiales v Métodos

Las semillas examinadas en este estudio fueron recolectadas de plantas de A. durangensis de 9 años, en el poblado de Cieneguilla, Poanas, Durango. recolecta se realizó en tres fechas: octubre y diciembre de 2022 y abril de 2023, en cada una fueron utilizadas cinco plantas. La recolección de semillas fue obtenida en un tipo de vegetación matorral xerófilo a una altitud de 1941 m.s.n.m en un clima semiárido. Después de la recolecta, las semillas se almacenaron a 4°C en bolsas de papel cubiertas con una bolsa plástica. Las semillas recolectadas en campo pasaron por un análisis de pureza donde las semillas fueron sometidas a un proceso de soplado y eliminación de cualquier impureza, semillas vacías o semillas dañadas. Del total de semillas se tomó una muestra para proceder con el análisis de las variables. Por fecha de colecta se evaluaron los parámetros: peso de 1000 semillas, integridad física mediante la

Septiembre, 2023

técnica de rayos X y tasa de germinación mediante el método sobre papel propuesto por Calvillo et al. (2023).

La evaluación de la integridad física de las semillas se realizó mediante rayos X, se utilizó Sistema de Radiografía (Faxitron X-Ray MX-20, USA) a 18 kV (Calvillo et al. 2023). Por cada fecha de muestreo se formaron cuatro grupos de 25 semillas; cada grupo se pasó por el sistema de radiografía durante 10 segundos para observar daños físicos en el exterior e interior de la semilla (Calvillo et al., 2023). Para la prueba de germinación, también se emplearon cuatro réplicas de 25 semillas por cada fecha de colecta. Durante 15 días, en un cuarto de germinación, las semillas fueron colocadas sobre lamitas de papel humedecido a capacidad de campo dentro de cajas de acrílico a una temperatura de 25-27 °C, con un fotoperiodo de 16 horas luz 8 horas oscuridad con una HR. del 70 ± 10 %; todos estos parámetros controlados dentro de una cámara de germinación Seedburo Microprocessor Germinator ®.

Una vez realizadas las evaluaciones, se calcularon la normalidad y la homocedasticidad de los datos, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) y una comparación de medias mediante Tukey con un error de 0.05. Las pruebas

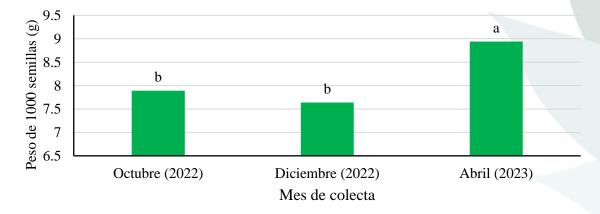


Figura 1. Peso de 1000 semillas de *Agave durangensis* de diferentes fechas de colecta. Prueba de comparación de medias Tukey con α =0.05. Literales diferentes indican diferencias estadísticas.

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Septiembre, 2023

estadísticas se realizaron utilizando el software SAS 9.4 [®].

Resultados y Discusión

Peso de 1000 semillas: Las semillas colectadas en abril presentan un peso significativamente mayor que las colectadas en octubre y diciembre (Figura 1). Esto se puede deber a que las plantas de agave durante la época de frío (octubretienden marzo) acumular fructooligosacáridos (FOS) otros metabolitos derivados del estrés por frío (Ángeles-Espino et al., 2020), los cuales en la mayoría de los casos cumplen la función de almacén de energía para la planta. Si las plantas se encuentran

produciendo semillas, probablemente dichos compuestos están pasando a ser parte de la reserva de carbohidratos en los cotiledones y esto resulta en un mayor peso de la semilla (Thakur et al. 2020).

Integridad física: Las semillas de las tres fechas de recolecta mostraron un 100 % de integridad física en la prueba con rayos X (Figura 2), lo cual indica que se carece de daños o anormalidades en la estructura interna y externa. Este resultado se puede deber a que Agave durangensis aún es una especie de agave de recolección y no de explotación intensiva. Por lo tanto, su reproducción sexual natural aún no presenta problemas ni anormalidades y produce semilla de buena calidad física.

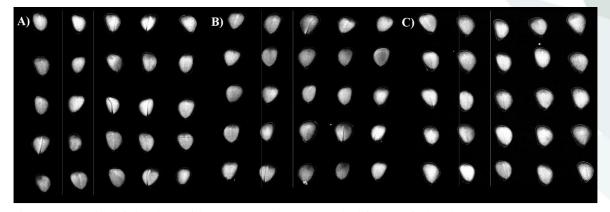


Figura 2. Integridad física de semillas de *Agave durangensis* de diferentes fechas de colecta. A) octubre 2022, B) diciembre 2022 y C) abril 2023.

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Septiembre, 2023

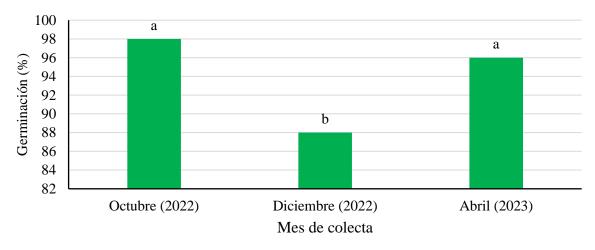


Figura 3. Germinación de *Agave durangensis* de diferentes fechas de colecta. Prueba de comparación de medias Tukey con α=0.05. Literales diferentes indican diferencias estadísticas.

Tasa de germinación y velocidad de germinación: En cuanto a la tasa, la mejor respuesta se obtuvo en los meses de octubre y abril con 98 y 96 % de germinación, respectivamente, a los 15 días del establecimiento del experimento (Figura 3). En cambio, para el mes de diciembre la germinación fue de apenas 88 %. La diferencia en la tasa de germinación puede deberse a que un mayor estrés por frío en el mes de diciembre podría generar algún tipo de latencia secundaria que induce la acumulación de carbohidratos (Ángeles-Espino et al., 2020). Entonces, la germinación de las semillas disminuye no

por baja viabilidad sino por latencia. Esto tiene aún más sentido al observar que las semillas de abril presentaron germinaciones elevadas (96 %) y también velocidades de germinación más elevadas que los meses de octubre y diciembre. Para el día cinco después de establecer el experimento, ya había germinado el 56 % de las semillas recolectadas en abril, mientras que las semillas recolectadas en diciembre fueron las que presentaron la menor velocidad de germinación al

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Septiembre, 2023

alcanzarse el 56 % de germinación hasta el día 11 (Figura 4).

energéticas en las semillas y es posible alcanzar una alta germinación.

Conclusiones

El estudio revela que le fecha de colecta influye en la calidad de las semillas de Agave durangensis. Abril resulta un mes más adecuado para realizar recolecciones en comparación con octubre y diciembre, pues las semillas alcanzan mayores tasas y velocidades de germinación. Asimismo, el peso de 1000 semillas es una variable que podría ser empleada para asumir que existe una buena acumulación de reservas

Agradecimientos

proyecto fiscal del **INIFAP** "CARACTERIZACIÓN Y CONSERVACIÓN DE **PARIENTES SILVESTRES** DE **AGAVES** TEQUILEROS Y MEZCALEROS" con No. **SIGI** 1003134858, el por financiamiento de la investigación.

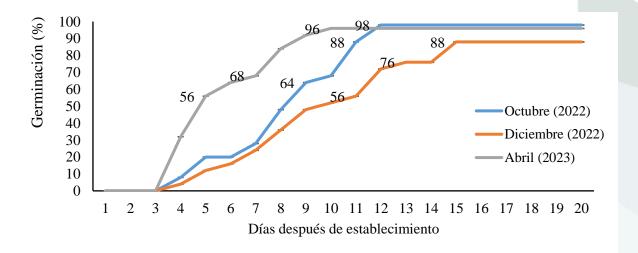


Figura 4. Curso temporal de velocidad de emergencia en semillas de *Agave durangensis* de diferentes fechas de colecta.

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Septiembre, 2023

Referencias

Ángeles-Espino, A., Dimas-Estrada, H. E., Ramírez-Alvarado, D., Cruz-Rubio, J. M., Palmeros-Suárez, P. A., y Gómez-Leyva, J. F. (2020). Caracterización molecular de mutantes de Agave tequilana inducidas con radiación gamma Co60 y su efecto en la acumulación de fructooligosacáridos. Acta universitaria, 30. e2696. https://doi.org/10.15174/au.2020.2696 Calvillo-Aguilar, F. F., Cruz-Cárdenas, C. I., Chávez-Díaz, I. F., Sandoval-Ruiz-Ramírez, Cancino. G., Bautista-Ramírez, E. y Zelaya-Molina, L. X. (2023). Germination test for the evaluation of plant-growth promoting microorganisms. Journal of 207. Microbiological *Methods*, 106708.

Figueredo-Urbina, C. J., Álvarez-Ríos, G. D., García-Montes, M. A., y Octavio-Aguilar, P. (2021). Morphological and genetic diversity of traditional varieties

of agave in Hidalgo State, Mexico. *PLoS ONE*, *16*(7): e0254376. https://doi.org/10.1371/journal.pone.02 54376.

García-Mendoza, A., Nieto-Sotelo, J., Sánchez-Teyer, L., Tapia, E., Gómez-Leyva, J., y Tamayo-Ordoñez, M. C. AGARED—Red (2017).Temática Mexicana Aprovechamiento Integral Sustentable y Biotecnología de los Agaves. Panorama del Aprovechamiento de los Agaves en Guadalajara, México. México: CONACYT, CIATEJ, AGARED.

García-Mendoza, A. J., Franco Martínez,
I. S., y Sandoval Gutiérrez, D. (2019).
Cuatro especies nuevas de Agave
(Asparagaceae Agavoideae) del sur de
México. Acta Botánica Mexicana, 126,
1-18.

Loera-Gallegos, H. M., Corral-Rivas, J. J.,

Montiel-Antuna, E., Solís-Moreno, R.,

Chávez-Simental, J. A., y González
Cervantes, G. (2018). Calidad de sitio

Contribución al Conocimiento Científico y Tecnológico en Oaxaca

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Septiembre, 2023

para *Agave durangensis Gentry* en la Sierra de Registrillo, Durango. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(6), 1171-1180.

https://doi.org/10.29312/remexca.v9i6.

Norma Oficial Mexicana. (NOM-007-SEMARNAT- 1997). Diario Oficial de la Federación. México. 23 de octubre de 1995. 8 p.

Peralta-Reyes, O. U., Velasco-Velasco, V.

A., Ruíz-Luna, J., Enríquez-Del Valle,
J. R., y Díaz-Santiago, M. M. (2023).

Evaluación del proceso de germinación de cinco especies de agaves. *Revista Mexicana de Agroecosistemas, X* (S1): 27.

Thakur, A., Sharma, K. D., Siddique, K.
H., y Nayyar, H. (2020). Cold priming the chickpea seeds imparts reproductive cold tolerance by reprogramming the turnover of carbohydrates, osmoprotectants and redox components in leaves. *Scientia Horticulturae*, 261, 108929.

Contribución al Conocimiento Científico y Tecnológico en Oaxaca

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Septiembre, 2023

Artículo

PROYECTO MAGUEY: RESCATE, MULTIPLICACIÓN Y

APROVECHAMIENTO DE AGAVES SILVESTRES PARA

PRODUCCIÓN DE MEZCAL, EN OAXACA.

Morales Gervacio, Leonardo¹, Bernabé Martínez, Rubén²

¹Unión Zapata 42.5 S.A.P.I. de C.V. del Grupo Los Danzantes, Carretera Internacional Km.

42.5 Unión Zapata, San Pablo Villad de Mitla, Oaxaca, México, C.P. 70430, Teléfono 951

515 2335 Ext. 110, 9512928413,

²AG Ambiente & Desarrollo S.A. de C.V., 1a Avenida Norte Poniente N° 553, Colonia

Centro, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México, C.P. 29000, Teléfono: 961 614 1232.

Autor de correspondencia: rbernabe63@gmail.com, leonardo.morales@losdanzantes.com

Recibido: 22 de julio de 2023

Aceptado: 09 de septiembre de 2023

Publicado en línea: 25 de septiembre de 2023

Resumen

El aprovechamiento de diversas especies silvestres de maguey para cubrir la demanda de la

industria productora de mezcal, en conjunto con su limitada eficiencia reproductiva por vía

sexual, ha generado una importante presión para su sobrevivencia. En 2014, Destilería Los

Danzantes inició investigaciones sobre las especies de agave silvestres utilizadas en la

elaboración de mezcal, algunas en peligro de extinción, con el propósito de aplicar la

tecnología de cultivo de tejidos para asegurar su rescate. Los Danzantes participó junto con

el CICY de Yucatán y la UACh, Unidad Oaxaca, en la convocatoria del Programa de

Estímulos a la Innovación (ProInnova), del CONACYT, con el proyecto "Micropropagación

Contribución al Conocimiento Científico y Tecnológico en Oaxaca

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Septiembre, 2023

de Agaves mezcaleros para contrarrestar el desabasto de plantas para la producción de

mezcal en el estado de Oaxaca". Como resultado de esta colaboración tripartita, se colectaron

en una primera etapa ocho especies de maguey silvestres que fueron enviados al CICY para

su reproducción in vitro y una vez multiplicados, se recibieron en la UACh para su

aclimatación y establecimiento en vivero. Al término de 2015 se obtuvieron 100,000 plantas

de maguey mediante ocho líneas clonales de especies silvestres multiplicadas in vitro por el

CICY; se desarrolló un proceso de aclimatación en viveros por parte de la UACh y se

establecieron en campo en parcelas bajo la responsabilidad de Los Danzantes. Actualmente

se cuenta con 20 líneas clonales de especies silvestres reproducidas in vitro (Coyote,

Arroqueño, Mexicano, etc.) y un inventario de 940,000 plantas de maguey con alto potencial

para la producción de mezcal.

Palabras clave: Diversidad, Maguey, Peligro de extinción, Rescate, Sustentabilidad.

Abstract

The use of various wild maguey species to meet the demand of the mezcal production

industry, together with their limited sexual reproductive efficiency, has generated significant

pressure for their survival. In 2014, Los Danzantes Distillery began research on the wild

agave species used in producing mezcal, some in danger of extinction, to apply tissue culture

technology to ensure their rescue. Los Danzantes participated together with the CICY of

Yucatán and the UACh, Oaxaca Unit, in the call for the Innovation Stimulus Program

(ProInnova), of CONACYT, with the project "Micropropagation of Mezcal Agaves to

counteract the shortage of plants for the production of mezcal in the state of Oaxaca." As a

result of this tripartite collaboration, eight species of wild maguey were collected in the first

stage, sent to the CICY for in vitro reproduction, and once multiplied, they were received at

Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca

Contribución al Conocimiento Científico y Tecnológico en Oaxaca

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Septiembre, 2023

the UACh for acclimatization and establishment in the nursery. At the end of the 2015-year, 100,000 maguey plants were obtained through eight clonal lines of wild species multiplied in vitro by the CICY; an acclimatization process was developed in nurseries by the UACh, and they were established in the field in plots under the responsibility of Los Danzantes. Currently, 20 clonal lines of wild species are reproduced in vitro (Coyote, Arroqueño, Mexicano, etc.), and an inventory of 940,000 maguey plants with high potential for producing mezcal is available.

Keywords: Danger of extinction, Diversity, Maguey, Rescue, Sustainability.

Introducción

Elpresente trabajo constituye sistematización del proceso tecnológico desarrollado para lograr el rescate y aprovechamiento de veinte variedades silvestres de maguey mezcalero en el estado de Oaxaca. No constituye en sí mismo una investigación, pero hace el recuento de la participación de tres instituciones involucradas el denominado "Proyecto Maguey", el cual promueve la sustentabilidad mediante la multiplicación, uso y aprovechamiento de material vegetativo proveniente de especies de maguey silvestre.

Unión Zapata 2.5 S.A.P.I. de C.V. (la empresa que opera y cobija a Proyecto Maguey) y Destilería Los Danzantes S.A. de C.V (DLD), son filiales del Grupo Los Danzantes. DLD es una empresa mexicana dedicada a la producción de mezcal artesanal de alta calidad mediante un proceso de producción tradicional con base en distintas variedades de agave de la región de Oaxaca. Como parte de su estrategia de desarrollo tecnológico, la empresa cuenta con una línea de investigación enfocada al estudio del comportamiento en campo y el potencial

Contribución al Conocimiento Científico y Tecnológico en Oaxaca

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Septiembre, 2023

productivo de diferentes variedades de maguey silvestre.

Entre los años 2012 y 2014, se presentó en el estado de Oaxaca un importante desabasto de plantas cultivadas para la producción de mezcal, ya que su largo ciclo preproductivo (5–6 años) y la presión externa por el incremento en la demanda de plántulas de maguey para la producción de tequila, ocasionaron un importante déficit en la disponibilidad de maguey para mezcal. Como materia prima sustituta los productores aumentaron la explotación de especies de maguey silvestres, si bien su ineficiente reproducción sexual limitó su capacidad para cubrir la demanda de la industria mezcalera estatal.

Dada la importancia de la producción de mezcal en el estado de Oaxaca y en el país, así como su valor económico y social, Destilería Los Danzantes presentó al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), a través del Programa de estímulos a la innovación 2014, el

proyecto tecnológico titulado "Micropropagación de Agaves Mezcaleros Contrarrestar elpara Desabasto de Plantas para la Producción de Mezcal en el Estado de Oaxaca". Esta iniciativa se consideró en su momento como la única manera de proteger el germoplasma incrementar productividad de poblaciones las silvestres, empleando materiales seleccionados calidad. por su alta productividad y rápido desarrollo.

El objetivo general del proyecto fue contribuir a la recuperación de especies de agave silvestres de importancia económica, cuya posibilidad de extinción estaba latente. Para ello se propuso utilizar la técnica de micropropagación mediante el cultivo de tejidos y el establecimiento de plantaciones madre a partir de al menos 20 especies silvestres seleccionadas, recuperando una población básica que asegure su conservación y contrarreste el desabasto de las plantas requeridas para la

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Septiembre, 2023

producción de mezcal artesanal en el estado de Oaxaca (UNACh-Destilería Los Danzantes, 2014).

Materiales y métodos

El alcance de los objetivos requirió de la interacción de personal responsable al interior de cada instancia participante: por Destilería Los Danzantes Jaime Muñoz Castillo, Representante Legal y Sten A. Maldonado Svensson, Líder de Proyecto; por el Centro de Investigación Científica de Yucatán A.C., los investigadores Dr. Manuel L. Robert y Dr. Felipe Sánchez y por el Centro Regional Teyer, Universitario Sur de la Universidad Autónoma Chapingo, el M.C. Efraín Paredes Hernández a cargo de la coordinación experimental y de las actividades en campo.

La ejecución del proyecto inició con una primera etapa a lo largo de un periodo de 12 meses, con el objetivo de producir 100,000 plantas de diversos tipos de

agaves mezcaleros para su establecimiento en plantaciones experimentales.

La metodología de reproducción utilizada comprendió tres grandes procesos generales: 1.- Identificación, selección y propagación material vitro del vegetativo, 2.-Aclimatación en invernadero y 3.- Establecimiento en vivero y en campo.

Para el primer proceso se seleccionaron ocho especies bajo criterios comerciales y de conservación. Posteriormente se realizó la colecta y traslado del material vegetativo bajo la metodología desarrollada por el CICY, seleccionando materiales sobresalientes por sus características morfológicas y sanitarias. El CICY realizó la reproducción in vitro de los materiales y muestras seleccionadas e identificadas (ocho líneas clonales iniciales), comprendió que multiplicación, enraizamiento y pre adaptación en su unidad en Mérida, Yuc., finalizando el proceso con el envío de

Contribución al Conocimiento Científico y Tecnológico en Oaxaca

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Septiembre, 2023

"vitroplantas" a la unidad de la UACh en Zimatlán, Oaxaca.

El segundo proceso fue la aclimatación, en donde las plantas recibidas del CICY fueron trasplantadas en charolas v colocadas en condiciones ambientales adecuadas para su desarrollo. Se evitaron cambios drásticos reduciendo al máximo situaciones de estrés por el cambio de ambiente. Este proceso culminó con la adaptación paulatina de la planta hasta su maduración y su posterior envío y transporte a los viveros de Los Danzantes. Para el proceso de establecimiento en viveros, las plantas aclimatadas en los invernaderos de la UACh fueron llevadas a campo a cielo abierto, a fin de ser establecidas en camas de trasplante donde se les proporcionaron las condiciones adecuadas establecimiento para su definitivo en campo. En esta etapa aún se está generando información sobre el comportamiento de las diferentes líneas

clonales hasta su cosecha e industrialización.

Resultados y discusión

Identificación, selección y reproducción in vitro

La selección de material vegetativo se realizó mediante colaboración entre Los Danzantes y la Universidad Autónoma de Chapingo, llevando a cabo colectas en parcelas de productores en la Sierra Sur de Oaxaca. Las colectas presentaron ciertas dificultades por la lejanía y difícil acceso a los sitios de cultivo, además que algunos productores no permitieron la toma de muestras.

Previo a las colectas se definieron criterios para la selección de los agaves a propagar:

(a) especies utilizadas para la producción de mezcal; (b) indicios de sobre explotación y, por lo tanto, de que la especie se encuentra amenazada, y (c) su propagación por vía sexual o vegetativa es muy limitada o poco eficiente.

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Septiembre, 2023

Bajo el protocolo técnico desarrollado por el CICY, se realizó una primera selección material sobresaliente realizando colectas de hijuelos provenientes de plantas de agave vigorosas y sanas, en donde las plantas "madre" se midieron, fotografiaron y geo-referenciaron para comparaciones posteriores. Esta primera colecta se realizó el día 7 de mayo del 2014, en la región de Sola de Vega en predios de las comunidades El Potrero, El Lazo y Gulera, recolectando hijuelos de las especies de agave Arroqueño, Sierra Negra y Coyote. Lo anterior se realizó con acompañamiento del personal de CICY y con la colaboración de los productores que proveían a la empresa de agave Espadín, que es la materia prima para el mezcal Alipús, marca propia de Los Danzantes. Este protocolo fue utilizado también en la segunda colecta de material vegetativo realizada en el mes de junio del 2014, la cual se dirigió hacia la región de Miahuatlán en las Comunidades de La Pila

y San Isidro. Se colectaron hijuelos de los magueyes Sierrudo, Mexicano, Arroqueño, Madrecuiche y Tobasiche respectivamente. En total se realizaron seis viajes de colecta para obtener cantidades variables de los individuos más adecuados para ser cultivados *in vitro* (ver Tabla 1).

Tabla 1. Colecta de material vegetativo.

Nombre común del agave	Nombre científico	Lugar de colecta
Azulín	Agave sp	La Pila Miahuatlán
Arroqueño	Agave americana L. var. americana	El potrero, Sola de vega San Isidro Ghishe, Amatlán
Mexicano Penca larga	Agave sp	El potrero, Sola de vega La Pila Miahuatlán
Mexicano verde	Agave sp	La Pila Miahuatlán
Cincoañero	Agave angustifolia Haw.	Santiago Matatlán
Tobasiche	Agave sp	San Luis Amatlán San Isidro Ghishe, Amatlán
Madrecuishe	Agave sp	San Luis Amatlán San Isidro Ghishe, Amatlán
Sierrudo	Agave sp	San Isidro Ghishe, Amatlán
Sierra negra	Agave americana L. var. oaxacensis Gentry	Gulerá, Sola de Vega La Pila, Miahuatlán
Coyote	Agave americana L	El Lazo, Sola de Vega

Nota: Adaptado de Colecta de material vegetativo, por Paredes Hernández, E., 2015. Proyecto 2083.

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Septiembre, 2023

Micropropagación de agaves mezcaleros para contrarrestar el desabasto de plantas para la producción de mezcal en el estado de Oaxaca por Universidad Autónoma de Chapingo. Informe.

Todos los materiales fueron establecidos *in vitro*, empleando un protocolo generado por el CICY para otros agaves utilizados en la industria tequilera.

Reproducción in vitro

El proceso fue implementado con éxito en todas las especies, pese a las dificultades que presentó la contaminación microbiana inicial en algunos de los materiales vegetativos.

El desarrollo de las líneas clonales, desde su inducción hasta la octava semana en cultivo (27 de mayo 2014), se puede observar en la Figura 1 en donde la A) representa la fase de desinfestación del meristemo, B y C) el corte del mismo para obtener explantes, D) la siembra de los explantes en los medios de cultivo, E) la incubación de los explantes en los cuartos de cultivo, F) con una semana de cultivo,

G) a la segunda semana, H) a la cuarta semana y I) a la octava semana (Sánchez Teyez F., et al, 2015).



Figura 1. Diferentes etapas del proceso de micropropagación de las plantas del lote 1.

Nota: Adaptado de Diferentes etapas del proceso de micropropagación de las plantas del lote 1, por Sánchez Teyer, F. et al, 2015. Micropropagación de Agaves Mezcaleros para Contrarrestar el Desabasto de Plantas para la Producción de Mezcal en el Estado de Oaxaca. Informe Final.

El principal objetivo de la micropropagación es la multiplicación rápida y eficiente de plantas seleccionadas, generando nuevos individuos que son morfológica y funcionalmente idénticos a la planta madre (fenotipo fiel). Para este propósito existen varias opciones, entre las

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Septiembre, 2023

4 48 100 1.08

Fuente: (Sánchez Teyez F., et al, 2015)

Envío de plantas

A principios del mes de marzo del año 2015 se enviaron a Chapingo Sede Oaxaca, el total de 100,000 plantas producto del proceso de multiplicación *in vitro*, cumpliendo así, con el objetivo de entrega de unidades planteadas en el proyecto emitido al CONACYT.

Aclimatación o adaptación ex vitro-Establecimiento de infraestructura para aclimatación y maduración de plantas. El proceso de adaptación ex vitro, consistió en trasplantar las plántulas a charolas con sustrato y adaptadas en invernadero para el fortalecimiento de raíces con controles de humedad y temperatura por un periodo de tres meses. Con este propósito la UACh construyó la infraestructura necesaria que le permitió controlar los factores ambientales, estableciendo un invernadero de 1,000 m² para el proceso de aclimatación y una malla sombra de 500 m² en

que se encuentra el cultivo de meristemos				
seguido por la inducción de brotes				
adventicios; la embriogénesis directa a				
partir de algún tejido somático (hojas o				
tallos), o la embriogénesis indirecta a				
partir de células aisladas. Para el caso de				
Los Danzantes, se seleccionó el primer				
método (cultivo de meristemos), ya que, al				
no perderse la organización celular, los				
nuevos individuos presentan una gran				
estabilidad genética y se puede controlar la				
ocurrencia de infecciones por				
microorganismos.				

En cuanto al porcentaje de supervivencia, se realizaron varias pruebas con muestras pequeñas de cada una de las fases del proyecto con resultados satisfactorios superiores al 95 % de sobrevivencia. (Sánchez Teyez F., et al, 2015).

Tabla 2. Sobrevivencia y emisión de hojas nuevas.

Semana	Sobrevivencia		Emisión
	Número	%	de Hojas Nuevas
1	48	100	0.0
2	48	100	0.60
3	48	100	0.85

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Septiembre, 2023

instalaciones ubicadas en Zimatlán de Álvarez, Oaxaca. Se estableció también una segunda malla de 500 m² en el valle de Tlacolula, en terrenos de la Destilería Los Danzantes.

Con la infraestructura establecida y el proceso denominado "aclimatación", se logró una alta tasa de supervivencia de las plantas micropropagada *in vitro* (ver imágenes a continuación).



Imagen 1. Establecimiento en charolas del material obtenido del laboratorio.

Fuente: Archivo interno.



Imagen 2. Plántulas enraizadas y maduras.

Fuente: Archivo interno.

En resumen, el proceso de aclimatación consistió en pasar a las plántulas a un nuevo microclima controlado y adecuado, paulatinamente, al que se someterán cuando ya cumplan con las características habituales de su especie y puedan adaptarse sin problema al ser trasplantadas a los viveros. Este proceso es necesario para asegurar su supervivencia en el exterior. Mediante este proceso la plántula inicia el proceso de adaptación que dura de 3 a 6 meses, y posteriormente están listas para ser llevadas al vivero.



Imagen 3. Material vegetativo en proceso de aclimatación.

Fuente: Archivo interno.

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Septiembre, 2023

Establecimiento en vivero

Posterior a la fase de aclimatación, las obtuvieron el plantas tamaño características necesarias para su supervivencia en campo en condiciones de vivero. donde alcanzaron las características sanitarias y de tamaño para su posterior establecimiento en campo.



Imagen 4. Vivero de planta de maguey.

Fuente: Archivo interno.

Las plantas obtenidas están listas para pasar a plantación definitiva, donde permanecen hasta su madurez.

Conclusiones

La ejecución del proyecto en cada una de las etapas tuvo una importante generación de conocimiento para las instancias involucradas, lo cual permite una mejor comprensión de las características y particularidades de cada tipo de material vegetativo.

Mediante el desarrollo de la primera fase se logró identificar por parte del CICY una metodología aplicable al proceso de reproducción in vitro con mejor resultado, incluso para cada uno de los materiales seleccionados, logrando con éxito su multiplicación. Por su parte la UACh, generó el proceso adecuado para lograr la mayor supervivencia de plantas posterior a la multiplicación por medio de cultivo de tejidos recabó información de comportamiento de adaptación de cada uno de los materiales de este proceso.

Como resultado de este proyecto se cuenta con un proceso estandarizado para la identificación, multiplicación y obtención

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Septiembre, 2023

de materiales de importancia biológica y económica, sobre todo para la industria mezcalera. Se recuperaron especies de maguey amenazadas y/o en peligro de extinción, estableciendo plantaciones madre y contrarrestando el desabasto de plantas, en tanto las especies seleccionadas pasaron de silvestres a cultivadas en el estado de Oaxaca.

Actualmente y como resultado del proyecto se cuenta con un inventario de 20 especies de maguey utilizadas para la producción de mezcal: (a) Grupo Tobalá: **Tobalá**; (b) Grupo Agave sp.: Maguey Liso, Maguey de Lumbre; (c) Grupo Americana Arroqueño: Coyote, Mexicano Coyote, Coyote Blanco, Arroqueño, Azulín, Castilla, Sierrudo. Grupo Cirlial o Karwinskii: Madrecuishe, Barril, Tobasiche; (d) Grupo espadín o angustifolia: Cincoañero, Sierra Negra, Espadín; (e) Grupo Mexicano: Mexicano, Mexicano De Campo, Mexicano Verde,

Mexicano penca larga, y (f) Grupo Tequilana: **Tequilana.**

A la fecha se han producido alrededor de 950,000 plantas de las variedades antes mencionadas y se cuenta con un inventario de 300,000 plantas (disponibles) de estos materiales en diversos viveros de Proyecto Maguey, ubicados en Zimatlán de Álvarez, Oaxaca.

Referencias

Paredes Hernández, E., (2015). Proyecto 2083. Micropropagación de agaves mezcaleros para contrarrestar desabasto deplantas producción de mezcal en el estado de Oaxaca. Oaxaca de Juárez. México: Universidad Autónoma de Chapingo. Sánchez Teyez F., et al. (2015).Micropropagación de Agaves Mezcaleros para Contrarrestar el Desabasto Plantas de para Producción de Mezcal en el estado de

Informe

Oaxaca.

Mérida.

Final.

Contribución al Conocimiento Científico y Tecnológico en Oaxaca

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Septiembre, 2023

Yucatán. México: Centro de Investigación Científica de Yucatán.

Danzantes. UNACh-Destilería Los (2014).Proyecto **PROINNOVA**

217577. Micropropagación de Agaves

mezcaleros para contrarrestar desabasto para la producción de mezcal en el estado de Oaxaca. Informe Final. Oaxaca de Juárez. México: CONACYT.

Contribución al Conocimiento Científico y Tecnológico en Oaxaca

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Septiembre, 2023

Artículo

DISTRIBUCIÓN POTENCIAL ANTE EL IMPACTO DEL CAMBIO

CLIMÁTICO DEL CULTIVO DE Agave americana var. oaxacensis

Jiménez García, Luis¹, García Martínez, Yuliana Grisel², Ballesteros Barrera, Claudia¹

¹Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa Departamento de Biología.

²Instituto de Ecología A.C. INECOL.

Autor de correspondencia: luponero1112 @hotmail.com

Recibido: 21 de julio de 2023

Aceptado: 09 de septiembre de 2023

Publicado en línea: 25 de septiembre de 2023

Resumen

El aumento de las temperaturas tiene efectos directos en los cultivos. En este estudio se

realizó una evaluación del impacto del cambio climático en las áreas ambientalmente idóneas

para el cultivo del Agave americana var. oaxacensis utilizando los modelos de nicho

ecológico bajo los escenarios SSP 2 4.5 y SSP5 8.5, para el periodo 2041-2060. Se observó

una tendencia de incremento ambiental en 36 municipios de Oaxaca con denominación de

origen, en contraste se registró una disminución de las condiciones ambientales futuras en

175 municipios de Oaxaca bajo el escenario SSP 2 4.5 (2041-2060) y 183 municipios bajo el

escenario SSP5 8.5 (2041-2060). Los modelos de nicho ecológico nos permiten actuar con

antelación bajo un clima cambiante y poder crear estrategias de manejo sostenible.

Palabras claves: Denominación de origen, Idoneidad, Modelos de nicho ecológico, Vulnerabilidad.

119

Contribución al Conocimiento Científico y Tecnológico en Oaxaca

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Septiembre, 2023

Abstract

The increase in temperatures has direct effects on crops. In the study, an evaluation of the impact of climate change in the ideal areas for the cultivation of *Agave americana* var. *oaxacensis* using the ecological niche models under the SSP 2 4.5 and SSP5 8.5 scenarios, for the period 2041-2060. A trend of environmental increase was observed in 36 municipalities of Oaxaca with denomination of origin, in contrast, a decrease in future environmental conditions was observed in 175 municipalities of Oaxaca under the SSP 2 4.5 scenario (2041-2060) and 183 municipalities under the SSP5 scenario. 8.5 (2041-2060), ecological niche models allow us to act in advance under a changing climate and to create sustainable management strategies.

Keywords: Denomination of origin, Ecological niche models, Suitability, Vulnerability

Introducción

El cambio climático ya es un hecho donde han demostrado que bajo dichos efectos las especies disminuyen su idoneidad actual (Gómez-Ruiz & Lacher, 2019), lo que ha provocado grandes cambios en los agroecosistemas (Blois et al., 2013), por ello tiene un gran interés en estos últimos tendencias años conocer las ambientalmente idóneas para **S11** distribución potencial. Entre uno de los agroecosistemas de mayor importancia

para México se encuentra el *Agave* es endémico del continente americano, incluye 200 especies, de las cuales 159 (79 %) se encuentran en México, y de ellas 119 son endémicas (García-Mendoza, 2011). Mientras que, en el Estado de Oaxaca las agaváceas hay mayor riqueza de 58 especies, de ellas 13 son endémicas (García-Mendoza, 2004). Los agaves han brindado una serie de recursos durante miles de años (Gentry, 1982), desde el periodo prehispánico, los grupos indígenas

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Septiembre, 2023

han utilizado los agaves para producir bebidas alcohólicas como el pulque, con la extracción de aguamiel y de destilados como el mezcal, por lo cual el agave a día de hoy genera un gran impacto económico, social y cultural, aunque estos cultivos son tolerantes a altas temperaturas, embargo los aumentos de la temperatura global previstos, han provocado incremento del metabolismo y sensibilidad en el crecimiento de las plantas de agave (Glaubitz et al., 2015), así como disminución de los sitios ambientalmente idóneos, entre otros factores (Pimienta-Barrios et al., 2001), por lo que los evidentes cambios climáticos son causa de preocupación, por lo que diversos estudios son centrados en especies como Agave tequilana, ya que se trata de una especie relevante por su producción internacional y nacional con un total 56.9 millones de litros de tequila (CRT, 2023), además de esta bebida en México existen entre 66 y bebidas fermentadas tradicionales producidas a partir del agave (Ojeda-Linares et al., 2021), y no todas las bebidas como el tequila y mezcal son derivadas de esta especie, existen otras especies como el caso de Agave americana var. oaxacensis, conocida comúnmente como maguey arroqueño (García-Mendoza, 2004). Se trata de una especie silvestre que se utiliza para elaborar mezcal, se encuentra dentro Denominación de Origen y producción es regulada por la NOM-070-SCFI1994 (Álvarez-Ainza et al., 2017), conforme a la resolución del Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial, emitida el 28 de noviembre de 1944 (Yescas 2016) et al., aporta económicamente importantes ingresos al Estado de Oaxaca. Por lo cual Agave americana var. oaxacensis silvestre forma parte de una actividad estratégica para la economía de este Estado, su producción con un total de 14,165,505 litros, situando a Oaxaca en el primer lugar de producción (CRM, 2023). El origen de la distribución

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Septiembre, 2023

de Agave americana var. oaxacensis, se le confiere al Estado de Oaxaca, sin embargo, actualmente se encuentran en lugares aislados, en los Estados de Oaxaca, Puebla, Guerrero, Durango, San Luis Potosí y Zacatecas, las poblaciones de esta especie pequeñas son, escasos, fragmentados y han sido disminuidas considerablemente, al grado aparecer oficialmente en las cifras de producción del Consejo Regulador del Mezcal (CRM, 2015). En suma, de lo anterior los evidentes cambios climáticos son causa de preocupación, aunque estos cultivos son tolerantes altas temperaturas, se ha determinado que el aumento de la temperatura global, provoca incremento del metabolismo el sensibilidad en el crecimiento de las plantas de agave (Glaubitz et al., 2015). Además, se ha registrado la presencia de síntomas de estrés en hojas, reducción en la producción, así como disminución de los sitios ambientalmente idóneos, entre

otros factores (Pimienta-Barrios et al., 2001). Por lo anterior, el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto del cambio climático en la distribución potencial de *Agave americana* var. *oaxacensis*, para el periodo 2041– 2060 bajo los escenarios de SSP2 4.5 y SSP5 8.5 empleando modelos de nicho ecológico.

Materiales y métodos

Área de estudio

Se considera en el área de estudio la distribución de origen es Oaxaca.

Obtención datos de ocurrencia

Los datos de ocurrencia de la especie, se obtuvieron a través de diferentes vías: 1) literatura científica, 2) del portal Global Biodiversity Information Facility (https://www.gbif.org/es/) 3) del portal el Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad (https://www.snib.mx/); 4) del portal de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (https://www.gob.mx/conabio) y 5)

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Septiembre, 2023

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. Agrícolas Pecuarias (https://www.gob.mx/inifap). Se realizó una limpieza de los datos eliminando los datos duplicados (coordenadas fuera de los límites del país, en el mar) y fueron verificados en "Google Earth"; para reducir sesgos de clasificación espacial para la calibración de los modelos. La autocorrelación espacial redujo empleando una distancia de 5 km por medio de la herramienta SDMTool dentro de ArcGIS 10.5 (Brown, 2014).

Variables bioclimáticas

Los datos ambientales del presente fueron obtenidos WorldClim de 2.1(https://www.worldclim.org/data/worl dclim21.html) (de las décadas de 1970 al 2000) resolución espacial una aproximada de ~5 Km (2.5 min) y los datos de futuro de Climate Change, Agriculture and Food Security de las siglas (CGIAR, 2023). Se emplearon variables bioclimáticas (se excluyeron las variables bio8, bio9, bio18 y bio19 por representar un artificio espacial, para la construcción de Análisis un de Componentes Principales (PCA) en Niche Analyst, con el fin de reducir la variación, se utilizaron los primeros 3 componentes principales (PCA), los cuales resumieron más del 89 % de la varianza. Se analizaron dos escenarios futuros las vías socioeconómicas compartidas (SSP) SSP2 4.5 y SSP5 8.5 para el periodo 2041-2060, se empleó 4 modelos climáticos mundial (GCMs), siguiendo la metodología de Villers-Ruíz & Trejo (1998) quienes emplearon los Modelos GCM para México (Canadian Climate Centre Model (CCCM) y el modelo Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL-R30). Se utilizó del programa Niche Analyst (Qiao et al., 2016) para el análisis del espacio ambiental, el cual utiliza distancias de Mahalanobis, para determinar la similitud de los ambientes presente y el futuro (Qiao et al., 2016). Posteriormente los modelos

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Septiembre, 2023

de nicho de ambas ventanas de tiempo fueron llevados al espacio geográfico y binarizados empleando el umbral de omisión del 5 %. Se realizó modelos finales calculando la mediana para obtener un solo modelo en el periodo 2041–2060 bajo los escenarios SSP (vías socioeconómicas compartidas) 2.4.5 y 5.8.5. Todos los mapas fueron procesados en el programa ArcGIS 10.5 (Brown, 2014).

Resultados

Se obtuvieron un total de 37 registros de presencia de *Agave americana* var. *oaxacensis*. Al realizar la limpieza de duplicados se mantuvieron un total 16 puntos de presencia. (Figura 1). En el modelo del presente se predicen zonas ambientalmente idóneas en las regiones: Colima, Estado de México, Durango, Guanajuato, Guerrero, Jalisco, Estado de México, Morelos, Nayarit, Oaxaca,

Puebla, Sinaloa, Zacatecas, Michoacán, Querétaro y Baja California Sur (Figura 1).

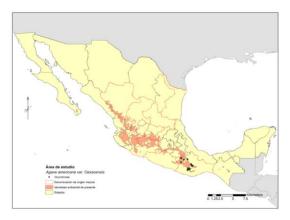


Figura 1. Área de idoneidad del presente para Agave americana var. oaxacensis.

Sin embargo, la mayoría de estos sitios no forman parte de su distribución natural. La mayor idoneidad se encuentra en Jalisco y Michoacán de Ocampo, en la parte central de México en Puebla y Oaxaca, mientras que en menor porcentaje se observa en Baja California Sur y Querétaro.

En general los modelos a futuro bajo el escenario SSP2 4.5 en los años de prospección 2041-2060, se conserva la idoneidad ambiental en los estados de Jalisco, Michoacán, Oaxaca, Puebla, Nayarit, Guanajuato, Durango, Estado de México, Zacatecas, Sinaloa, Morelos,

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Septiembre, 2023

Guerrero, Colima, Querétaro, Tlaxcala, sin embargo, se observa pérdida de idoneidad ambiental en el Estado de México, Querétaro y Tlaxcala e incremento de idoneidad en Michoacán 4303.9 km² y en segundo lugar en Oaxaca 2,139.8 km². (Figura 2A).

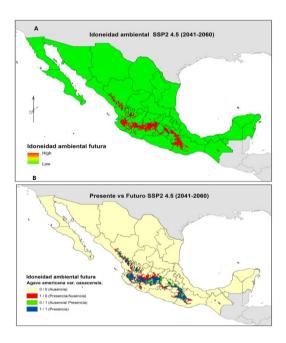


Figura 2. Área de idoneidad del futuro (SSP2 4.5 2041-2060) para A) *Agave americana* var. *oaxacensis* y B) Análisis crosstab comparación del presente con respecto de la mediana de los 4 GCM del escenario SSP2 4.5 futuro 2041-2606.

En cuanto al modelo SSP 5 8.5 en los años de prospección 2041-2060 se observó persistencia de idoneidad ambiental en los Estados de Michoacán, Jalisco, Oaxaca,

Durango, Estado de México, Puebla, Nayarit, Zacatecas, Guanajuato, Sinaloa, Colima, Querétaro, Morelos y pérdida de idoneidad ambiental en Tlaxcala y Guerrero, sin embargo, se observó incremento de idoneidad ambiental en Michoacán con 5,220.6 km² y en el Estado de México con 3,382 km² y Oaxaca con 2,648.7 km² (Figura 3A).

En particular en el presente estudio se observó incremento de idoneidad ambiental en el Estado de Oaxaca en los escenarios a futuro SSP 2 4.5 y SSP5 8.5 para el periodo 2041-2060 municipios del Estado de Oaxaca (Asunción Nochixtlan, Chalcatongo de Hidalgo, San Andrés Sinaxtla, Francisco Chinda, San Francisco Teopan, San Juan Bautista Coixtlahuaca, San Juan Diuxi, San Juan Yucuita, Santa María Chachoápam, Santa María Lachixlo, Santa María a Yolotepec, Santiago Apoala, Santiago Tillo, Santiago Tlazoyaltepec, Santiago Yosondúa, Tepelmeme Villa de

Septiembre, 2023

Morelos, entre otros), mientras que el SSP 2 4.5 solo Santa María Tecomavaca, y solo bajo el escenario SSP5 8.5 en los municipios de San Cristóbal Suchixtlahuaca, San Esteban Atatlahuca, San Miguel Achiutla y San Pedro Yucunama.

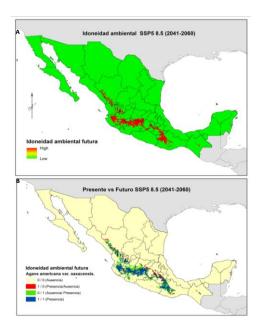


Figura 3. Área de idoneidad del futuro (SSP5 8.5 2041-2060) para *Agave americana* var. *oaxacensis* (Figura A) y Análisis crosstab (Figura B) comparación del presente con respecto de la mediana de los 4 GCM del escenario SSP5 8.5 futuro 2041-2060.

Discusión

Oaxaca es considerado como distribución de origen de *Agave americana* var.

oaxacensis, sin embargo, la población de esta especie es escasa, por cual es la distribución importante evaluar potencial ante el cambio climático. Cabe resaltar que no existen trabajos de que utilicen los modelos de nicho ecológico para evaluar la distribución potencial de Agave americana var. oaxacensis con los que podamos comparar los resultados de la información obtenida, sin embargo si existen estimaciones para el año 2090, donde se espera que el cambio climático ocasionará en México un aumento de 3.7 °C en la temperatura media anual y una disminución de 18.2 % en la precipitación ha documentado que la anual, disminución del agua inhibe el crecimiento de Agave y como en plántulas (Peña-Valdivia & Sánchez-Urdaneta, 2009: Pimienta-Barrios et al., 2001) y los métodos de modelado se han convertido en una técnica viable para evaluar los efectos del cambio climático en las especies considerando que a través de registros de

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Septiembre, 2023

presencia se puede predecir la distribución de las especies bajo diferentes escenarios (Dormann, 2007; Pliscoff & Fuentes-Castillo, 2011). Está demostrado que bajo los efectos del cambio climático las especies disminuyen su idoneidad actual (Gómez-Ruiz & Lacher, 2019; Vargas-Piedra et al., 2020).

En la presente investigación se ha observado condiciones ambientalmente idóneas bajo los escenarios SSP 2 4.5 y SSP5 8.5 para el período 2041-2060 en 36 municipios de Oaxaca, estos municipios actualmente, considerados dentro Denominación de Origen (DO) únicamente se permite la producción y el envasado subsecuente del mezcal dentro de la DO. Estos estudios son necesarias para considerar posibles medidas de adaptación al cambio climático como estimación del clima presente y futuro (Rehfeldt et al., 2012; Sáenz-Romero et al., 2006). Por ejemplo, se observó en el SSP 2 4.5 incremento de idoneidad Ambiental en Santa María Tecomavaca, el escenario muestra un impacto intermedio en el que el incremento de temperatura es menor que el escenario SSP5 8.5 para el periodo 2041-2060, lo que significa que la idoneidad ambiental para esta región se mantendría. incrementos de con temperaturas que no sobrepase los 4.2 °C, mientras que bajo el escenario SSP5 8.5 donde se espera mayor impacto ambiental e incremento de temperatura en los Cristóbal municipios de San Suchixtlahuaca, San Esteban Atatlahuca, San Miguel Achiutla y San Pedro Yucunama se observó idoneidad. Por lo que se ha comprobado que las especies de plantas experimentarán cambios en su distribución y dominancia bajo cambio climático (Iverson & Prasad, 2002; Retuerto & Carballeira, 2004). No obstante, también en el presente estudio se observó otros Estados ambientalmente idóneos para el cultivo de *Agave* americana var. oaxacensis dentro de los

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Septiembre, 2023

que destacan Colima, Durango, Estado de México y Puebla, (Figura 1).

Por otra parte, en el presente estudio se ha observado en ambos escenarios SSP2 4.5 y SSP5 8.5 muchas de las regiones con Denominación Origen de importancia para el cultivo del Agave americana oaxacensis serán var. vulnerables tales como zona de Ejutla, Ixtlán, Miahuatlán, Nochixtlán, Sola de Vega, Teposcolula, Tlacolula ya que hay zona afectada por el cambio ya que el escenario SSP2 4.5 2041-2060 hay perdida de idoneidad 175 regiones mientras que bajo el escenario SSP5 8.5 2041-2060 serán afectados por el cambio climático en 183 municipios. Esta información es muy importante y se sugiere gestionar estudios de investigación paisajísticos y evaluación complementen de suelo, que investigación robusta la distribución potencial solo nos da una información de las condiciones ambientales idóneas para la distribución de

las especies y sirve para actuar con antelación en sitios que son y/o serán vulnerables ante el cambio climático, sin embargo el éxito de propagación y diversificación depende de la eficacia de la evaluación y manejo con la que se quiera robustecer la investigación.

Conclusiones

Los modelos de nicho ecológico nos permitieron observar 36 municipios con tendencia al incremento de las condiciones dentro de las Denominaciones de Origen bajo los escenarios de cambio climático SSP2 4.5 y SSP5 8.5.

Solo el municipio de Santa María
Tecomavaca tendrá incremento de
idoneidad ambiental bajo el escenario
SSP2 4.5 en el periodo 2041-2060.

Bajo el escenario SSP5 8.5 en el periodo 2041-2060 tendrán incrementos de idoneidad ambiental, los municipios de San Cristóbal Suchixtlahuaca, San

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Septiembre, 2023

Esteban Atatlahuca, San Miguel Achiutla y San Pedro Yucunama.

En el escenario SSP2 4.5 2041 – 2060 se observó perdida de idoneidad municipios dentro de los que destacan Ejutla, Ixtlán, Miahuatlán, Nochixtlán, Sola de Vega, Teposcolula, Tlacolula, mientras que bajo el escenario SSP5 8.5 2041 – 2060, 183 municipios con DO de gran importancia para el cultivo del Agave americana var. oaxacensis serán vulnerables.

Agave americana var. oaxacensis se encuentra dentro de las DO, pero además se trata de una especie endémica del Estado de Oaxaca, sí este Estado quiere permanecer en primer lugar como líder de producción mezcal como lo es actualmente con esta especie debería gestionar estrategias de manejo sostenible que permitan mantener a esta especie como reservorio de biodiversidad genética para que en un futuro sea conservada, para que la especie no termine por extinguirse por

sobre explotación, si no poder adaptar a la especie y expandir su cultivo dentro de las normas de producción que el mercado exige, y así poder ser considerada además como Denominación de Origen Protegida ya que al no considerar medidas para conservar a la especie otros estados con ambiente idóneo sí podrían potenciar a la especie para su distribución como se observa en los Estados de Michoacán, Jalisco, Oaxaca, Durango, Estado de México, Puebla, Nayarit, Estado de México, Zacatecas, Guanajuato, Sinaloa, Colima, Querétaro, Morelos ya que tendrían las condiciones ambientalmente idóneas para esta especie aún bajo el escenario de mayor impacto ambiental (SSP5 8.5) para 2041-2060.

Agradecimientos

Agradecemos especialmente a CONAHCYT por las becas de estancia posdoctoral, así como la UAM-I por el apoyo otorgado.

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Septiembre, 2023

Referencias

Álvarez-Ainza, M., Arellano-Plaza, M., De la Torre-González, F. J., Gallardo Valdez, J., García-Barrón, S. E., García-Galaz, A., Gschaedler-Mathis, A., Herrera-López, E. J. López-Miranda, J., Páez-Lerma, J. B., Rodríguez-Rentería-Martínez, O., González, E., Soto-Cruz, N. O. & Larralde-Corona, C. P. (2017). Sección II: Bebidas tradicionales y nuevas alternativas. En M. Gschaedler & A. Christine (Coord.), Panorama del aprovechamiento de los agaves en México (pp. 165-214). AGARED-CONACYT, CIATEJ)

Blois, J. L., Zarnetske, P. L., Fitzpatrick, M. C. & Finnegan, S. (2013). Climate Change and the Past, Present, and Future of Biotic Interactions. *Science*, 341 (6145), 499–504. https://doi.org/10.1126/science.123718

Brown, J. L. (2014). SDMtoolbox: a python-based GIS toolkit for landscape genetic, biogeographic and species distribution model analyses. *Methods in Ecology and Evolution*, 5 (7), 694–700. https://doi.org/10.1111/2041-210X.12200

CGIAR. (2023). Climate Change,

Agriculture and Food Security.

https://ccafs.cgiar.org/

CRM. (2015). Informe de actividades. Consejo Mexicano Regulador de La Calidad Del Mezcal. A.C. https://vdocuments.mx/informe-2015consejo-regulador-delmezcal.htmlConsejo Regulador del Mezcal (CRM). (2023).Informe estadístico. COMERCAM. http://mimezcal.com/mimezcalligas/mi mezcal_CRM_informe_2015.pdf (consultado agosto de 2016).

Consejo Regulador del Tequila (CRT). (2023). Consejo Regulador del Tequila.

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Septiembre, 2023

https://www.crt.org.mx/index.php/es/f eatures-3/fundamentos/crti

Dormann, C. F. (2007). Promising the future? Global change projections of species distributions. *Basic and Applied Ecology*, 8 (5), 387–397. https://doi.org/10.1016/j.baae.2006.11.

García-Mendoza, A. 2011. Agavaceae. En R. Medina (Ed.), Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán 1-95). (pp. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. García-Mendoza. J. A. (2004).Agaváceas. En A. J. García-Mendoza, M. J. Ordoñez & M. Briones-Salas (Eds), Biodiversidad de Oaxaca (pp. 159-170). Instituto de Biología, UNAM, Fondo Oaxaqueño, World Wildlife Found.

Gentry, H. S. (1982). Agaves of

Continental North America. University
of Arizona Press.

https://doi.org/10.2307/j.ctv1t4m2h4

Glaubitz, U., Erban, A., Kopka, J., Hincha, D. K. & Zuther, E. (2015). High night temperature strongly impacts TCA cycle, amino acid and polyamine biosynthetic pathways in rice in a sensitivity-dependent manner. *Journal of Experimental Botany*, 66 (20), 6385–6397.

https://doi.org/10.1093/jxb/erv352

Gómez-Ruiz, E. P. & Lacher, T. E. (2019).

Climate change, range shifts, and the disruption of a pollinator-plant complex. *Scientific Reports*, 9 (1), 14048. https://doi.org/10.1038/s41598-019-50059-6

Iverson, L. & Prasad, A. (2002). Potential redistribution of tree species habitat under five climate change scenarios in the eastern US. *Forest Ecology and Management*, 115, 205-222.

Villers-Ruíz, L. & Trejo, I. (1998).

Climate change on Mexican forests and natural protected areas. *Global Environmental Change*, 8 (2), 141-157.

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Septiembre, 2023

Ojeda-Linares, C., Álvarez-Ríos, G. D., Figueredo-Urbina, C. J., Islas, L. A., Lappe-Oliveras, P., Nabhan, P. G., Torres-García, I., Vallejo, M. & Casas, A. (2021). Traditional Fermented Beverages of Mexico: A Biocultural Unseen Foodscape. *Foods*, 10 (10), 2390. https://www.mdpi.com/2304-8158/10/10/2390

Peña-Valdivia, C. B. & Sánchez-Urdaneta,
A. (2009). Effects of substrate water
potential in root growth of *Agave*salmiana Otto ex Salm-Dyck seedlings.
Biological Research, 42 (2), 239-248.

Pimienta-Barrios, E., Robles-Murguia, C., & Nobel, P. S. (2001). Net CO2Uptake for *Agave tequilana* in a Warm and a Temperate Environment1. *Biotropica*, 33(2), 312–318. https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2001.tb00181.x

Pliscoff, P. & Fuentes-Castillo, T. (2011).

Modelación de la distribución de especies y ecosistemas en el tiempo y

en el espacio: una revisión de las nuevas herramientas y enfoques disponibles. *Revista de Geografía Norte Grande*, 48, 61–79. https://doi.org/10.4067/S0718-34022011000100005

Qiao, H., Peterson, A. T., Campbell, L. P., Soberón, J., Ji, L. & Escobar, L. E. (2016). NicheA: creating virtual species and ecological niches in multivariate environmental scenarios. *Ecography*, 39 (8), 805–813. https://doi.org/10.1111/ecog.01961

Rehfeldt, G. E., Crookston, N. L., Sáenz-Romero, C. & Campbell, E. M. (2012).

North American vegetation model for land-use planning in a changing climate: a solution to large classification problems. *Ecological Applications*, 22 (1), 119–141. https://doi.org/10.1890/11-0495.1

Retuerto, R. & Carballeira, A. (2004).

Estimating plant responses to climate
by direct gradient analysis and

Vol. 7 No. Especial Agave-Mezcal 40 Aniversario del CIIIDR Unidad Oaxaca

Septiembre, 2023

geographic distribution analysis. *Plant Ecology*, 170, 185–2022. https://link.springer.com/article/10.102 3/B:VEGE.0000021665.69774.26

Sáenz-Romero, C., Guzmán-Reyna, R. R. & Rehfeldt, G. E. (2006). Altitudinal genetic variation among *Pinus oocarpa* populations in Michoacán, Mexico. *Forest Ecology and Management*, 229 (1–3), 340–350. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2006.0 4.014

Vargas-Piedra, G., Valdez-Cepeda, R. D.,López-Santos, A., Flores-Hernández,A., Hernández-Quiroz, N. S., &Martínez-Salvador, M. (2020). Current

and Future Potential Distribution of the
Xerophytic Shrub Candelilla
(Euphorbia antisyphilitica) under Two
Climate Change Scenarios. Forests, 11
(5), 530.

https://doi.org/10.3390/f11050530

Yescas- Arreola, E., Campos-Ángeles, G.

V., Enríquez del Valle J. R., Velasco
Velasco, V. A., Rodríguez Ortiz, G. &
Ruiz Luna J. (2016). Aclimatación de
Agave americana var. oaxacensis
obtenidas in vitro. Revista Mexicana de
Ciencias Agrícolas, 7 (24), 911–922.
https://www.scielo.org.mx/scielo.php?
script=sci_arttext&pid=S200709342016000400911





www.ipn.mx