



Valor nutricional de *Agave angustifolia* Haw. en hábitat silvestre en Guerrero, México †

[Nutritional value of *Agave angustifolia* Haw. in wild habitat in Guerrero, Mexico]

Guillermina Barrientos-Rivera¹, Elías Hernández-Castro^{2*},
Lucia Delgadillo-Ruiz³, Adalberto Benavides-Mendoza⁴,
Emir Lenin Serafín-Higuera¹, Edgar León Esparza-Ibarra³
and José Adrián Rene Grada-Yautentzi¹

¹Universidad Autónoma de Tlaxcala, Facultad de Agrobiología. Autopista Tlaxcala-San Martín Texmelucán km 10.5, Ixtacuixtla, Tlaxcala, México. C. P. 90120. E-mail: guimagic.16@gmail.com, emirlenin1015@gmail.com, rerpinos22@gmail.com

²Universidad Autónoma de Guerrero. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales. Carretera Iguala-Tuxpán km 2.5, Iguala de la Independencia, Guerrero, México. C. P. 40052. E-mail: ehernandez@uagro.mx

³Universidad Autónoma de Zacatecas. Facultad de Ciencias Biológicas. Av. Preparatoria, s/n, Colonia Hidráulica, Zacatecas, Zacatecas, México. C. P. 98600. E-mail: delgadillolucia@gmail.com, edgarzac@gmail.com

⁴Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Departamento de Horticultura. Calz. Antonio Narro, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. C. P. 25315. E-mail: abenmen@gmail.com

*Corresponding author

SUMMARY

Background: In Guerrero, *Agave angustifolia* is a species found in the wild and cultivated, it represents 80% of the raw material in the production of mezcal produced in the state. The residues generated during mezcal production are wasted agricultural waste that could be used to produce commercially valuable products. **Objective:** The objective of this research was to evaluate the bromatological and nutritional composition of *A. angustifolia* Haw. **Methodology:** Wild maguey plants were collected from six localities in Guerrero, Mexico. Physical and chemical analyses of leaf and stem were performed for the following parameters: pH, acidity (Ac), total organic carbon (TOC), total reducing sugars (ART), moisture (H), dry matter (Ms), ethereal extract (Ee), crude protein (Pc), crude fiber (Fc), ash (Cz) and concentrations of macronutrients (N, P, K, Ca, Mg), micronutrients (Fe, Zn, Cu, Mn and Mo) and Na. Data were analyzed with R Software version 4.1.3 using Tukey's test, Mann-Whitney test, principal components analysis and Pearson's correlation, all performed at a significance level of $p = 0.05$. **Results:** The stem had a high concentration of ART (7.45%) and TOC (96.3%); the leaf had a higher concentration of Fc (99.8%), Cz (36.2%), Pc (8.86%) and Ee (3.61%). In terms of nutrients, on average, Ca (49.960 g kg⁻¹), K (8.35 g kg⁻¹) and N (8.642 g kg⁻¹) were the highest concentrations in the whole plant; the leaf was the organ with the highest concentrations of Ca (71 g kg⁻¹), K (14.567 g kg⁻¹), N (14.250 g kg⁻¹) and Mg (4.800 g kg⁻¹). **Implications:** Mezcal is the main product made from *A. angustifolia*; however, the derivatives of the leaf, juice, bagasse and fiber can be used to make products that are of interest in the food, agricultural and medicinal industries. **Conclusion:** Based on the bromatological and nutritional results, *A. angustifolia* is a species to explore alternative uses that would be of sociocultural, economic and ecological importance.

Key words: Proximate analysis; agave derivatives; maguey espadín.

† Submitted December 15, 2023 – Accepted March 5, 2025. <http://doi.org/10.56369/tsaes.5351>



Copyright © the authors. Work licensed under a CC-BY 4.0 License. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

ISSN: 1870-0462.

ORCID = G. Barrientos-Rivera: <https://orcid.org/0000-0003-4499-5989>; E. Hernández-Castro: <https://orcid.org/0000-0001-6573-6236>; L. Delgadillo-Ruiz: <https://orcid.org/0000-0002-6640-2753>; A. Benavides-Mendoza: <https://orcid.org/0000-0002-2729-4315>; E.L. Serafín-Higuera: <https://orcid.org/0000-0001-9742-7526>; E.L. Esparza-Ibarra: <https://orcid.org/0000-0002-6037-3998>; J.A.R. Grada Yautentzi: <https://orcid.org/0009-0002-3848-6280>

RESUMEN

Antecedentes: En Guerrero *Agave angustifolia* es una especie que se encuentra de manera silvestre y cultivada, representa el 80% de la materia prima en la elaboración del mezcal que se produce en el estado. Los residuos generados durante la elaboración de mezcal son esquilmos agrícolas desaprovechados que pudieran utilizarse para la elaboración de productos con valor comercial. **Objetivo:** El objetivo de esta investigación fue evaluar la composición bromatológica y nutrimental del *A. angustifolia* Haw. **Metodología:** Se recolectaron plantas silvestres de maguey en seis localidades de Guerrero, México. Se realizaron análisis físicos y químicos de la hoja y tallo para los siguientes parámetros: pH, acidez (Ac), carbono orgánico total (COT), azúcares reductores totales (ART), humedad (H), materia seca (Ms), extracto etéreo (Ee), proteína cruda (Pc), fibra cruda (Fc), cenizas (Cz) y concentraciones de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg), micronutrientes (Fe, Zn, Cu, Mn y Mo) y Na. Los datos se analizaron con el Software R versión 4.1.3 utilizando las pruebas de Tukey, Mann-Whitney, análisis de componentes principales y una correlación de Pearson, todas se realizaron con un nivel de significancia de $p = 0.05$. **Resultados:** El tallo tuvo una concentración alta de ART (7.45%) y COT (96.3%); en la hoja se obtuvo una mayor concentración en Fc (99.8%), Cz (36.2%), Pc (8.86%) y Ee (3.61%). En cuanto a lo nutrimental en promedio el Ca (49.960 g kg⁻¹), K (8.35 g kg⁻¹) y N (8.642 g kg⁻¹), fueron las concentraciones más altas en toda la planta; la hoja fue el órgano que tuvo las mayores concentraciones de Ca (71 g kg⁻¹), K (14.567 g kg⁻¹), N (14.250 g kg⁻¹) y Mg (4.800 g kg⁻¹). **Implicaciones:** El mezcal es el principal producto elaborado del *A. angustifolia*, sin embargo, se pueden aprovechar los derivados de la hoja, jugo, bagazo y fibra para la elaboración de productos que sean de interés en la industria alimentaria, agropecuaria y medicinal. **Conclusión:** Con base en los resultados bromatológicos y nutrimentales, *A. angustifolia* es una especie para explorar usos alternativos que serían de importancia sociocultural, económico y ecológico.

Palabras clave: Análisis proximal; derivados del agave; maguey espadín.

INTRODUCCIÓN

La familia Agavaceae tiene una amplia distribución en Centro y Sudamérica, pero concentra su mayor diversidad en México, donde el género *Agave* cuenta con 310 especies; de las cuales, 175 se encuentran presentes en México y 135 son endémicas (Luna-Solis *et al.*, 2024). Desde el punto de vista sociocultural, económico y ecológico, los agaves son el grupo más importante de la familia Agavaceae, pues sus beneficios han permitido su aprovechamiento por la humanidad durante miles de años, ya sea en forma de alimento, combustible, material de construcción, cercas vivas, conservación de suelos, medicina, obtención de fibra, hábitat para algún tipo específico de fauna, ornamental, entre otros (Santiago-Martínez *et al.*, 2023). La producción de bebidas alcohólicas es el uso económico más importante registrado desde la época prehispánica (Martínez *et al.*, 2019). En la producción de mezcal se utilizan aproximadamente 22 especies de *Agave*, de las cuales *A. angustifolia* Haw., es considerada la más importante (Castañeda-Nava *et al.*, 2019).

Guerrero, es uno de los principales estados de México donde *A. angustifolia* se encuentra de manera silvestre y cultivada para utilizarse en la elaboración de mezcal. Esta especie es la más cultivada y representa el 85.25% de la materia prima en la elaboración del mezcal que se produce a nivel nacional (COMERCAM, 2025). En Guerrero, se destinaron 923 776 ha para el cultivo de *Agave* spp.; durante el ciclo agrícola 2022, el valor de la producción fue de MXN \$ 20 575 479.56

(120 276 8.87 USD). Además, se comercializan en promedio 1 527 700 L de mezcal tanto en el mercado nacional como en el extranjero (SIAP, 2022). El mezcal guerrerense cuenta con denominación de origen (DOM) y se produce, principalmente, en ocho municipios: Ahuacuotzingo, Chilapa, Chilpancingo, Eduardo Neri, Huitzuco, Mochitlán, Zirándaro y Zitlala (COMERCAM, 2024). También se produce en los municipios de Atenango del Río, Alcozauca, Ixcateopan, Atlixac, Huitzuco, Tlapa, Petatlán, Apango, y Coyuca de Catalán distribuidos en las regiones Norte, Centro, Costa Grande, Montaña y Tierra Caliente de Guerrero, México (Huerta-Zavala *et al.*, 2025).

El auge internacional que ha logrado la exportación de mezcal a mercados gourmet aproximadamente a 42 países, le ha permitido convertirse en un importante factor de desarrollo de comunidades rurales mexicanas. Así, el agave se ha vuelto un recurso fundamental para potenciar el desarrollo económico de las localidades productoras (COMERCAM, 2024). A pesar de que el mezcal es el principal producto elaborado, existen otros productos derivados de la hoja, jugo, bagazo y fibra del agave de interés en la industria alimentaria, agropecuaria y medicinal (Saraiva *et al.*, 2022). Por ejemplo, el jarabe de agave en los últimos años ha ganado popularidad por sus beneficios para la salud (Martínez-Zavala *et al.*, 2023).

En Guerrero, al igual que en otras regiones productoras, las hojas de *A. angustifolia* son consideradas un

esquilmos agrícola desaprovechado, como ocurre con otras especies de maguey; por tanto, es necesaria una gestión adecuada de estos esquilmos (Bautista-Justo *et al.*, 2001). La valorización de los esquilmos del agave en productos de alto valor agregado es una opción ambiental y económicamente viable, ya que tienen potencial como fuente de carbohidratos y fibra cruda, que podrían aprovecharse como sustrato para la producción de hongos comestibles y alimento para rumiantes; sin dejar de mencionar otras potencialidades que se han identificado en estudios recientes y que podrían ser otra opción de investigación como su evaluación en la industria textilera, bioenergía, enzimas, compuestos bioactivos, entre otros (Cruz *et al.*, 2013; Delgadillo *et al.*, 2015; Kumar y Ram, 2021).

En las especies de *A. fourcroydes* (Colunga-García-Marín *et al.*, 1993), *A. americana* (Bautista & Arias, 2008) y *A. tequilana* (Bautista-Espinoza *et al.*, 2024) se han realizado análisis bromatológicos con la finalidad de conocer los valores y la importancia alimenticia de estas plantas. En el caso del maguey espadín (*A. angustifolia* Haw.) los análisis bromatológicos y nutrimentales permitirían generar información básica para explorar posibles usos alternativos de la planta y sus desechos, e incidir en el manejo y conservación de la especie. Por tal motivo, el objetivo de este estudio fue evaluar la composición bromatológica y nutrimental de la hoja y el tallo de *A. angustifolia* Haw.

MATERIALES Y MÉTODOS

Trabajo de campo

La investigación se realizó en las regiones centro y norte del estado de Guerrero, México, en seis localidades y cuatro municipios: Atetla, Paso Morelos (Huitzuc de los Figueroa), Coacán (Atenango del Río), Los Amates (Chilapa de Álvarez), Motuapa y Trapiche Viejo (Ahuacuotzingo) (Figura 1). El muestreo se llevó a cabo a través de recorridos de campo en las parcelas de maguey con los productores, se realizó un muestreo estratificado convencional, considerando 3 criterios establecidos: 1. Que fuera una planta adulta de 7 a 10 años, en etapa reproductiva y con un claro inicio del desarrollo del escapo floral (quiotte) (el productor a través de su conocimiento y experiencia eligió la planta), 2. Tener varios hijuelos y 3. Ser una planta en hábitat silvestre o semicultivada. Se cosecharon y evaluaron seis ejemplares (uno por localidad) en el mes de agosto de 2019 de *A. angustifolia* Haw., de cada planta cosechada se colectaron cinco hojas (pencas) ubicadas en la parte basal de la planta y en el caso del tallo (piña) se homogeneizó en su totalidad y una porción se consideró para la muestra; las hojas se fraccionaron en dos partes: apical y basal. Etiquetadas las plantas, se trasladaron al laboratorio de Biotecnología de la Universidad Autónoma de Zacatecas para realizar los análisis bromatológicos y nutrimentales de las muestras.

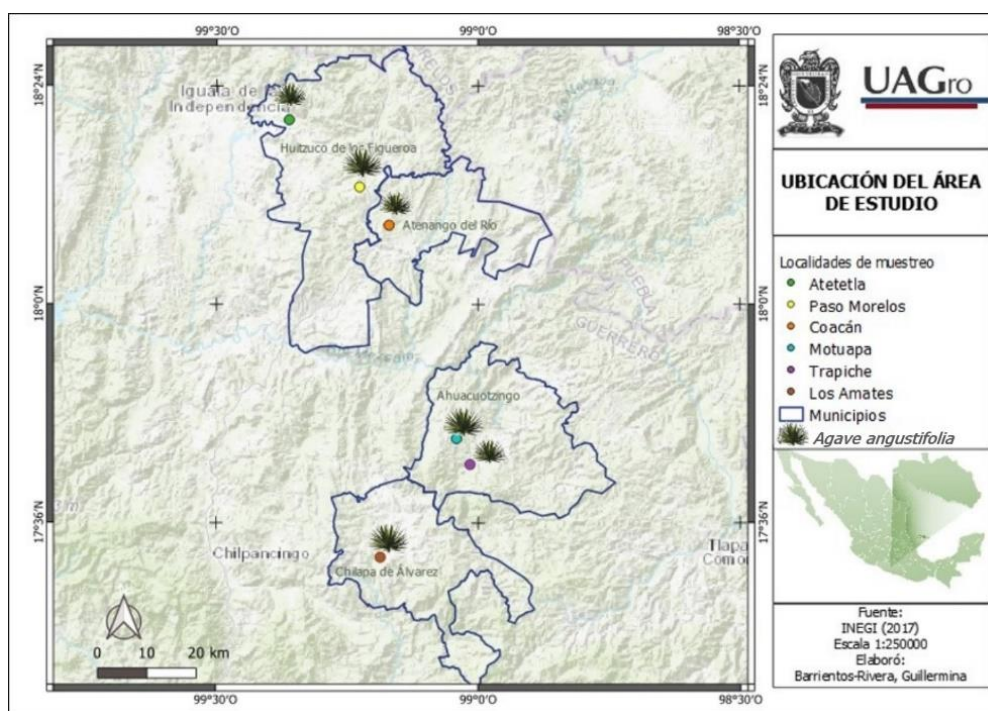


Figura 1. Localización geográfica del área de estudio en municipios de Guerrero, México.

Preparación de las muestras

Se cortaron fragmentos de entre 1 y 2 cm de las muestras de hoja y tallo previamente lavadas con agua desionizada y secadas en una estufa a 80 °C, durante 72 h. Después, se molieron a un tamaño de partícula de aproximadamente 2 mm, para proceder con los análisis bromatológicos y nutrimentales.

Análisis bromatológico

El pH se determinó en preparaciones de extracto de maguey en agua destilada, proporción 1:5 (p/v) y la acidez (Ac) por titulación (Delgadillo *et al.*, 2015). Las concentraciones de proteína cruda (Pc), extracto etéreo (Ee), humedad (H), fibra cruda (Fc), materia seca (Ms) y cenizas (Cz) se determinaron de acuerdo con la metodología propuesta por la AOAC (1990); cada muestra se analizó por triplicado. El carbono orgánico total (COT) se obtuvo con la siguiente ecuación: $COT = 100 - (\% C / 1.8)$ y los azúcares reductores totales (ART) se determinaron por la técnica de Lane y Eynon, propuesta por la NOM-070-SCFI-2016 (2017).

Análisis nutrimental

Los nutrimentos: calcio (Ca), fósforo (P), magnesio (Mg), potasio (K), sodio (Na), cobre (Cu), zinc (Zn), manganeso (Mn), hierro (Fe) y molibdeno (Mo) se determinaron por espectroscopía de emisión óptica con plasma acoplado inductivamente (ICP-OES–Perkin Elmer Optimus 7000®, USA). Los elementos Fe, Zn, Cu, Mn y Mo se muestran en ppm debido a que son concentraciones bajas y si se convierte a g kg⁻¹ los resultados serían ceros. En el caso del nitrógeno (N) se determinó por el método Kjeldahl (Horwitz, 1971). Estas determinaciones se realizaron en tallo y para la hoja, se mezcló la sección apical y basal con

base en la metodología de Delgadillo-Ruiz *et al.* (2015).

Análisis estadístico

Los datos bromatológicos se analizaron con una prueba de Tukey ($p < 0.05$) completamente al azar, para determinar la diferencia significativa de los valores bromatológicos para la sección apical y basal de la hoja y el tallo. Para los datos nutrimentales se realizó una prueba de Mann-Whitney con un nivel de significancia de $p < 0.05$, con la finalidad de determinar diferencias significativas entre el tallo y la hoja. Además, se llevó a cabo un análisis de componentes principales (ACP) para determinar la relación de las variables bromatológicas y nutrimentales en el tallo y en la hoja, a través del método de agrupamiento K-Means. Finalmente, se realizó una correlación de Pearson entre el contenido bromatológico y las concentraciones nutrimentales. Todos los análisis estadísticos se realizaron en el programa R versión 4.1.3.

RESULTADOS

Análisis bromatológico

El tallo tuvo una concentración alta y significativa en ART a diferencia de las concentraciones de Ee y Ac que fueron mayores ($p < 0.05$) en la sección apical y basal de la hoja. Las concentraciones mayores de Cz y Pc se presentaron en la sección apical, seguida de la parte basal y los valores más bajos se observaron en el tallo; sin embargo, en este último tuvo el mayor COT ($p < 0.05$). No se encontraron diferencias en el pH para las diferentes partes de la planta, cuyo valor osciló entre 5.1 y 5.4. Los mayores valores de humedad se encontraron en el tallo y la parte apical, por lo cual estas partes tuvieron el menor contenido de materia seca (Tabla 1).

Tabla 1. Concentración bromatológica (%) de la sección apical y basal de la hoja y del tallo de *A. angustifolia* Haw. en la zona de estudio.

Sección	H	Ms	Cz	COT	Fc	Ee	Pc	ART	Ac	pH
Apical	71.3a	28.6b	20.9a	88.3c	44.1a	2.05a	5.44a	1.28b	0.12a	5.18a
	±5.64	±5.64	±2.61	±1.45	±8.74	±0.2	±1.53	±0.44	±0.04	±0.21
Basal	44.9b	55.0a	15.3b	91.4b	55.7a	1.56a	3.42b	2.25b	0.13a	5.15a
	±21.4	±21.4	±3.28	±1.82	±5.42	±1.11	±0.68	±1.45	±0.07	±0.31
Tallo	64.0ab	35.9ab	6.5c	96.3a	21.6b	0.48b	1.90c	7.45a	0.02b	5.4a
	±8.87	±8.87	±3.38	±1.88	±17.6	±0.23	±0.43	±3.52	±0.007	±0.18
<i>p</i>	0.01	0.01	0.000003	0.000003	0.0005	0.003	0.00005	0.0004	0.006	0.1
R ²	0.43	0.43	0.81	0.81	0.63	0.48	0.72	0.64	0.48	0.23
Promedio	60.09	39.91	14.27	92.07	40.50	1.36	3.59	3.66	0.09	5.2

H: humedad, Ms: materia seca, Cz: cenizas, COT: carbono orgánico total, Fc: fibra cruda, Ee: extracto etéreo, Pc: proteína cruda, ART: azúcares reductores totales, Ac: acidez, pH: potencial de hidrógeno. Las medias con letra distinta en la misma columna difieren estadísticamente (Tukey; $p \leq 0.05$).

Análisis nutrimental

El Ca, Mg, K y N fueron los nutrientes con las concentraciones más altas en toda la planta. Las concentraciones de Ca, Mg, K, Na, N y Mn, fueron altas en hojas en comparación con los tallos ($p < 0.05$). Mientras que las concentraciones de los nutrientes Fe, Zn, P y Cu fueron similares estadísticamente entre hoja y tallo ($p > 0.05$; Figura 2).

Asociación bromatológica y nutrimental

El análisis de correlación demostró que las concentraciones de los nutrientes N, K y Ca tuvieron las asociaciones más altas y significativas con las variables bromatológicas Cz, Pc y Ee (Figura 4). Con respecto al ACP, los primeros cuatro componentes principales de las variables bromatológicas y nutrimental explicaron el 85% de la variación total en los datos (Tabla 2). En general, se pudo observar una separación distintiva de las variables tanto nutrimentales como bromatológicas en dos agrupaciones; una más relacionada con hoja y la otra con el tallo (Figura 3). Aunque en el gráfico solo se muestran los dos primeros componentes principales (PC1 y PC2), que en conjunto explican el 68.65% de la variación total, también se tomó en cuenta lo que aportan los componentes 3 y 4. Al incluirlos, la varianza acumulada se eleva a

79.38% y 85.29% respectivamente, lo cual ofrece una visión más completa del comportamiento general de las variables. Aun así, se optó por mantener la representación gráfica en dos dimensiones para facilitar la interpretación visual, enfocándose en los componentes que capturan la mayor parte de la estructura de los datos. Se observó que las variables pH, ART, COT, H, Zn y Mo están más relacionadas con el tallo, aunque la relación de H fue relativamente débil (Figura 3). En contraste, la hoja registró mayor número de variables asociadas, tanto nutrimentales como bromatológicas; aunque la mayoría de estas relaciones fueron fuertes para la mayoría de las variables, solo Fe, Cu y Ms mostraron relaciones relativamente débiles (Figura 3).

En la Figura 3 se observa el plano bidimensional de análisis de componentes principales (ACP) para atributos bromatológicos y nutrimentales de *A. angustifolia* Haw., en hoja (color rojo) y tallo (color verde turquesa). Se muestran los porcentajes de variación explicada para el primer componente principal (Dim1) y el segundo componente principal (Dim2). A través del método de agrupamiento K-Means, las elipses muestran los intervalos de confianza al 95% para las relaciones de los atributos bromatológicos y nutrimentales de la hoja (elipse roja) y tallo (elipse azul turquesa).

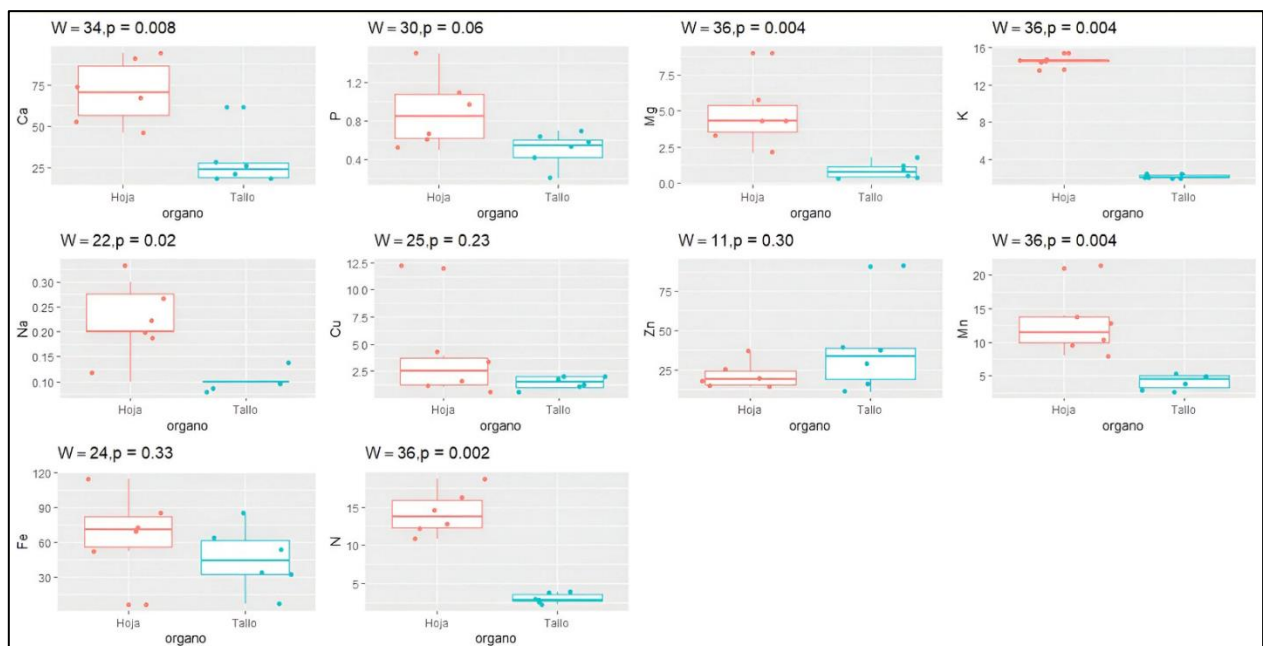


Figura 2. Concentración nutrimental de la hoja y el tallo de *Agave angustifolia* Haw., de acuerdo a la prueba de Mann-Whitney.

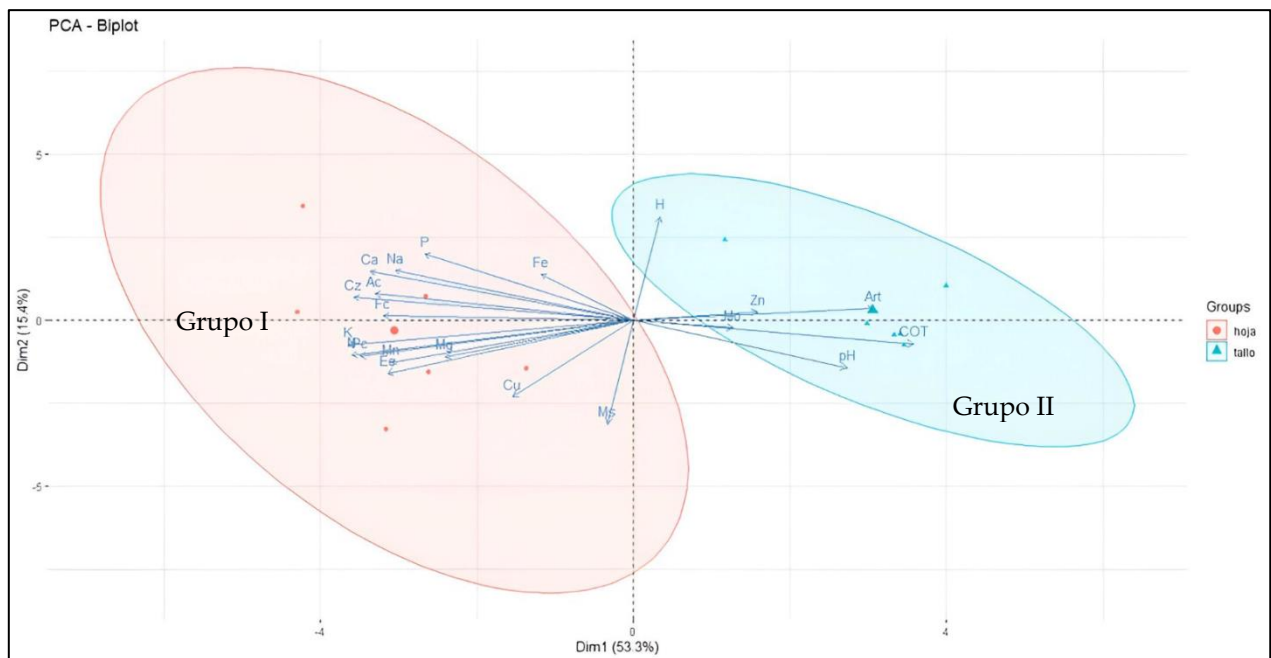


Figura 3. Plano bidimensional de los CP1 y CP2. Grupo I, atributos bromatológicos y nutrimentales de la hoja de *Agave angustifolia* Haw., Grupo II, atributos bromatológicos y nutrimentales del tallo de *A. angustifolia* Haw.

Tabla 2. Resultado del ACP, autovalores entre atributos bromatológicos (%) y nutrimentales: N, P, K, Ca, Mg y Na (g kg^{-1}), Fe, Zn, Cu, Mn y Mo (ppm) de *Agave angustifolia* Haw.

Variables	CP1	CP2	CP3	CP4
H	0.026	0.454	0.346	0.021
Ms	-0.026	-0.454	-0.346	-0.021
Cz	-0.280	0.102	-0.096	-0.145
COT	0.280	-0.102	0.096	0.145
Fc	-0.250	0.019	-0.122	-0.034
Ee	-0.246	-0.231	0.196	0.054
Pc	-0.273	-0.155	0.099	-0.040
ART	0.240	0.052	-0.034	0.039
Ac	-0.258	0.117	-0.010	0.227
pH	0.213	-0.207	0.139	-0.348
N	-0.281	-0.151	0.079	-0.049
P	-0.209	0.291	0.073	0.222
K	-0.285	-0.107	-0.062	-0.066
Ca	-0.263	0.214	-0.095	-0.133
Mg	-0.188	-0.158	-0.071	0.001
Na	-0.238	0.218	0.204	-0.013
Fe	-0.092	0.203	-0.478	-0.274
Zn	0.124	0.037	0.383	-0.394
Cu	-0.120	-0.334	0.379	0.051
Mn	-0.242	-0.183	0.243	0.113
Mo	0.099	-0.032	-0.081	0.674
Autovalor	3.34	1.79	1.50	1.11
Variabilidad acumulativa (%)	53.26	68.65	79.38	85.29

H: humedad, Ms: materia seca, Cz: cenizas, COT: carbono orgánico total, Fc: fibra cruda, Ee: extracto etéreo, Pc: proteína cruda, ART: azúcares reductores totales, Ac: acidez, pH: potencial de hidrógeno, N: nitrógeno, P: fósforo, K: potasio, Ca: calcio, Mg: magnesio, Na: sodio, Fe: hierro, Zn: zinc, Cu: cobre, Mn: manganeso, Mo: molibdeno.

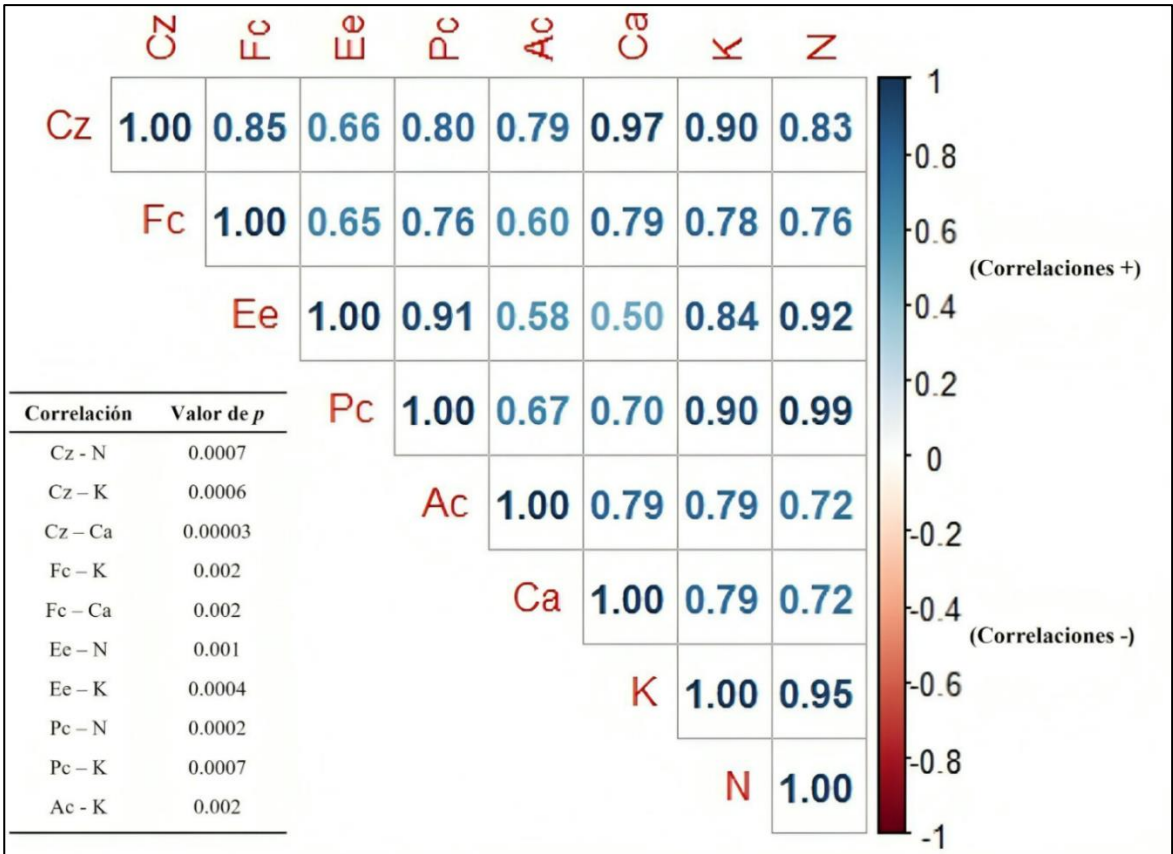


Figura 4. Análisis de correlación de atributos bromatológicos y nutrimentales en el *Agave angustifolia* Haw. Cz: cenizas, Fc: fibra cruda, Ee: extracto etéreo, Pc: proteína cruda, Ac: acidez, Ca: calcio, K: potasio, N: nitrógeno. Los valores que se encuentran en color azul son los que presentan una alta correlación positiva. Se presentan las variables que tuvieron una mayor correlación y significancia con una $p < 0.05$.

DISCUSIÓN

Análisis bromatológico

El pH de *A. angustifolia* fue ácido, con un valor promedio de 5.2 para toda la planta (Tabla 1), lo que significa que las actividades microbiológicas son bloqueadas y podrían contribuir a una protección contra alteraciones bacterianas y fúngicas (Bouaziz *et al.*, 2021). Según García *et al.* (2018), los valores de pH en las especies de *A. potatorum*, *A. seemanniana* y *A. nussaviorum* suelen ser ácidos, con valores que van de 5.2 a 5.67.

En la sección apical, se registró una humedad promedio de 71.3%, valor similar a lo reportado por Jiménez-Muñoz *et al.* (2016) de 72.87%, probablemente asociado a las condiciones climáticas, debido a que se muestreó en época lluviosa para ambos casos. Esto se explica, ya que la captación de agua por las plantas constituye un componente principal del ciclo ecohidrológico (Thomas *et al.*, 2024), es decir, es un factor vital que afecta procesos hidrológicos y ambientales,

por ejemplo, la captación de agua por las raíces, es un proceso dinámico asociado a factores exógenos y endógenos del suelo, la fisiología vegetal y las condiciones meteorológicas (Albasha *et al.*, 2020). Además, el promedio de materia seca en la sección apical y basal de la hoja fue de 41.8% ($p < 0.01$), lo cual, de acuerdo a Sierra *et al.* (2022) y Yong *et al.* (2025), la materia seca es un parámetro fundamental en el suministro total de nutrientes; lo cual contribuye con la presencia de tres variables importantes en *A. angustifolia*, estas son Fc (49.9%; $p < 0.0005$), Cz (18.1%; $p < 0.000003$) y COT (89.8%; $p < 0.000003$) (Tabla 1). Las fibras de los agaves están compuestas de hemicelulosa, materia pécica y lignina (Chaabouni *et al.*, 2006); lo cual sugiere establecer las bases para estudios posteriores como la caracterización morfológica de la fibra ya que ésta ha sido utilizada desde los años de la década de 1950 por algunas poblaciones locales de Yucatán, de modo que pudiera aprovecharse para la fabricación de canastas, sacos y cordeles (Espinoza, 2015).

En Guerrero con las fibras de *Agave angustifolia* también denominado maguey “Pitero” se hacen cuaxtles (tapete artesanal elaborado para proteger el dorso de los animales de carga), morrales y sombreros (Barrientos-Rivera *et al.*, 2020). La especie *A. angustifolia* podría tener una aplicación semejante debido al alto contenido de Fc. Además, podría tener aplicación para la obtención de pulpa y utilizarlas en la industria del papel (Jiménez-Muñoz *et al.*, 2016), o bien podría tener un potencial prometedor en la producción del complejo de enzima celulasa (Nava-Cruz *et al.*, 2016).

El contenido de Cz en la sección apical de la hoja fue de 20.99% el cual estadísticamente fue más alto que en la sección basal que tuvo 15.3% y el tallo 6.5% (Tabla 1) que al asociarse a una mayor acumulación de sales minerales; este valor es dos veces más alto que el registrado por Jiménez-Muñoz *et al.* (2016). Lo que se atribuye a la toma de muestras en época de lluvia, ya que existe una mayor probabilidad de incrementar las sales disponibles en el suelo y un incremento en la calidad nutricional de *A. angustifolia* (Bouaziz *et al.*, 2021).

Cabe considerar que COT indica la capacidad que tiene esta especie para propiciar el desarrollo bacteriológico y la actividad metabólica; por ello, el bagazo (residuo del tallo, después de la destilación del mezcal) podría aprovecharse como sustrato en la producción de *Pleurotus ostreatus* (hongo comestible) (Heredia-Solis *et al.*, 2014) y *Pleurotus djamor* (hongo medicinal o comercial) (Cruz-Moreno *et al.*, 2023), o como sustrato orgánico alternativo para el cultivo de tomate sin suelo (*Solanum lycopersicum* L.) (Martínez *et al.*, 2019), ya que el tallo mostró un valor de COT de 96.3% (Tabla 1); equivalente al valor que permitió emplear el bagazo de la caña de azúcar, como sustrato con esos fines.

Por otra parte, en la hoja se obtuvo en promedio 1.8% de Ee (Tabla 1), superior al registrado en hojas de *A. angustifolia* Haw., obtenido por Jiménez-Muñoz *et al.* (2016) que fue de 0.69%; este resultado se podría atribuir a la presencia de terpenos y ácidos grasos; compuestos propios de los agaves que contribuyen a las características sensoriales del mezcal (Campos-García *et al.*, 2018).

En cuanto a los contenidos de Pc, los niveles óptimos se han estimado entre el 7 y 8% (Silos-Espino *et al.*, 2007). El valor de la sección apical de Pc fue de 5.44% (Tabla 1) mostrando similitud a los valores obtenidos en *A. salmiana* (5%) por Silos-Espino *et al.*

(2007). Con base en la propuesta de Delgadillo y colaboradores (2015), agregar urea en estado sólido a la fermentación, aumenta la proteína cruda, para maximizar el metabolismo microbiano. Lo anterior sugiere que el maguey podría representar un forraje de mayor calidad en comparación con algunas especies del género *Opuntia* sp. (Arba, 2020). Sin duda, los residuos de maguey como la hoja y el bagazo no son una fuente de alimento completa, pero podría ser un complemento para forrajes de baja calidad como la paja o el nopal, y la combinación de éstos podría ser la alternativa para los rumiantes de las regiones en estudio. Por otra parte, la digestibilidad puede mejorar con la adición de Ca(OH)_2 para que el agave pueda ser utilizado como un suplemento en la alimentación de rumiantes; de modo que, se estaría haciendo un aporte importante de Ca en las raciones del alimento (Ramírez-Cortina *et al.*, 2012); siempre y cuando en la dieta de los rumiantes haya una relación de Ca:P de 2:1, ya que si hay demasiado calcio, puede interferir con la absorción del fósforo, lo que lleva a deficiencias funcionales (Young *et al.* 2007).

El contenido de Fc en el tallo fue de 21.61%, lo cual contribuye como un indicador en el rendimiento y calidad de la piña en la producción de mezcal (Zúñiga, 2013). En cuanto a Ac se registró un promedio de 0.12% en la hoja a diferencia del tallo con 0.02% lo que también es una ventaja en la calidad del tallo (Tabla 1).

Respecto a los contenidos de ART, se registraron valores de 1.28, 2.25 y 7.45% en la sección apical, basal y el tallo (Tabla 1), respectivamente. El valor promedio de ART en el agave varía entre 20 y 30%; de lo contrario, es considerado un menor rendimiento de azúcares. De acuerdo con Bautista-Justo *et al.* (2001), el contenido de azúcares en el jugo crudo de *A. tequilana* Weber durante el periodo de agosto a diciembre osciló entre 23.68 a 30.80% de ART.

Análisis nutrimental

En este estudio se obtuvo una alta concentración de Ca, respecto a lo registrado por Cruz *et al.* (2013), para la especie *A. angustifolia* Haw., con 40.3 g kg^{-1} en hoja y 10.25 g kg^{-1} en tallo. La heterogeneidad de las condiciones climáticas aunado al uso y manejo de los cultivares, generan diferencias en las composiciones químicas y las concentraciones nutrimentales.

De acuerdo con Cruz *et al.* (2013), Delgadillo *et al.* (2015) y Bouaziz *et al.* (2021), Ca, N, K, Fe, Zn, Mn y Na son los nutrimentos esenciales predominantes en todas las fracciones estudiadas de *A. salmiana*, *A.*

weberi, *A. angustifolia*, *A. karwinskii* y *A. americana*, respectivamente.

El Ca presente en la hoja de *A. angustifolia* registró un valor superior al tallo, el cual es un elemento que les proporciona rigidez a los tejidos de las plantas, participa en procesos metabólicos, forma parte de la división celular y ayuda a mantener la estructura de los cromosomas (Khan *et al.*, 2023). En los agaves, el Ca contribuye a una mayor tolerancia contra diferentes tipos de estrés, plagas y enfermedades. Sin embargo, considerando que el bagazo es un esquileo agrícola; podría tener un valor agregado ya que de acuerdo con Chávez-Guerrero e Hinojosa (2010), es una fuente importante de compuestos de Ca después de su incineración.

Aunado a lo anterior, los requerimientos de Ca en bovinos oscilan entre 1.8 a 10.4 g kg⁻¹ de MS, las ovejas requieren 2.1 a 5.1 g Kg⁻¹ MS; por tanto, durante la temporada de estiaje, los requerimientos de Ca en rumiantes se pueden cubrir con esta especie (NCR, 2007; Delgadillo *et al.*, 2015).

Asociación bromatológica y nutrimental

El N, K y Ca son macronutrientes que se requieren en mayores concentraciones para las plantas, estos nutrientes fueron los únicos que tuvieron un coeficiente de correlación alta con Ee, Cz y Pc (Figura 4), y se debe, a que son constituyentes de moléculas orgánicas biológicamente importantes en los componentes de las células vegetales, incluyendo proteínas, ácidos nucleicos, purinas, pirimidinas, coenzimas (vitaminas) y muchos otros compuestos fundamentales en la activación de procesos fisiológicos para el desarrollo y crecimiento de las plantas (Bhattacharya, 2021).

La implementación de un manejo agronómico y nutrimental adecuado en el *Agave angustifolia* sería fundamental para mejorar sus características bromatológicas y, por lo tanto, aumentar su producción. Se ha estudiado en los agaves que una aplicación adecuada de N, K, P y Ca tienen efectos positivos en el aumento de la biomasa y en el contenido de azúcares del tallo (Barrios *et al.*, 2006, Ríos-Ramírez *et al.*, 2021).

La hoja presentó una mayor relación con la concentración de nutrimentos y variables bromatológicas (Figura 3), esto puede deberse a que la hoja tiene características fisiológicas, morfológicas y anatómicas que le permiten a la planta poder adaptarse a condiciones ambientales desfavorables (Ramírez-Tobías *et al.*, 2014). Desde la posición de Cruz-García *et al.*

(2017), las hojas de agave funcionan como almacénadoras de nutrientes, en consecuencia, la senescencia y pérdida foliar es un proceso de reciclaje que consiste en transportar los nutrientes de las hojas viejas a las hojas jóvenes. Lo cual dependerá del sustrato y disponibilidad de nutrientes.

CONCLUSIONES

La composición bromatológica y nutrimental del *A. angustifolia* Haw., permitió mostrar perspectivas para lograr un uso alternativo de la planta y sus desechos (hoja y el tallo), que son considerados esquileos agrícolas en la región al destilar el mezcal. Los desechos del maguey pueden posiblemente usarse como sustrato orgánico alternativo para el cultivo de otras plantas; así como la obtención de pulpa de celulosa para la elaboración de papel, también podría ser una alternativa de forraje para los rumiantes de las regiones en estudio, siendo una buena fuente de fibra y compuestos nutrimentales. Sin embargo, se deben considerar estudios más específicos para valorar la caracterización morfológica de dichos residuos.

En la evaluación nutrimental la mayoría de macro y micronutrientes se encontraron en mayor proporción en la hoja, que en el tallo. El Ca resultó el elemento mayoritario en toda la planta, seguido del N, K y Mg, los nutrimentos básicos en la nutrición de una planta. Además, sumado a la evaluación de la calidad del bagazo, éste podría ser una fuente importante de Ca para el aprovechamiento de cultivos y sumarlo a los requerimientos de forraje.

Agradecimientos

Nuestro respeto y agradecimiento a los productores del área de estudio y demás participantes que contribuyeron en este trabajo. Muy en especial agradezco mucho el apoyo incondicional a la Dra. Olivia Delgadillo Ruíz†.

Funding. The article is the result of research conducted through project 263188 and a grant from the Secretariat of Science, Humanities, Technology and Innovation (SECIHTI).

Conflict of interest. There are no conflicts of interest.

Compliance with ethical standards. Not applicable.

Data availability. Data available upon reasonable request to the authors.

Author Contribution Statement (CRediT). G. Barrientos-Rivera – Conceptualization, methodology, validation, investigation, review and Writing - original draft and formal análisis. E. Hernández-Castro – Funding acquisition and project administration. L. Delgadillo-Ruiz – Formal analysis, methodology, writing-original draft and investigation. A. Benavides-Mendoza – Writing – review & editing. E.L. Serafin-Higuera – Conceptualization, methodology and investigation. E.L. Esparza-Ibarra – Formal analysis, methodology and validation. J.A.R. Grada-Yautentzi – Conceptualization, visualization and writing-review & editing.

REFERENCES

- Albasha, R., Mailhol, J. C., and Cheviron, B. 2015. Compensatory uptake functions in empirical macroscopic root water uptake models—experimental and numerical analysis. *Agricultural Water Management*, 155, pp: 22-39. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.03.010>
- Arba, M. 2020. The Potential of Cactus Pear (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.) as Food and Forage Crop. In Hirich A, Choukr-Allah R, Ragab R. (eds.). *Emerging Research in Alternative Crops*, Springer, Cham: Dubai, UAE, pp: 335–357. https://doi.org/pbidi.unam.mx:2443/10.1007/978-3-319-90472-6_15
- Barrientos-Rivera, G., Hernández-Castro, E., Sampedro-Rosas, M.L., Segura-Pacheco, H.R. 2020. Conocimiento tradicional y academia: productores de maguey y mezcal de pequeña escala en las regiones Norte y Centro de Guerrero, México. *Sociedad y Ambiente*, 1 (23), pp. 1–28. <https://doi.org/10.31840/sya.vi23.2173>
- Barrios, A.A., Ariza, F.R., Molina, M.J.M., Espinosa, P.H., Bravo, M.E. 2006. Manejo de la fertilización de magueyes mezcaleros cultivados (*Agave* spp) de Guerrero. Iguala, Gro. México: INIFAP. ISBN: 970-43-0052-2.
- Bautista, N. and Arias, G.C. 2008. Estudio químico bromatológico de aguamiel de *Agave americana* L. (Maguey). *Ciencia e Investigación*, 11(2), pp. 46-51.
- Bautista-Espinoza, P.I., Reynoso-Camacho, R., Mares-Mares, E., Granados-Arvizu, J.A., García-Almendárez, B.E., and Regalado-González, C. 2024. Revalorization of agave bagasse in the obtention of type II sourdough inoculated with *Lactococcus lactis* NRRL B-50307. *Food Bioscience*, 58, 103803. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.103803>
- Bautista-Justo, M., García-Oropeza, L., Barboza-Corona, J.E. and Parra-Negrete. L.A. 2001. El *Agave tequilana* Weber y la producción de tequila. *Acta Universitaria*, 11 (2), pp. 26–34. <https://doi.org/10.15174/au.2001.301>
- Bhattacharya, A. and Bhattacharya, A. 2021. Mineral nutrition of plants under soil water deficit condition: A Review. *Soil water deficit and physiological issues in plants*, pp. 287-391. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-33-6276-5_4
- Bouaziz, M.A., Bchir, B., Chalbi, H., Sebi, H., Karra, S., Smaoui, S. and Besbes, S. 2021. Techno-functional characterization and biological potential of *Agave americana* leaves: Impact on yoghurt qualities. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15 (1), pp. 309–326. <https://doi.org/10.1007/s11694-020-00632-9>
- Campos-García, J., Vargas, A., Farías-Rosales, L., Miranda, A.L., Meza-Carmen, V. and Díaz-Pérez, A.L. 2018. Improving the organoleptic properties of a craft mezcal beverage by increasing fatty acid ethyl ester contents through *ATF1* expression in an engineered *Kluyveromyces marxianus* UMPe-1 yeast. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 66 (17), pp. 4469–4480. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b00730>
- Castañeda-Nava, J.J., Rodríguez-Domínguez, J.M., Camacho-Ruiz, R.M., Gallardo-Valdez, J., Villegas-García, E. and Gutiérrez-Mora, A. 2019. Morphological comparison among populations of *Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck (Asparagaceae), a species used for mezcal production in Mexico. *Flora*, 255 (1), pp. 18–23. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2019.03.019>

- Chaabouni, Y., Drean, J.Y., Msahli, S. and Sakli, F. 2006. Morphological characterization of individual fiber of *Agave americana* L. *Textile Research Journal*, 76 (5), pp. 367–374. <https://doi.org/10.1177/0040517506061965>
- Chávez-Guerrero, L. and Hinojosa, M. 2010. Bagasse from the mezcal industry as an alternative renewable energy produced in arid lands. *Fuel*, 89 (12), pp. 4049–4052. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2010.07.026>
- Colunga-GarcíaMarín, P., Coello-Coello, J., Espejo-Peniche, L. and Fuente-Moreno, L. 1993. *Agave* studies in Yucatan, Mexico. II. Nutritional value of the inflorescence peduncle and incipient domestication. *Economic Botany*, 1, pp. 328–334. <https://www.jstor.org/stable/4255529>
- COMERCAM (Consejo Mexicano Regulador de la Calidad del Mezcal). 2024. Denominación de Origen Mezcal (DOM). Oaxaca, México. <http://www.crm.org.mx/> (Recuperado: febrero 2024).
- COMERCAM (Consejo Mexicano Regulador de la Calidad del Mezcal). 2025. Informe estadístico. <https://comercam-dom.org.mx/estadisticas/> (Recuperado: junio, 2025).
- CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). 2008. Portal de Geo-información Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad. <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/> (Recuperado: junio 2022).
- Cruz García, H., Campos Ángeles, G.V., Enríquez del Valle, J.R., Velasco, V.A. and Rodríguez Ortiz, G. 2017. Senescencia foliar en plantas micropropagadas de *Agave americana* durante su aclimatización. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 8(2), pp. 381–391. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i2.58>
- Cruz, G.H., Enríquez-del Valle, J.R., Velasco, V.A., Ruiz, L.J., Campos, A.G.V. and Aquino, G.D.E. 2013. Nutrientes y carbohidratos en plantas de *Agave angustifolia* Haw. y *Agave karwinskii* Zucc. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6 (1), pp. 1161–1173. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i6.1280>
- Cruz-Moreno, B.A., Pérez, A.F., García-Trejo, J.F., Pérez-García, S.A. and Gutiérrez-Antonio, C. 2023. Identification of Secondary Metabolites of Interest in *Pleurotus djamor* Using *Agave tequilana* Bagasse. *Molecules*, 28(2), pp. 557. <https://doi.org/10.3390/molecules28020557>
- Delgadillo, R.L., Bañuelos, V.R., Esparza, I.E.L., Gutiérrez, B.H., Cabral, A.F.J. and Muro, R.A. 2015. Evaluación del perfil de nutrientes de bagazo de agave como alternativa de alimento para rumiantes. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 1 (11), pp. 2099–2103. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i11.778>
- Espinoza, L. 2015. Generalidades e importancia de los agaves en México. Herbario CICY, Yucatán, México. http://www.cicy.mx/sitios/desde_herbario
- García, L.E., López, S.C., Martínez, C.J.M. and Palma, C.F. 2018. Nutritional Characterization of a sweet food prepared with *Agave* spp. in the Mixteca Oaxaqueña. In Lozano MS (ed.). *Bitechnology: Ifbreschnsasts AC*, México. pp. 25. <http://www.bio.edu.mx/bio-tecnologia-cumbre-2018/> (Recuperado: julio 2022).
- González, M. 2017. Una aproximación al producto mineralógico del ambiente edáfico por la acción de los elementos climáticos. *Terra*, Nueva Etapa 33 (54), pp. 189–205. <https://www.re-dalyc.org/pdf/721/72155359008.pdf>
- Gschaedler, M.A.C., Villarreal, H.S., Gutiérrez, M.A., Ortiz, B.R.I., Moreno, T.C.R., Lappe, O.P.E., Larralde, C.C.P., Contreras, R.S.M., Dávila, V.G. and Gallardo, V.J. 2017. Panorama del aprovechamiento de los *Agaves* en México. Guadalajara, Jal. México. <http://ciatej.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1023/646>
- Heredia-Solis, A., Esparza-Ibarra, E.L., Romero-Bautista, L., Cabral-Arellano, F. and Bañuelos-Valenzuela, R. 2014. Bagazos de *Agave salmiana* y *Agave weberi* utilizados como sustrato para producir *Pleurotus ostreatus*. *Revista Iberoamericana de Ciencias*, 5 (1),

- pp. 103–110. <http://ricax-can.uaz.edu.mx/jspui/handle/20.500.11845/565>
- Horwitz, W. 1971. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. Washington, USA: AOAC International. ISBN 0935584145.
- Huerta-Zavala, J., García-Mendoza, A. J., Hernández-Castro, E., Segura-Pacheco, H. R., Damián-Nava, A. and Godínez-Jaimes, F. 2025. Caracterización morfológica de poblaciones del complejo *Agave angustifolia* (Asparagaceae: Agavoideae) en la región norte de Guerrero, México. *Polibotánica*, (59), pp. 117–139. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.59.7>
- Jiménez-Muñoz, E., Prieto-García, F., Prieto-Méndez, J., Acevedo-Sandoval, O.A. and Rodríguez-Laguna, R. 2016. Caracterización físico-química de cuatro especies de agaves con potencialidad en la obtención de pulpa de celulosa para elaboración de papel. *DYNA*, 83 (197), pp. 232–242. <https://doi.org/10.15446/dyna.v83n197.52243>
- Young, V.R., Richards, W.P.C., Lofgreen, G.P., Luick, J.R. 2007. Agotamiento de fósforo en ovejas y la proporción de calcio a fósforo en la dieta con referencia a la absorción de calcio y fósforo. *Revista Británica de Nutrición*, 20(4), pp. 783–794. <https://doi:10.1079/BJN19660080>
- Khan, M.I.R., Nazir, F., Maheshwari, C., Chopra, P., Chhillar, H. and Sreenivasulu, N. 2023. Mineral nutrients in plants under changing environments: A road to future food and nutrition security. *The Plant Genome*, 16(4), pp. 20362. <https://doi.org/10.1002/tpg2.20362>
- Kumar, A., Ram, C. 2021. *Agave* biomass: a potential resource for production of value-added products. *Environmental Sustainability*, 1 (4), pp. 245–259. <https://doi.org/10.1007/s42398-021-00172-y>
- Luna-Solís, H.A., Ochoa-Martínez, L.A., González-Herrera, S.M., Rutiaga-Quñones, O.M. and Wong-Paz, J.E. 2024. Extraction of agavins from *Agave durangensis* leaves: Structural, thermal and techno-functional characterization. *Food Bioscience*, 57 (1), pp. 103563. <https://doi-org.pbidi.unam.mx:2443/10.1016/j.fbio.2023.103563>
- Martínez, S., Núñez-Guerrero, M., Gurrola-Reyes, J.N., Rutiaga-Quñones, O.M., Paredes-Ortiz, A., Soto, N.O., Flores-Gallegos, A.C. and Rodríguez-Herrera, R. 2019. Mescal an alcoholic beverage from *Agave* spp. with great commercial potential. *Alcoholic Beverages*, 1 (7), pp. 113–140. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815269-0.00004-0>
- Martínez-Zavala, M., Cruz, M., Ruiz, H. A., Rodríguez-Jasso, R. M., Contreras, J. C., Neira-Vielma, A. A. and Belmares, R. 2023. Develop of agave syrup using emerging technology by ohmic heating. *Food and Humanity*, 1, pp. 1637–1644. <https://doi.org/10.1016/j.fooHum.2023.11.012>
- Nava-Cruz, N.Y., Contreras-Esquivel, J.C., Aguilar-González, M.A., Nuncio, A., Rodríguez-Herrera, R. and Aguilar, C.N. 2016. *Agave atrovirens* fibers as substrate and support for solid-state fermentation for cellulase production by *Trichoderma asperellum*. *Biotech*, 6 (1), pp. 1–12. <https://doi.org/10.1007/s13205-016-0426-6>
- NCR. 2007. Nutrient requirements of small ruminants: sheep, goats, cervids and new world camelids. Animal Nutrition Series. National Research Council. National Academy Press, Washington, D. C., U. S. A.
- NOM: NOM-070-SCFI-2016. 2017. Norma Oficial Mexicana, Bebidas alcohólicas - Mezcal-Especificaciones. Secretaría de Economía. Diario Oficial de la Federación, México. https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5472787&fecha=23/02/2017#gsc.tab=0
- Otzen, T. and Manterola, C. 2017. Técnicas de muestreo sobre una población a estudio. *International Journal of Morphology*, 35 (1), pp. 227–232. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-95022017000100037>

- Ramírez-Cortina, C.R., Alonso-Gutiérrez, M.S. and Rigal, L. 2012. Valorización de residuos agroindustriales del tequila para alimentación de rumiantes. *Revista Chapingo serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 18 (3), pp. 449–457. <https://doi.org/10.5154/r.rchs-cfa.2011.08.059>
- Ramírez-Tobías, H. M., Peña-Valdivia, C. B. and Aguirre, J. R. 2014. Respuestas bioquímico-fisiológicas de especies de *Agave* a la restricción de humedad. *Botanical Sciences*, 92(1), pp. 131-139.
- Ríos-Ramírez, S.D.C., Enríquez-del Valle, J.R., Rodríguez-Ortiz, G., Ruíz-Luna, J. and Velasco-Velasco, V.A. 2021. Growth of *Agave angustifolia* Haw. in relation to its nutritional condition. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 12(5), pp. 865-873. <https://doi.org/10.29312/re-mexca.v12i5.2638>
- Santiago-Martínez, A., Pérez-Herrera, A., Martínez-Gutiérrez, G.A. and Meneses, M.E. 2023. Contributions of agaves to human health and nutrition. *Food Bioscience*, 102753. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.102753>
- Saraiva, A., Carrascosa, C., Ramos, F., Raheem, D. and Raposo, A. 2022. *Agave* syrup: Chemical analysis and nutritional profile, applications in the food industry and health impacts. *International journal of environmental research and public health*, 19(12), 7022. <https://doi.org/10.3390/ijerph19127022>
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2022. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Ciudad de México, México. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/> (Recuperado: febrero 2022).
- Sierra, M.J., Elizondo, L.J.C., López, A.D., Quiñonez, Y., Barron, Z., Díaz, M.A., Saldivar, A.P.S., and Martinez, A. J.R. 2023. Monitoring System for Dry Matter Intake in Ruminants. In: Mejía, J., Muñoz, M., Rocha, Á., Hernández-Nava, V. (eds) *New Perspectives in Software Engineering*. CIMPS 2022. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 576. Springer, Cham. https://doi.org/pbidi.unam.mx:2443/10.1007/978-3-031-20322-0_20
- Silos-Espino, G., González-Cortés, N., Carrillo-López, A., Guevaralara, F., Valverde-González, M.E. and Paredes-López, O. 2007. Chemical composition and *in vitro* propagation of *Agave salmiana* ‘Gentry’. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 82 (3), pp. 355–359. <https://doi.org/10.1080/14620316.2007.11512242>
- Silva-Mendoza, J., Gómez-Treviño, A., Lopez-Chuken, U., Blanco-Gámez, E.A., Chávez-Guerrero, L. and Cantú-Cárdenas, M.E. 2020. *Agave* leaves as a substrate for the production of cellulases by *Penicillium* sp. and the obtainment of reducing sugars. *Journal of Chemistry*, 2020 1, pp. 1–7. <https://doi.org/10.1155/2020/6092165>
- Thomas, A., Yadav, B. K., and Šimůnek, J. 2024. Water uptake by plants under nonuniform soil moisture conditions: A comprehensive numerical and experimental analysis. *Agricultural Water Management*, 292, 108668. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2024.108668>
- Yong, F., Liu, B., Li, H., Hao, H., Fan, Y., Datsomor, O., Han, R. and Jiang, H. 2025. Relationship between dietary fiber physicochemical properties and feedstuff fermentation characteristics and their effects on nutrient utilization, energy metabolism, and gut microbiota in growing pigs. *J Animal Sci Biotechnol*, 16, 1. <https://doi.org/pbidi.unam.mx:2443/10.1186/s40104-024-01129-x>
- Zúñiga, E.L. 2013. Nutrición de *Agave tequilana* y manejo de los fertilizantes en un sistema de producción intensiva (riego por goteo). Campo Experimental Las Huastecas – CIRNE-INIFAP-SAGARPA, Tamaulipas, México. pp. 58. <http://www.inifap-cirne.gob.mx/Biblioteca/Publicaciones/944.pdf>