

## CARACTERIZACIÓN DEL BAGAZO DEL *AGAVE MARMORATA*

Dra. Miriam Silvia López Vigil, Eli José Villar Mendoza, M.I.I. Héctor Santos Alvarado, M.C. Héctor Islas Torres, Ing. Nidia Esther Gómez Flores, miembros del Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Tehuacán.

**Resumen** – El maguey científicamente llamado *Agave*, es una planta con relevancia histórica, cultural y económica en México, por lo que debe tener un papel estratégico en el desarrollo rural sustentable, la conservación biocultural y la identidad mexicana.

En el presente trabajo se dan a conocer los resultados de la caracterización del bagazo de Maguey Pitzometl (*Agave marmorata*) de la Región de Zapotitlán Salinas, Puebla, desarrollado en colaboración de la Sociedad Cooperativa Sembradores de Maguey Pitzometl de Zapotitlán Salinas Puebla S.C. de P. de R. L. de C.V., para contribuir al aprovechamiento eficiente de este subproducto por los habitantes de esta Región perteneciente a la Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán. Se realizaron las determinaciones físicas de densidad aparente obteniendo un valor promedio de 0.515 kg/L y desviación estándar de 0.1255, absorción de agua con un valor promedio de 0.63 mL/g y desviación estandar de 0.0520, porcentaje de humedad de 76.50 en promedio con desviación estandar de 3.80, porcentaje de cenizas con un valor promedio de 9.87, con desviación estandar de 6.14, porcentaje de extracto etéreo de 5.39 con desviación estandar de 2.61, proteína y un contenido promedio de fibra cruda de 15.66.

**Índice de Términos** - *Agave marmorata*, Bagazo, Caracterización Física, Maguey Pitzometl.

### I. INTRODUCCIÓN

México es el país con mayor riqueza de variedades de agaves a nivel mundial, de las cuales el 75% son especies endémicas [1], entre las cuales figura el Maguey Pitzometl (*Agave marmorata*).

Los agaves tienen gran importancia etnobotánica por su diversidad y usos. Se tienen registros del uso y aprovechamiento de estas plantas que data de hace 10 000 años, según hallazgos realizados por Flannery (1986) en la cueva de Guilá Naquitz, en las cercanías de Mitla, Oaxaca [2].

Entre los principales usos reportados del Maguey Pitzometl se encuentra la extracción de aguamiel, que es un líquido azucarado producido en el centro del maguey maduro, donde la planta al entrar en su etapa reproductiva, canaliza nutrientes hacia la floración. Al retirar el escapo floral y raspar el corazón (cajete), se produce un exudado que se recoge diariamente, contiene principalmente sacarosa, fructosa, glucosa, y pequeñas cantidades de aminoácidos, calcio, potasio, hierro y vitaminas [3]. De la fermentación del aguamiel, se obtiene el pulque, por la acción de un microbiota natural compuesta por levaduras como *Saccharomyces cerevisiae* y bacterias lácticas como *Lactobacillus*. El pulque es una bebida alcohólica tradicional mexicana que contiene etanol en un 2 a 6 %, ácido láctico, glicerol, compuestos volátiles, y presenta actividad probiótica [4].

Otra importante aplicación donde el uso del maguey es esencial es la producción de mezcal, que en los últimos años pasó de 200 000 a seis millones de litros al año, impulsando competencias técnicas, ingresos y posición en mercados nacionales e internacionales [5]. Sin embargo, junto a este auge del mezcal se han impactado a ecosistemas cruciales ya que la cosecha prematura de agave afecta la polinización por

---

Documento recibido el 14 de agosto de 2024. Este trabajo fue apoyado por Tecnológico Nacional de México a través de la Convocatoria Proyectos de Investigación Científica, Desarrollo Tecnológico e Innovación 2024 de los Institutos Tecnológicos Federales y Centros, para el proyecto: "Aprovechamiento Sustentable del Maguey Pitzometl (*Agave marmorata*) de la Región de Zapotitlán Salinas Puebla", Clave 20696.24-P, y por el Instituto Tecnológico de Tehuacán. Autores: López-Vigil Miriam Silvia, Rodríguez-Pinzón María José, Santos-Alvarado Héctor, Islas-Torres Héctor, Gómez-Flores Nidia Esther. Domicilio: Libramiento Tecnológico s/n C.P. 75770, Tehuacán, Puebla. E-mail: miriamsilvia.lv@tehuacan.tecnm.mx

murciélagos, lo cual es clave para mantener la diversidad genética del agave [6],

Uno de los principales problemas del mal manejo del maguey pitzómel es la explotación intensiva de recursos vegetales sin permitir su regeneración natural. Dado que muchas especies de maguey, incluyendo el pitzómel, tienen ciclos de vida largos (pueden tardar entre 8 y 15 años en madurar), la extracción excesiva para producir mezcal o aguamiel reduce drásticamente las poblaciones silvestres. Este mal manejo afecta directamente a la diversidad genética y con ello, a la capacidad de diversidad genética, y por ende, también a la capacidad de recuperación de la planta ante enfermedades o cambios climáticos.

El presente trabajo presenta los resultados del estudio de la caracterización del bagazo del *Agave marmorata*, donde el bagazo es el residuo fibroso sólido que queda después de extraer los jugos del maguey, principalmente durante la producción de aguamiel, pulque o mezcal.

## II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El clima y las condiciones geográficas de la región de Zapotitlán Salinas Puebla son aptos para el cultivo de Maguey Pitzometl debido a esto se ha convertido en uno de los municipios principales como productor de agave, esto a motivado a los agricultores de la Región a organizarse para aprovechar y proteger estos cultivos, así como ampliar sus expectativas en cuanto a sus usos para su comercialización. Es el caso de la Cooperativa Sembradores de Maguey Pitzometl de Zapotitlán, Salinas, Puebla, Sociedad Cooperativa de Producción de Responsabilidad Limitada de Capital Variable, con los cuales se desarrolló el presente proyecto.

## III. METODOLOGÍA

Las pencas de Maguey Pitzometl para la obtención del bagazo se obtuvieron de los campos de la comunidad de Zapotitlán Salinas, Puebla aplicando un procedimiento tradicional utilizado por los integrantes de la Sociedad Cooperativa Sembradores de Maguey Pitzometl de Zapotitlán Salinas Puebla S. C. de P. de R. L. de C. V., colaboradores del presente proyecto.

Para el corte de hojas se seleccionaron Magueyes maduros de 5 años de crecimiento, tomando las pencas de la primera roseta, con lo cual se estimula el crecimiento de la planta.

Se procedió al lavado de las pencas con fibra y agua limpia para eliminar posibles residuos presentes.

Se realizó el troceado de las pencas y se procedió a obtener el obtener el extracto jugoso de las pencas

mediante un extractor de jugos de acero inoxidable T-304 grado alimenticio, pisador ABS, y colador de malla de acero inoxidable, obteniendo así el bagazo.

Se procedió a realizar la caracterización del bagazo mediante las determinaciones de:

- Densidad aparente basada en la NMX-AA-019-1985 [7].
- Determinación de Absorción de agua con metodología propuesta por Alonso, M. y Rigal, L. (1997) [8].
- Determinación de Humedad aplicando la NOM-116-SSA1-1994 [9].
- Determinación de cenizas basada en la NMX-AA018-1984 [10].
- Determinación de Extracto Etéreo por el método de Soxhlet basado en la NMX-F-089-S-1978 [11].
- Determinación de Proteína por método de Kjeldahl basado en la NOM-F-68-S-1980 [12].
- Determinación de Fibra Cruda basada en la NMX-Y-094-SCFI-2012 [13].

## IV. RESULTADOS

En la Figura 1 se muestran las tres plantas de Maguey Pitzometl de la Región de Zapotitlán Salinas Puebla de las cuales se tomaron muestras de sus pencas para realizar la caracterización.





Figura 1. Plantas de Maguey Pitzometl de la Región de Zapotitlán Salinas, Puebla

La Tabla 1 muestra los resultados de la determinación de la densidad aparente en el bagazo, cuyo valor promedio es de 0.515 kg/L y desviación estandar de 0.1255, cabe señalar que en el caso del bagazo de agave que es un residuo lignocelulósico compuesto principalmente por fibras de celulosa, hemicelulosa y lignina., su densidad es variable debido principalmente a ese carácter fibroso y poroso, dependiendo también de factores como el contenido de humedad, el grado de compactación y el tamaño de las partículas.

La densidad aparente es la relación de la masa de un material por unidad de volumen, incluyendo los espacios vacíos entre partículas. Este parámetro físico es clave para el manejo, transporte, almacenamiento y aprovechamiento de materiales y en el caso del bagazo del Maguey Pitzometl es importante para el manejo de este subproducto en el contexto de la producción de mezcal, tequila o biocombustibles, entre otras aplicaciones.

La densidad aparente determina cuánto volumen ocupará una cierta masa de bagazo, lo cual es vital para dimensionar tanques, silos, camiones o bandas transportadoras [14]. Un bagazo con baja densidad aparente puede requerir mayor espacio y energía para su manejo.

En la agricultura, la densidad aparente influye en la aireación del sustrato y en la retención de humedad. Esto afecta la calidad del compost o del suelo si se usa como mejorador orgánico [15]. Cabe señalar que los valores de densidad aparente variarán dependiendo del grado de humedad, tipo de agave, y grado de compactación.

Tabla1. Densidad aparente del bagazo de Maguey Pitzometl

Muestra	Densidad Aparente (kg/L)	Densidad Aparente promedio / Variación Estandar (kg/L)
Penca 1	0.611	$\bar{x} = 0.515$ $s = 0.1255$
Penca 2	0.561	
Penca 3	0.373	

La absorción de agua es la capacidad que tiene un material para retener o absorber agua en función de su estructura interna, porosidad, composición y tratamiento previo. Un bagazo con alta capacidad de absorción de agua facilita la retención de humedad, esencial para la actividad microbiana durante procesos como el compostaje. En la Tabla 2 se muestra que el valor promedio de adsorción de agua en el bagazo es de 0.63 mL/g, con una desviación estándar de 0.0520.

Tabla 2. Absorción de agua en bagazo de Maguey Pitzometl

Muestra	Absorción de Agua de cada muestra (mL/g)	Absorción Promedio/ Variación Estandar (mL/g)
Penca 1	0.69	$\bar{x} = 0.63$ $s = 0.0520$
Penca 2	0.60	
Penca 3	0.60	

Determinar la humedad en el bagazo de maguey es un paso esencial para su aprovechamiento eficiente en diversas aplicaciones agroindustriales, ambientales y energéticas. Por ejemplo, de acuerdo con Resano, D., et al. (2022), el contenido de humedad en el bagazo es decisivo cuando se planea utilizarlo como combustible, como sucede con el bagazo de caña de azúcar.



Figura 2. Determinación de Humedad

Mientras más seco sea el material, mayor será su eficiencia energética; por el contrario, un alto contenido de humedad reduce el rendimiento y aumenta los costos de secado y transporte [16]. El porcentaje de humedad en el bagazo caracterizado tiene un valor promedio de 76.50 %, con una desviación estandar de 3.80 como se muestra en la Tabla 3 y su determinación en la Figura 2.

Tabla 3. Porcentaje de Humedad en Bagazo de Maguey Pitzometl

Muestra	Humedad de cada muestra (%)	Humedad Promedio (%)
1	80.27	$\bar{x}=76.50$ $s= 3.80$
2	72.68	
3	76.55	

El contenido de cenizas ayuda a estimar el grado de mineralización del bagazo ya que las cenizas representan el total de minerales que quedan cuando una muestra, en este caso de bagazo de Maguey Pitzometl se incinera completamente y solo persisten los componentes inorgánicos. La Figura 3 muestra la muestra en Mufla para determinar su contenido de cenizas.



Figura 3. Determinación de Cenizas

La Tabla 4 muestra el valor de 9.87 % de Cenizas como valor promedio con una desviación estandar de 6.14 para el maguey caracterizado.

Tabla 4. Porcentaje de ceniza en bagazo de Maguey Pitzometl

Penca	Valor de Cenizas de cada penca (%)	Valor Promedio de Cenizas (%)
1	15.2945	$\bar{x}=9.87$ $s= 6.14$
2	11.1054	
3	3.2059	

El extracto etéreo corresponde a la fracción lipídica del material analizado, este extracto está formado principalmente por grasas, aceites y ceras presentes y se obtienen mediante extracción con solventes no polares, generalmente éter etílico como lo describe la NMX-F-089-5-1978.

Los lípidos son altamente energéticos, sin embargo, su presencia en exceso puede inhibir procesos microbianos como la digestión anaerobia o la fermentación, afectando la biodegradabilidad del bagazo [17]. La Figura 4 ilustra la determinación de extracto etéreo del bagazo.



Figura 4. Determinación de Extracto Etéreo

La Tabla 5 muestra los resultados obtenidos de la cuantificación de extracto etéreo en el bagazo, con un valor promedio de 5.39 %, con una desviación estandar de 2.61.

Tabla 5. Extracto etéreo del bagazo de Maguey Pitzometl

Penca	Extracto etéreo del bagazo en penca (%)	Extracto etéreo promedio (%)
1	3.13	$\bar{x}=5.39$ $s= 2.61$
2	8.24	
3	4.80	

La determinación de proteína del bagazo se realizó por el método Kjeldahl basada en la norma NOM-F-68-S-1980 y se reporta como % de Nitrógeno, calculada por la fórmula:



$$\% \text{ de Nitrógeno} = \frac{V \times N \times 0.014 \times 100}{m}$$

Donde:

V= Volumen de Ác. Clorhídrico empleado en la Titulación

N= Normalidad del Ácido Clorhídrico

m = Masa de la muestra en gramos

0.014= miliequivalente del Nitrógeno

La Figura 5 muestra el proceso de determinación de Proteína en bagazo, y la Tabla 6 los resultados obtenidos.



Figura 5. Determinación de Nitrógeno Proteico

El nitrógeno proteico del bagazo de maguey es importante ya que es un nutriente y en el caso del compostaje participa para mejorar la fertilidad del suelo, también adquiere importancia como suplemento alimenticio para el ganado en épocas de escasez, así como material para crear sustratos en la producción agrícola y como componente en la biofabricación de materiales como los bioplásticos y biocompuestos

Tabla 6. Nitrógeno Proteico del bagazo de Maguey Pitzometl

Penca	Nitrógeno del bagazo en peca (%)	Nitrógeno promedio (%)
1	5.82	
2	4.53	$\bar{x}=4.807$
3	4.07	$s= 0.907$

La fibra cruda es la fracción de un alimento que no es digerida por las enzimas digestivas del intestino delgado y que, en parte, puede ser fermentada por bacterias en el intestino grueso. Se compone principalmente de celulosa, hemicelulosa y lignina [18]. Es un término utilizado en análisis de alimentos, especialmente en la industria de piensos, para describir la porción no digerible de las plantas [19], obteniéndose en este caso un valor promedio de 15.66 % como se muestra en la Tabla 7.

Para cuantificar el % de fibra cruda se utilizó la formula descrita en la NMX-Y-094-SCFI-2012:

$$\% \text{ Fibra cruda} = \frac{(P_2 - P_3) - P_4}{P_1} \times 100$$

P<sub>1</sub>= Peso de la muestra

P<sub>2</sub>= Peso de la muestra digerida y seca

P<sub>3</sub>= Peso del residuo calcinado

P<sub>4</sub>= Peso del blanco

Tabla 7. Fibra cruda en gabazo de Maguey Pitzometl

Muestra Promedio	Peso 1 (g)	Peso 2 (g)	Peso 3 (g)	Peso 4 (g)	Fibra cruda (%)
De las tres pencas	1.5550	23.9908	23.5663	0.1809	15.66

La Figura 6 muestra la etapa del filtrado de la muestra después de la digestión ácida para la determinación de Fibra Cruda.



Figura 6. Determinación de Fibra Cruda (Filtración de la digestión ácida)

La caracterización del bagazo del *Agave marmorata* de la Región de Zapotitlán Salinas Puebla permite conocer las propiedades distintivas del bagazo de esta zona, habiéndose obtenido los valores densidad aparente 0.515 kg/L con desviación estándar de 0.1255, absorción de agua promedio de 0.63 mL/g y desviación estándar de 0.0520, porcentaje de humedad de 76.50 en promedio con desviación estándar de 3.80, porcentaje de cenizas con un valor promedio de 9.87, con desviación estándar de 6.14, porcentaje de extracto etéreo de 5.39 con desviación estándar de 2.61, proteína y un contenido promedio de fibra cruda de 15.66.

Los agaves tienen una amplia presencia en México con un importante impacto ecológico, pues su presencia en grandes extensiones de regiones áridas y semiáridas del país, favorecen tanto la polinización por su relación con los murciélagos como por sus múltiples aportes a la agroecología y los medios de vida tradicionales.

Los agricultores de Tlaxcala, Hidalgo, Puebla y el Estado de México desarrollaron desde hace más de dos mil años, un sistema de siembra conocido como metepantle [20], en este sistema agroecológico se cultivan hileras de maguey intercaladas con otros cultivos (maíz, frijol, calabaza, árboles frutales), y así se protege a los suelos de la erosión, se promueve la biodiversidad y se genera múltiples beneficios productivos.

Sin embargo, la creciente demanda de mezcal y tequila ha impulsado prácticas como el monocultivo intensivo y la cosecha prematura de magueyes, con las perturbaciones ambientales sobre el hábitat de estas especies. Dentro del proceso de producción de mezcal y tequila, se obtiene como subproducto el bagazo y de acuerdo con el Consejo Mexicano Regulador de la Calidad del Mezcal, que es la entidad que regula la producción del mezcal, en 2021 se certificaron más de 8 millones de litros de mezcal lo cual representa un incremento del 700% por encima de las cifras de 2011. En diversos estudios se calcula que la producción de tan solo un litro de mezcal genera aproximadamente 17 kilogramos de bagazo húmedo [21] como residuo sólido que en muchas ocasiones es desaprovechado.

En el presente artículo se publican los resultados obtenidos de la caracterización del bagazo del *Agave marmorata* (Maguey Pitzometl), planta endémica de la Región de Zapotitlán Salinas Puebla, que es una zona perteneciente a la Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán, como parte de un proyecto de investigación del estudio de aplicaciones sustentables de este recurso natural, en colaboración con los integrantes de la Sociedad Cooperativa Sembradores de Maguey Pitzometl de Zapotitlán, Salinas, Puebla, S. C. de P. de R. L. de C. V. . La caracterización del bagazo proporciona información específica sobre el agave de esta Región y

permite apreciar las potencialidades de futuras aplicaciones con un enfoque sustentable ante su perfil en su capacidad de absorción de agua, densidad aparente, humedad, cenizas, extracto etéreo, proteína y fibra cruda.

#### RECONOCIMIENTO

- Al Tecnológico Nacional de México por su apoyo financiero al Proyecto “Aplicaciones Sustentables y Pertinentes del Maguey Pitzometl (*Agave marmorata*), Recurso Endémico e Importante de la Región de Zapotitlán Salinas Puebla” con Clave 23734.25-P en la Convocatoria Proyectos de Investigación Científica, Desarrollo Tecnológico e Innovación 2025, de los Institutos Tecnológicos Federales, Descentralizados y Centros.
- Al Instituto Tecnológico de Tehuacán por su apoyo para la realización de análisis en los Laboratorios de Ingeniería Bioquímica de la Institución.
- A la Sociedad Cooperativa Sembradores de Maguey Pitzometl de Zapotitlán, Salinas, Puebla, Sociedad Cooperativa de Producción de Responsabilidad Limitada de Capital Variable (S.C. de P. de R. L. de C.V.) por su colaboración e interés en la realización del presente Proyecto de Investigación.

#### REFERENCES

- [1] García-Mendoza, A.J. (2011). Agavaceae. Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. SP 1, EP 95, VL 88, Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.
- [2] García-Mendoza, A.J. y Franco-Martínez, I.S. (2018). Actualización de la información de las especies y subespecies de magueyes de Oaxaca, con énfasis en las especies mezcateras. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Biología. Informe final SNIB-CONABIO Proyecto No. NE012. Ciudad de México.
- [3] Camacho, R; Gutiérrez, A. y Gschaedler, A. (2023). Los agaves y sus derivados. Tendencias científicas, uso sostenible y patrimonio. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco A.C. ISBN 978-607-8734-56-6, México.
- [4] Escalante, A., Rodríguez, M.E., Martínez, A., López-Munguía, A., Bolívar, F., & Gosset, G. (2004). Fermentation Microbiology of Pulque. *Applied and Environmental Microbiology*, 70(10), 5883–5890. <https://doi.org/10.1128/AEM.70.10.5883-5890.2004>
- [5] SADER (2019). El poder del mezcal y de sus productores, Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 20 de febrero de

- 2019, consultado en: [https://www.gob.mx/agricultura/articulos/el-poder-del-mezcal-y-de-sus-productores?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.gob.mx/agricultura/articulos/el-poder-del-mezcal-y-de-sus-productores?utm_source=chatgpt.com)
- [6] Agaves.pro (2023). Mezcal se derrama en 86 países, consultado en: [https://agaves.pro/mezcal-se-derrama-en-86-paises/?utm\\_source=chatgpt.com](https://agaves.pro/mezcal-se-derrama-en-86-paises/?utm_source=chatgpt.com)
- [7] NMX-AA-019-1985 Protección al Ambiente-Contaminación del Suelo -Residuos Solidos Municipales-Peso Volumetrico "In Situ". chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/DOFs/NMX-AA-019-1985.pdf
- [8] Alonso, M. y Rigal, L. (1997). Caracterización y Valorización del Bagazo de Agave Tequilana Weber de la Industria del Tequila, Vol. 3, 10.5154/r.rchsh.1997.07.054, Revista Chapingo, Serie Horticultura.
- [9] NOM-116-SSA1-1994, 08-10-95 NORMA Oficial Mexicana, Bienes y servicios. Determinación de humedad en alimentos por tratamiento térmico. Método por arena o gasa. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Federal/wo69540.pdf
- [10] NMX-AA-18-1984 Protección al Ambiente-Contaminación de Suelo- Residuos Solidos Municipales-Determinación de Cenizas. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/DOFs/NMX-AA-018-1984.pdf
- [11] NMX-F-089-S-1978. Determinación de Extracto Etéreo (Método Soxhlet) en Alimentos. Foodstuff-Determination of Ether Extract (Soxhlet). Normas Mexicanas. Dirección General de Normas. [https://www.yumpu.com/es/document/view/60243557/nmx-f-089-s-1978#google\\_vignette](https://www.yumpu.com/es/document/view/60243557/nmx-f-089-s-1978#google_vignette)
- [12] NMX-F-068-S-1980. Alimentos. Determinación de Proteínas. Foods. Determination of Proteins. Normas Mexicanas. Dirección General de Normas. <https://www.studocu.com/es-mx/document/universidad-nacional-autonoma-de-mexico/laboratorio-de-ciencia-basica-iii/proteinas-kjendahl/33780882>
- [13] NMX-Y-094-SCFI-2012. Alimentos para Animales-Determinación de Fibra Cruda en Alimentos Balanceados e Ingredientes Mayores. <https://es.slideshare.net/slideshow/nmx-y094scfi2012/34449659>
- [14] Paredes-López, O., & Peña, R.G. (1992). "Food Waste Utilization: Economic and Environmental Considerations." *Food Technology*.
- [15] Álvarez-Hernández, M. H. et al. (2020). "Caracterización físico-química del bagazo de agave y su uso en compostaje." *Agroproductividad*.
- [16] Resano, D., Guillen, O., Ubillús, F. y Barranzuela, J. (2022). Caracterización fisicoquímica del bagazo de caña de azúcar industrial y artesanal como material de construcción. *Información tecnológica*, 33(2), 247-258. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642022000200247>
- [17] Flores-Ríos, P., Robles, C., Castañeda-Hidalgo, E. (2020). Generación y caracterización básica de bagazos de la agroindustria del mezcal en Oaxaca. *Revista Mexicana Ciencias Agrícolas*, Volumen 11, Número 6. DOI: <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i6.2615>
- [18] Sierra, E., Alcaraz, J., Valdivia, A., Rosas, A., Hernández, M., Vivaldo, E. y Martínez, A. (2021). Bagazo de agave: de desecho agroindustrial a materia prima en las biorrefinerías. DGDCUNAM. Divulgación de la Ciencia. Ciencia UNAM. <https://ciencia.unam.mx/leer/1112/bagazo-de-agave-de-desecho-agroindustrial-a-materia-prima-en-las-biorrefinerias>
- [19] FOOS (2018). El análisis de la fibra en el pienso animal Fibra cruda, fibra detergente neutra (FDN) y fibra detergente ácida (FDA) - los estándares y las opciones de automatización. Analytics Beyond Measure.
- [20] Vázquez, A. (2019). El metepantle (milpa entre magueyes) antiguo sistema con futuro sostenible. INVADES, Investigación y Desarrollo, consultado en: <https://invdes.com.mx/politica-cyt-i/el-metepantle-milpa-entre-magueyes-antiguo-sistema-con-futuro-sostenible/>
- [21] Zavala, P. (2022). Productores de mezcal reciclan los desechos que genera esta bebida espirituosa. Global Press Journal, consultado en: [https://globalpressjournal.com/americas/mexico/twice-distilled-mezcal-makers-recycle-spirits-vast-waste/es/?utm\\_source=chatgpt.com](https://globalpressjournal.com/americas/mexico/twice-distilled-mezcal-makers-recycle-spirits-vast-waste/es/?utm_source=chatgpt.com)

