



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS

CARACTERIZACIÓN MORFOMÉTRICA DE AGAVES PULQUEROS

(*Agave spp.*) DE LA REGIÓN OTOMÍ HUITZIZILAPAN,

ESTADO DE MÉXICO

TESIS

QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO AGRÓNOMO EN FLORICULTURA

PRESENTA:

VIRIDIANA HERNÁNDEZ DE LA CRUZ

MODALIDAD: TESIS

ASESORES: DRA. ELIA BALLESTEROS RODRÍGUEZ,

DR. OMAR FRANCO MORA

DR. LORENZO FELIPE SÁNCHEZ TEYER

MAYO 2022

CAMPUS UNIVERSITARIO "EL CERRILLO", EL CERRILLO PIEDRAS BLANCAS,

MUNICIPIO DE TOLUCA, MÉX.



ÍNDICE

Página

<i>DEDICATORIA</i>	<i>¡Error! Marcador no definido.</i>
<i>AGRADECIMIENTOS</i>	<i>¡Error! Marcador no definido.</i>
ÍNDICE	<i>i</i>
LISTA DE CUADROS	<i>iii</i>
LISTA DE FIGURAS	<i>iv</i>
RESUMEN	<i>vi</i>
ABSTRACT	<i>vii</i>
I INTRODUCCIÓN	<i>1</i>
II REVISIÓN DE LITERATURA	<i>2</i>
2.1 Contexto del agave pulquero en México.....	<i>2</i>
2.2 Producción nacional del agave pulquero.....	<i>4</i>
2.3 Características del cultivo de maguey en el Valle de México	<i>7</i>
2.4 Situación social y económica de la región otomí Huitzizilapan	<i>9</i>
2.5 Importancia histórica y cultural del agave pulquero en la región otomí Huitzizilapan	<i>10</i>
2.6 Descripción del género <i>Agave</i>	<i>13</i>
2.6.1 Reproducción de los agaves.....	<i>14</i>
2.7 Taxonomía del género <i>Agave</i>	<i>16</i>
2.7.1 Especies de maguey pulquero	<i>18</i>
2.7.2 Descripción de <i>Agave salmiana</i> Otto ex Salm-Dyck.....	<i>18</i>
2.7.3 Descripción de <i>Agave americana</i> var. <i>expansa</i> (Jacobi) Gentry	<i>20</i>
2.8 Morfometría y descripción varietal de agave.....	<i>21</i>
III MATERIALES Y MÉTODOS	<i>22</i>
3.1 Área de estudio	<i>22</i>
3.2 Cuantificación de caracteres cuantitativos	<i>23</i>
3.2.1 Cuantificación de caracteres de planta	<i>24</i>
3.2.2 Cuantificación de caracteres de hoja.....	<i>24</i>
3.3 Análisis estadístico	<i>25</i>

<i>IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN</i>	26
4.1 Análisis de componentes principales (ACP).....	27
4.2 Análisis de conglomerados jerárquico.....	34
<i>V CONCLUSIONES</i>	38
<i>V LITERATURA CITADA</i>	41

LISTA DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Productos obtenidos de distintas especies de agave en México.	3
2	Producción nacional de maguey pulquero.	4
3	Caracteres morfométricos evaluados <i>in situ</i> en agaves pulqueros (<i>Agave</i> spp.) de la región otomí Huitzilapan, Estado de México.	25
4	Valores propios y proporción de la varianza total explicada por cada uno de los componentes principales, con base en caracteres morfométricos de agaves pulqueros (<i>Agave</i> spp.).	27
5	Vectores característicos asociados a los tres primeros componentes principales del análisis de variables morfométricas en agaves pulqueros (<i>Agave</i> spp.).	28
6	Matriz de correlación entre variables cuantitativas utilizadas para caracterizar germoplasma del género <i>Agave</i> .	30
7	Estadísticos simples aplicados en variables cuantitativas de todos los individuos de agave.	32

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Superficie sembrada en los principales estados productores de maguey pulquero durante 2015-2019.	6
2	Superficie sembrada y superficie cosechada de maguey pulquero durante 2009-2019.	6
3	Valor de la producción de maguey pulquero en los últimos 10 años.	7
4	Clones de magueyes pulqueros listos para siembra en la región otomí de Huitzilapan.	8
5	Maguey pulquero (A) y pulque (B) de la región otomí Huitzilapan.	12
6	Productos obtenidos del maguey pulquero en la región otomí Huitzilapan.	13
7	A) Roseta mostrando clones de agave; B) planta con desarrollo de inflorescencia joven y; C) inflorescencia en forma de panícula.	16
8	Ejemplares del género <i>Agave</i> .	17
9	Ejemplar de <i>Agave americana</i> var. <i>americana</i> del Jardín Botánico Regional Roger Orellana de Mérida, Yucatán.	20
10	Variedades de agave pulquero de la región otomí de Huitzilapan.	23

- 11 Figura 11. Plantas representativas (A y B) y variables para caracterizar morfométricamente agaves pulqueros: altura de planta (C), anchura de la espina terminal (D), longitud de la espina terminal (E), anchura de dientes aculeiformes (F), longitud de hoja (G) y anchura de la hoja (H). 33
- 12 Dendrograma de 60 individuos de agave pulquero obtenido mediante el método de agrupamiento Ward. Grupo I, II, III y IV. 36

RESUMEN

CARACTERIZACIÓN MORFOMÉTRICA DE AGAVES PULQUEROS (*Agave spp.*) DE LA REGIÓN OTOMÍ HUITZIZILAPAN, ESTADO DE MÉXICO

Viridiana Hernández de la Cruz. Ingeniero Agrónomo en Floricultura. Universidad Autónoma del Estado de México. Facultad de Ciencias Agrícolas.

Asesores: ¹Dra. Elia Ballesteros Rodríguez ²Dr. Omar Franco Mora
³Dr. Lorenzo Felipe Sánchez Teyer

1Unidad de Biotecnología. Centro de Investigación Científica de Yucatán A.C. Col. Chuburná de Hidalgo, Mérida, Yucatán. Código Postal 97205. Tel. (52) 999-942-8330 ext. 115. santey@cicy.mx

2Unidad de Biotecnología. Centro de Investigación Científica de Yucatán A.C. Col. Chuburná de Hidalgo, Mérida, Yucatán. Código Postal 97205. Tel. (52) 999-9428330 ext. 123. ely_br_2002@yahoo.com.mx

3Universidad Autónoma del Estado de México. Facultad de Ciencias Agrícolas. Campus Universitario El Cerrillo, El Cerrillo Piedras Blancas Mpio. Toluca de Lerdo, Méx. Código Postal 50200. Tel. (52) 722-296-5531. ofrancom@uaemex.mx

La disminución gradual de la población de agaves pulqueros en la región Otomí Huitzizilapan, ubicada en el municipio de Lerma, Estado de México, requiere de la identificación de especies y/o variedades en riesgo, por lo que éste trabajo se planteó como objetivo caracterizar la variación morfométrica de agaves pulqueros de la región. Se obtuvieron datos morfométricos correspondientes a caracteres cuantitativos de 60 individuos de agaves pulqueros. El análisis de correlación permite inferir que a mayor altura de planta se tiene una mayor longitud de hoja. No obstante que el agrupamiento jerárquico aglomerativo sugirió la existencia de cuatro grupos, no se observó agrupación por variedad debido a que las plantas son fenotípicamente iguales o muy emparentadas.

Palabras clave: Carácter cuantitativo, análisis de correlación, agrupamiento jerárquico aglomerativo.

ABSTRACT

“MORPHOMETRIC CHARACTERIZATION OF PULQUERO AGAVES (*Agave spp.*) FROM THE OTOMI HUITZIZILAPAN REGION, STATE OF MEXICO”

Viridiana Hernández de la Cruz. Ingeniero Agrónomo en Floricultura. Universidad Autónoma del Estado de México. Facultad de Ciencias Agrícolas.

Asesores: ¹Dra. Elia Ballesteros Rodríguez ²Dr. Omar Franco Mora
³Dr. Lorenzo Felipe Sánchez Teyer

1Unidad de Biotecnología. Centro de Investigación Científica de Yucatán A.C. Col. Chuburná de Hidalgo, Mérida, Yucatán. Código Postal 97205. Tel. (52) 999-942-8330 ext. 115. santey@cicy.mx

2Unidad de Biotecnología. Centro de Investigación Científica de Yucatán A.C. Col. Chuburná de Hidalgo, Mérida, Yucatán. Código Postal 97205. Tel. (52) 999-9428330 ext. 123. ely_br_2002@yahoo.com.mx

3Universidad Autónoma del Estado de México. Facultad de Ciencias Agrícolas. Campus Universitario El Cerrillo, El Cerrillo Piedras Blancas Mpio. Toluca de Lerdo, Méx. Código Postal 50200. Tel. (52) 722-296-5531. ofrancom@uaemex.mx

Gradual disappearance of pulque agaves in the Otomi-Huitzizilapan region located in the Lerma municipality, State of Mexico, requires identification of the species or varieties at risk, therefore, the main objective was to characterize the morphometric variation of pulque agaves in the region. Morphometric data corresponding to quantitative characters was obtained from 60 specimens of pulque agaves. Correlation analysis infers those taller plants have longer leaves. Even though agglomerative hierarchical clustering suggested the existence of four groups, variety grouping was not observed because the varieties are phenotypically equal or very similar parented.

Key words: quantitative character, correlation analysis, agglomerative hierarchical clustering.

I INTRODUCCIÓN

La desaparición paulatina de la población de agaves (o magueyes, como se les conoce localmente) en la región otomí Huitzizilapan en los últimos 30 años, ha contribuido, entre otros factores, a que la producción de pulque deje de ser una importante fuente de ingresos, para convertirse en una actividad practicada por muy pocos de sus habitantes. Por lo tanto, surge la necesidad de identificar las especies y/o variedades que están en riesgo, para analizar información que permita generar proyectos de divulgación, conservación, protección y aprovechamiento racional de tan valioso recurso.

Éste trabajo plantea como objetivos caracterizar la variación morfométrica de agaves pulqueros de la región otomí Huitzizilapan, en el municipio de Lerma, Estado de México, mediante la cuantificación de caracteres de la planta y de las hojas. La hipótesis propuesta afirma que la población de agaves pulqueros de la región está integrada por diversas especies, subespecies y variedades que pueden identificarse por sus diferencias morfométricas.

II REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Contexto del agave pulquero en México

Los agaves en México se han aprovechado durante siglos como fuente de alimento, bebida, medicina, combustible, cobijo, ornato, fibra textil, abono, en la construcción de viviendas y en la elaboración de implementos agrícolas, entre otros usos (García-Mendoza, 2007). Según Lorenzo (2007) los agaves pueden agruparse de acuerdo con el producto que se extrae de ellos en textileros o henequeneros (península de Yucatán); mezcaleros (zona de Oaxaca y Guerrero); tequileros (zona de Jalisco, Nayarit, Michoacán, Guanajuato y Tamaulipas) y pulqueros (zona del altiplano central). Las principales especies del género *Agave* utilizadas como materia prima en procesos de producción tradicional y agroindustrial en México se presentan en el Cuadro 1.

La utilización del agave, conocido como maguey en el centro del país, ha sido una constante histórica desde el siglo VI a. n. e. en los pueblos de Mesoamérica. Se considera que el maguey fue una de las primeras plantas cultivadas en la región. La bebida fermentada obtenida del maguey, conocida actualmente como pulque, fue llamada octli en náhuatl y seí en otomí. Previo a la época colonial, el pulque

era una bebida ritual que estaba limitada a los sacerdotes y ancianos; la restricción a su consumo se rompió con la conquista española. El maguey fue uno de los cultivos más redituables debido a su rusticidad, utilidad y tradición cultural, cualidades que contribuyeron a su amplio aprovechamiento (Lorenzo, 2007).

Cuadro 1. Productos obtenidos de distintas especies de agave en México.

Especie	Producto	Referencia
<i>Agave tequilana</i> F.A.C. Weber.	Tequila	Bautista-Justo <i>et al.</i> , 2001; Pérez-Hernández <i>et al.</i> , 2016.
<i>Agave sisalana</i> Perrine ex Engelm.	Fibra natura	Martin <i>et al.</i> , 2009.
<i>Agave fourcroydes</i> Lem.	Fibra natural	Abreu <i>et al.</i> , 2007.
<i>Agave angustifolia</i> Haw.	Mezcal	Parra-Negrete <i>et al.</i> , 2010; Pérez-Hernández <i>et al.</i> , 2016.
<i>Agave cupreata</i> Trel. & A.Berger.	Mezcal	Pérez-Hernández <i>et al.</i> , 2016.
<i>Agave rhodacantha</i> Trel.	Mezcal	Pérez-Hernández <i>et al.</i> , 2016.
<i>Agave americana</i> L.	Producción de aguamiel, pulque, ornamento y sogas	Parra-Negrete <i>et al.</i> , 2010.
<i>Agave salmiana</i> Otto ex Salm-Dyck	Producción de aguamiel y pulque	Parra-Negrete <i>et al.</i> , 2010.
<i>Agave lechuguilla</i> Torr.	Fibra natural	Parra-Negrete <i>et al.</i> , 2010; Castillo-Quiroz <i>et al.</i> , 2013.

2.2 Producción nacional del agave pulquero

En las décadas de los 70 y 80 del siglo XX, la importancia del maguey pulquero se reflejaba en la superficie cultivada en varios estados del país, cercana a las 25,000 ha (Gómez, 2011). En la actualidad, la superficie sembrada corresponde a 8388.5 ha y 2683.2 ha cosechadas, lo que representa un valor estimado cercano a los \$850,000 (Cuadro 2).

Cuadro 2. Producción nacional de maguey pulquero (SIAP, 2019).

Entidad	Superficie (ha)		Producción	Rendimiento (udm/ha)	*PMR (\$/udm)	Valor producción (miles de pesos)
	Sembrada	Cosechada				
Guanajuato	4.5	4.5	101.25	22.5	7,086.88	717.55
Guerrero	1	1	65	65	3,500.00	227.5
Hidalgo	4,893.60	1,436.10	117,099.63	81.54	5,564.92	651,649.79
México	1,539.25	245.6	4,228.82	17.22	3,880.33	16,409.21
Michoacán	3.25	0	0	0	0	0
Puebla	992.9	328	10,315.46	31.45	4,611.35	47,568.22
Querétaro	259	0	0	0	0	0
San Luis Potosí	34	34	696	20.47	1,251.69	871.17
Tlaxcala	548	524	37,499.41	71.56	3,081.79	115,565.41
Veracruz	113	110	1,477.30	13.43	5,365.50	7,926.45
Total	8,388.50	2,683.20	171,482.87	63.91	4,903.90	840,935.31

*PRM: Precio medio rural (precio pagado al productor en la venta de primera mano en su parcela o predio).

La importancia del maguey pulquero en los principales estados productores del país ha llevado a la implementación de proyectos productivos con el objetivo de rescatar al cultivo y potenciar su uso mediante la diversificación de los

productos que se pueden obtener (Rojas-Rivas *et al.*, 2016).

En el Estado de México, el Instituto de Investigación y Capacitación Agropecuaria, Acuícola y Forestal del Estado de México (ICAMEX), cuenta con producción *in vitro* de plantas de maguey pulquero de las variedades Manso y Ayoteco, con la que pretende repoblar zonas de cultivo en algunos municipios del estado. Dicha producción surgió como respuesta a la disminución de plantas de maguey en la entidad por la desmedida explotación de la cutícula de las pencas para elaborar mixiotes, las pencas para la barbacoa o la construcción de techos, además de la extracción de chinicuiles (*Hypopta agavis*) (Salinas, 2007).

Considerando que en los últimos cinco años los principales estados productores de maguey pulquero fueron Hidalgo, Estado de México, Puebla y Tlaxcala, y en menor proporción Querétaro y Veracruz, en la Figura 1 se observa una importante reducción en la superficie sembrada de algunas entidades. No obstante, en el Estado de México se reportó aumento de la superficie sembrada de 1100.6 ha en 2015 a 1539.25 en 2019 (SIAP, 2019). En la Figura 2 puede apreciarse que 2014 representó el año con la mayor superficie sembrada en una década.

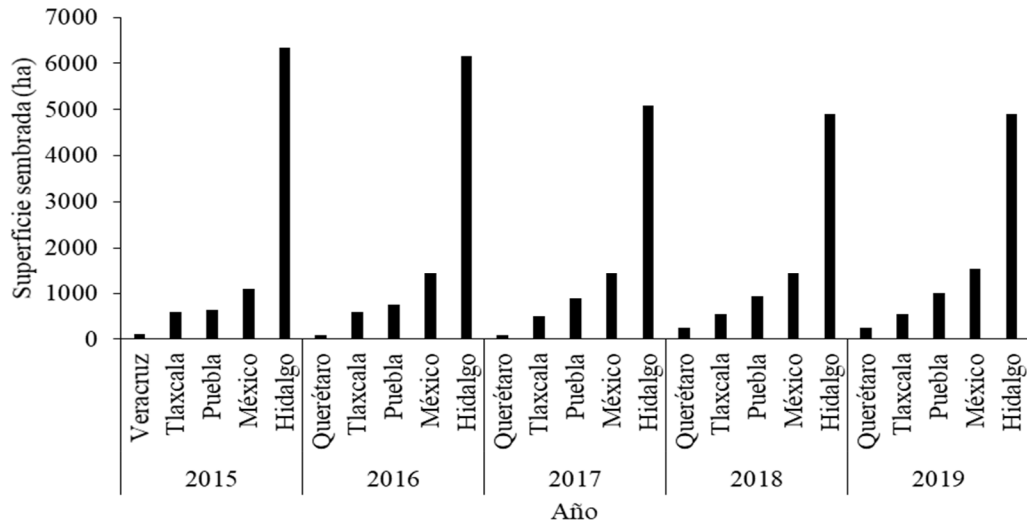


Figura 1. Superficie sembrada en los principales estados productores de maguey pulquero durante 2015-2019. Fuente: Elaboración propia con datos del SIAP, 2019.

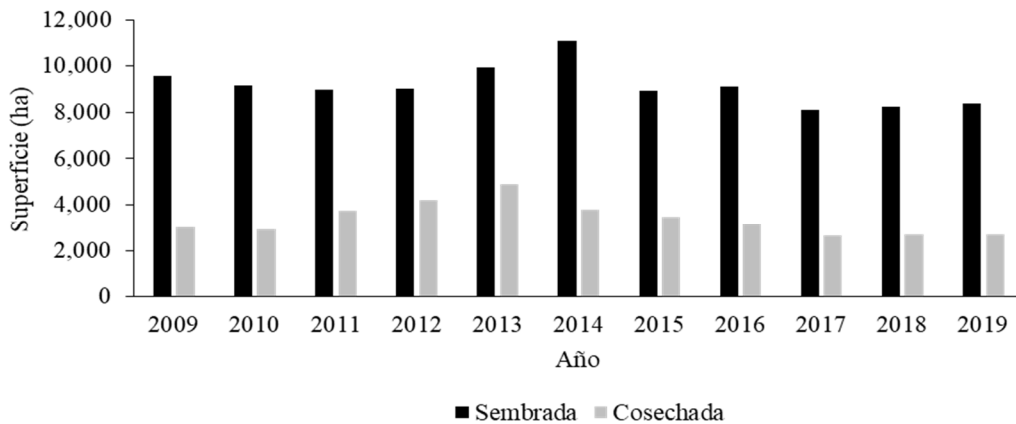


Figura 2. Superficie sembrada y superficie cosechada de maguey pulquero durante 2009-2019. Fuente: Elaboración propia con datos del SIAP, 2019.

De acuerdo con José-Jacinto y García-Moya (2000), alrededor de 100,000 familias dependen económicamente de la explotación del maguey, generando ingresos por \$1,500 millones de pesos anuales. El valor de la producción del maguey

pulquero ha presentado disminución en la última década, con \$1'894,314.04 reportado en 2013 y \$840,935.31 en 2019, correspondiente a 44 % de disminución (Figura 3).

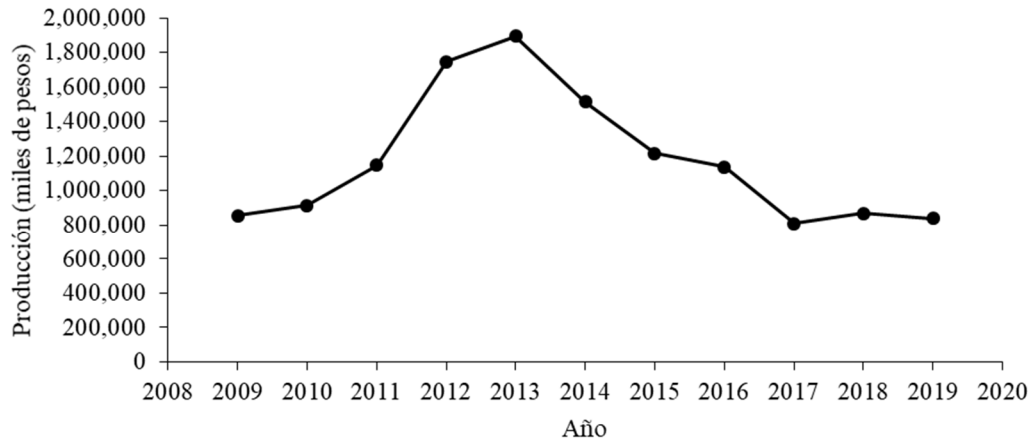


Figura 3. Valor de la producción de maguey pulquero en los últimos 10 años.
Fuente: Elaboración propia con datos del SIAP, 2019.

2.3 Características del cultivo de maguey en el Valle de México

En el Valle de México, los agaves que se establecen en plantaciones se obtienen mediante propagación asexual. Los clones se separan de la planta madre cuando alcanzan de 30 a 84 cm para posteriormente trasplantarlos al lugar en que continuará su desarrollo hasta su aprovechamiento. Un maguey, después de tres años de ser trasplantado a su lugar definitivo, dará origen de 8 a 10 hijuelos. Antes de que inicie la temporada de lluvias los clones se arrancan con una barreta, luego

se les podan las hojas y sus raíces se recortan a 1 cm de longitud para que crezcan nuevas (Aguilar *et al.*, 2014).

Los clones después de ser separados del tallo subterráneo llamado rizoma se exponen a la radiación solar durante un periodo de uno a tres meses antes de plantarlos en el terreno (Figura 4). En plantaciones intensivas los clones se establecen a una distancia de 2 m entre una y otra planta en la hilera y a 2.5 m entre hileras, teniendo como máximo 2000 plantas por hectárea. (Aguilar *et al.*, 2014). Generalmente los productores asocian los agaves con otros cultivos.



Figura 4. Clones de magueyes pulqueros listos para siembra en la región otomí de Huitzilapan. Fotografía: Elia Ballesteros Rodríguez.

2.4 Situación social y económica de la región otomí Huitzizilapan

En el marco de la investigación social, la región otomí Huitzizilapan no ha sido objeto de interés, ya que se cuenta con escasas referencias bibliográficas. A pesar de la riqueza cultural de la región, los conocimientos tradicionales relacionados con el idioma otomí, la producción de pulque y la identificación de hongos silvestres comestibles, entre otros, corren el riesgo de desaparecer debido a que la transmisión oral de estos saberes de una generación a otra se está perdiendo. Al igual que en muchas comunidades indígenas del país, la organización social está basada en un sistema de usos y costumbres, bajo este sistema se establecen diversos criterios de membresía que implican derechos y obligaciones para garantizar la tenencia comunal de la tierra y el acceso al agua (Orozco-Hernández *et al.*, 2018).

Aunque históricamente las principales actividades económicas de la región otomí Huitzizilapan han sido el cultivo de maíz (*Zea mays*), haba (*Vicia faba*), papa (*Solanum tuberosum*), frijol (*Phaseolus vulgaris*) y maguey (*Agave spp.*), así como la producción de pulque; en la actualidad, la mayor parte de la población masculina adulta se emplea en el sector de la construcción como albañiles, pasteros y yeseros. En el caso de las mujeres, estas se emplean en el sector de servicios o se dedican a la venta de tortillas, tlacoyos, sopes y gorditas hechas a mano. La

Ciudad de México y Toluca constituyen los principales centros de ocupación laboral de la población económicamente activa de la región otomí Huitzilapan (Orozco-Hernández *et al.*, 2018). Con respecto a la producción de pulque, esta ha dejado de ser una importante fuente de ingresos para convertirse en una actividad practicada por muy pocos de sus habitantes. Por lo anterior, el futuro de la producción y consumo de pulque en la región otomí Huitzilapan se considera incierto (comunicación personal de productores de pulque de la región).

Orozco-Hernández *et al.* (2018) consideran que los cambios sociales, económicos y culturales que ha experimentado la región otomí Huitzilapan en las últimas décadas se deben, en gran medida, a la construcción de la Carretera Toluca-Naucalpan, debido a que éste factor favoreció la movilidad e incluso la migración de la población a la Ciudad de México, ocasionando el abandono de las actividades económicas tradicionales y convirtiendo a la capital del país en su principal fuente de recursos económicos.

2.5 Importancia histórica y cultural del agave pulquero en la región otomí Huitzilapan

Los agaves han jugado un papel preponderante en la historia de las comunidades otomíes debido a los múltiples usos de que son objeto. En la región otomí

Huitzilapan, la elaboración de pulque (Figura 5) era popular entre la población porque, además de formar parte importante de su economía, esta actividad estaba estrechamente ligada a su herencia cultural desde tiempos prehispánicos (García, 2001).

Durante los últimos 30 años se ha observado en la región la desaparición paulatina de la población de agaves pulqueros a causa de diversos factores, entre otros: el poco interés por parte de las nuevas generaciones en participar en las labores del campo, la disminución del área cultivable debido a los procesos de urbanización y los cambios en las preferencias del consumidor del pulque a la cerveza (García, 2001). Los agaves actualmente se utilizan para la delimitación de parcelas de cultivos y, en muy contados casos, para la elaboración de pulque para autoconsumo (Ballesteros *et al.*, 2022).



**Figura 5. Maguey pulquero (A) y pulque (B) de la región otomí Huitzilapan.
Fotografía: Elia Ballesteros Rodríguez.**

También se emplean en la preparación de barbacoa, platillo típico en el que las pencas sirven como envoltura y, las pencas de agaves jóvenes en la elaboración de adornos para celebraciones religiosas (Figura 6) (Aguilar-Juárez *et al.*, 2014).



Figura 6. Productos obtenidos del maguey pulquero en la región otomí Huitzililapan. Fotografía: Elia Ballesteros Rodríguez.

2.6 Descripción del género *Agave*

Las plantas del género *Agave* son monocotiledóneas, sus hojas, también denominadas pencas, se muestran en disposición arrosada, son generalmente rígidas y en su mayoría presentan dientes aculeiformes. La roseta se considera perenne debido a que requiere de 8 a 20 años para madurar (Gentry, 1982). La penca puede tener forma lineal, espatulada, lanceolada, deltoide, oblonga u ovada; el tallo puede ser acaulescente o caulescente. Son plantas hermafroditas que poseen inflorescencias en espiga, con flores de color amarillo verdoso. Su

fruto es capsular, leñoso, alargado y dehiscente; cada cápsula contiene numerosas semillas aplanadas y de testa negra (Esparza-Ibarra *et al.*, 2015; García-Mendoza, 2007; Gentry, 1982). En los agaves, el número cromosómico básico (x) y el haploide (n) suman 30 ($2n = 60$), por lo que se consideran organismos poliploides (García-Mendoza, 2007).

El género *Agave* es originario de América. De sus aproximadamente 200 especies, 150 se encuentran en México, además que 36 pertenecen a categorías infraespecíficas, lo que en conjunto constituye un total de 186 taxones (Figura 5). El gran número de especies endémicas de México sugiere que la diversidad del grupo se debe, principalmente, a aspectos fisiológicos que han permitido adaptarse localmente a hábitats heterogéneos; parte de la diversidad también puede atribuirse a los procesos de domesticación de varias especies de agave (García-Mendoza, 2007).

2.6.1 Reproducción de los agaves

Los agaves se reproducen de manera sexual y asexual. La reproducción sexual se logra mediante la polinización que realizan algunos animales, principalmente murciélagos nectarívoros (*Leptonycteris yerbabuena* y *L. nivalis* Choeronycteris mexicana), abejas (*Apis mellifera*) y colibríes (*Eugenes fulgens* y *Cyanthus latirostris*),

etc. (Trejo-Salazar *et al.*, 2015). Los agaves con inflorescencias paniculadas o racemosas (Figura 7, B y C) son polinizados por los murciélagos, mientras que los agaves con inflorescencias espigadas son polinizados principalmente por insectos. En el maguey pulquero el sistema de reproducción es de tipo semélparo o monocárpico, es decir, las plantas mueren después de reproducirse (García-Mendoza, 2007).

La mayoría de los agaves se propagan de manera asexual, produciendo clones o hijuelos en diferentes partes de la roseta o la inflorescencia. Los bulbillos o clones se originan en la inflorescencia junto a las flores. Los hijuelos se desarrollan en la base de la planta mediante rizomas que emergen de la planta madre, produciendo raíces y con el tiempo crecen de manera independiente (Figura 7, A). La producción de clones es un mecanismo que permite a las plantas mayor capacidad de ampliar su área de distribución.

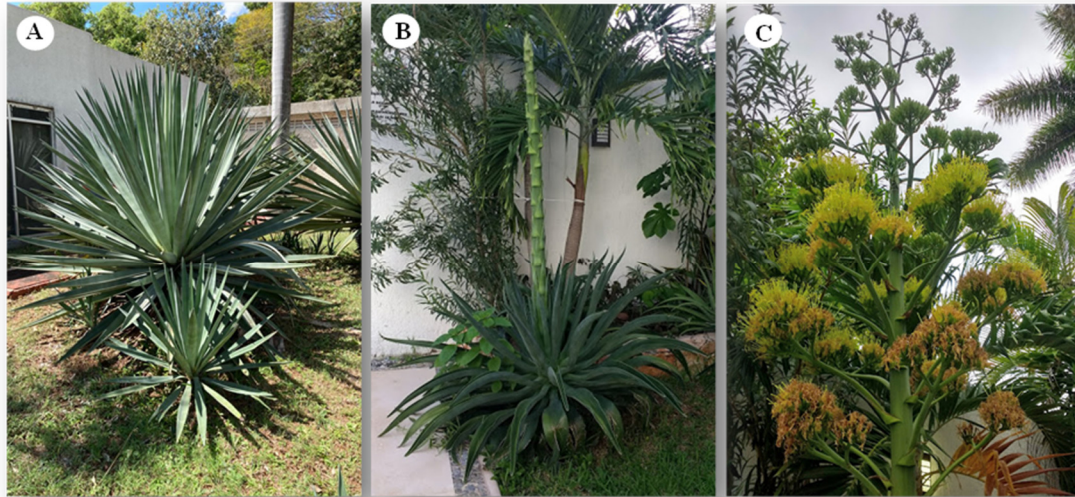


Figura 7. A) Roseta mostrando clones de agave; B) planta con desarrollo de inflorescencia joven y; C) inflorescencia en forma de panícula. Fotografía: Elia Ballesteros Rodríguez.

2.7 Taxonomía del género *Agave*

La clasificación taxonómica del género *Agave* L. ha sido objeto de controversias debido a su gran variación fenotípica y genotípica incluso dentro de una misma especie y de una misma población (Figura 8). Según el agrupamiento para la filogenia de las angiospermas III (*The Angiosperm Phylogeny Group III, APGIII, 2009*), *Agave* L. es un género de monocotiledóneas, perteneciente a la familia *Asparagaceae*, a continuación se presenta su taxonomía:

Taxonomía

Reino:	Plantae
División:	Magnoliophyta
Clase:	Liliopsida
Subclase:	Liliidae
Orden:	Asparagales
Familia:	Asparagaceae
Subfamilia:	Agavoideae
Género:	Agave L. 1753

El género *Agave* L. fue redefinido por Gentry (1982), proponiendo la división del género en dos subgéneros con base en su estructura floral: a) *Littaea*, que incluye especies con una inflorescencia espiciforme subdivididas en ocho secciones o grupos que contemplan 54 especies y; b) *Agave*, con una inflorescencia paniculada, subdividida en 12 secciones que contemplan 82 especies.



Figura 8. Ejemplares del género *Agave*. Fotografía: Elia Ballesteros Rodríguez y L. Felipe Sánchez Teyer.

2.7.1 Especies de maguey pulquero

Las especies consideradas como magueyes pulqueros son: *Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck, *A. mapisaga* Trel. y *A. atrovires* Karw. Ex Salm-Dyck, que se distribuyen principalmente en el Valle de México y en los estados de México, Tlaxcala, Hidalgo y Puebla. En el Valle de México se cultivan *A. americana* L., *A. atroverens* Karw., *A. mapisaga* Trel., *A. salmiana* var. *angustifolia* A. Berger y sobre todo *A. salmiana* var. *salmiana* (Rzedowski y Calderón, 1990).

2.7.2 Descripción de *Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck

El maguey manso o määxo, maguey verde o hok' uada, maguey palmilla y xa'mni, en español y otomí, respectivamente, es una de las especies con más usos en México. Pertenece a la familia Agavaceae y se reconoce por sus hojas anchas, fuertes, suculentas, de color verde con largos ápices acuminados y sigmoideos, de tallo corto y macizo, con forma de roseta y tamaño que van de 1.5 a 3.4 m de altura y hasta 5 m de diámetro. Tiene flores carnosas de tépalos dimorfos, estrechos, doblados hacia el interior. Se le encuentra en terrenos planos y montañosos, en suelos profundos o superficiales (García-Mendoza, 2007).

Taxonómicamente es una especie complicada, con un gran número de formas morfológicas; se reconocen tres variedades y una subespecie: *A. salmiana* var. *salmiana*, *A. salmiana* var. *angustifolia* A.Berger, *A. salmiana* var. *Ferox* (K.Koch) Gentry y *A. salmiana* subsp. *crassispina* (Trel. ex L.H. Bailey) Gentry (García-Mendoza, 1998). *Agave salmiana* es una especie que se considera endémica de México, con poblaciones silvestres y cultivadas. Se ubica principalmente en las zonas áridas y semiáridas del centro de México, desde Coahuila hasta Oaxaca (García-Mendoza, 1998). Esta especie tiene un aprovechamiento integral ya que se han reportado diferentes usos de las partes de las plantas. El pulque es el principal producto del que deriva su nombre genérico a nivel popular: “maguey pulquero”, esta bebida es un fermentado del aguamiel (García-Mendoza, 1998).

Los agaves pulqueros tardan en general de 8 a 12 años para florecer, momento en el que son aprovechados para realizar la extracción de aguamiel, el cual se extrae del área donde nace el cogollo y la yema vegetativa, antes de la floración. Estas dos partes se cortan y, posteriormente, por medio del raspado o desgaste de esta zona se forma una cavidad en el centro, donde escurre la savia dulce de las hojas o aguamiel. Cada planta produce alrededor de 500 a 1000 L de aguamiel en su vida productiva, que dura unos cuantos meses (Alfaro *et al.*, 2007).

2.7.3 Descripción de *Agave americana* var. *expansa* (Jacobi) Gentry

Es una planta robusta formada por grandes rosetas de 30 a 60 hojas carnosas, perennes, lanceoladas, de 1 a 2 m de largo y de 15 a 23 cm de ancho, de color blanco azulado. Tienen el borde espinoso y están rematadas por una fuente espinosa de 2 a 3 cm. Las flores aparecen sobre un tallo grueso y leñoso de 8 a 10 metros de altura, que se ramifica en su parte terminal adoptando forma piramidal. Las flores son de color amarillo verdoso, grandes, agrupadas en los extremos de las ramillas horizontales. El fruto es una cápsula alargada y trigona. Se considera uno de los agaves más grandes que existen (Cházaro, 1989) (Figura 9).



Figura 9. Ejemplar de *Agave americana* L. var. *americana* del Jardín Botánico Regional Roger Orellana de Mérida, Yucatán. Fotografía: Elia Ballesteros Rodríguez.

2.8 Morfometría y descripción varietal de agave

La morfometría se define como la medición de la forma o estructura de los organismos y sus partes (Biblioteca Nacional de Agricultura, 2020). Los análisis morfométricos constituyen una de las herramientas para delimitar poblaciones y taxones, y ha sido empleada por diversos autores para identificar y separar cultivares de agave de sus poblaciones silvestres, de cultivares domesticados y para delimitar la especie de un determinado género (Rivera, 2014).

La utilización de descriptores varietales es indispensable en el análisis morfométrico. Un descriptor varietal es el conjunto de características o atributos cuya expresión es fácil de medir, registrar, así como de evaluar y hace referencia a la forma, estructura o comportamiento de una accesión (Franco e Hidalgo, 2003). Los datos para la caracterización varietal provienen, especialmente, de las estructuras botánicas como: hojas, tallos, flores, frutos y semillas (Avendaño-Arrazate *et al.*, 2015).

III MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Área de estudio

Se evaluaron plantas del género *Agave* de la región otomí Huitzilapan, ubicada en el municipio de Lerma, Estado de México (19°23'34''N, 99°26'48''O; 2752 m.s.n.m.).

Las plantas evaluadas fueron seleccionadas específicamente por los productores de la región con el fin de obtener materiales morfológicos definidos y diferenciados con relación a las características de calidad y cantidad del aguamiel para la producción de pulque; se identificaron plantas de las variedades verde y tlacamel para su caracterización con una edad aproximada de 7 años (Figura 10).

Para los fines del presente estudio, al inicio de la investigación se contactó a los productores, se presentó el proyecto de estudio, objetivos y se solicitó su consentimiento para colaborar. Toda la información obtenida, incluyendo los testimonios escritos, fotografías y mediciones de plantas en campo, tuvo permiso expreso previo de los productores.



Figura 10. Variedades de agave pulquero de la región otomí de Huitzililapan.

Fotografía: Viridiana Hernández de la Cruz.

3.2 Cuantificación de caracteres cuantitativos

Se obtuvieron datos morfométricos de 60 ejemplares de agaves pulqueros (*Agave* spp.) de la región otomí Huitzililapan, correspondientes a caracteres cuantitativos de los grupos planta y hoja (Cuadro 3). La toma de datos se realizó en campo de acuerdo con la metodología propuesta en la Guía Técnica para la Descripción Varietal de *Agave* (SAGARPA-SNICS, 2014), Huerta-Zavala (2018), y Mora-López *et al.* (2011) durante los meses de junio y julio de 2020.

3.2.1 Cuantificación de caracteres de planta

Se evaluaron morfométricamente, de acuerdo con la metodología propuesta por Huerta-Zavala (2018), los caracteres correspondientes a: altura (cm), diámetro de la roseta (cm) y número de hojas.

3.2.2 Cuantificación de caracteres de hoja

Se evaluaron morfométricamente, de acuerdo con la metodología propuesta por Huerta-Zavala (2018), los caracteres correspondientes a: longitud (cm), anchura (cm) (parte media de la hoja), número de dientes aculeiformes (un solo lado de la hoja), distancia entre los dientes aculeiformes (cm) y longitud de la espina terminal (cm). También se evaluaron, según la metodología propuesta por Mora-López *et al.* (2011), los siguientes caracteres: anchura de los dientes aculeiformes (cm) y anchura de la espina terminal (cm).

Cuadro 3. Caracteres morfométricos evaluados *in situ* en agaves pulqueros (*Agave spp.*) de la región otomí Huitzilapan, Estado de México.

Caracteres morfológicos	Código
Altura de planta (cm)	AP
Diámetro de la roseta (cm)	DR
Número de hojas por planta	NHP
Longitud de hoja (cm)	LH
Anchura de hoja (cm)	AH
Número de dientes aculeiformes	NEA
Distancia entre los dientes aculeiformes (cm)	DED
Longitud de la espina terminal (cm)	LET
Anchura de los dientes aculeiformes (dientes) (cm)	ADA
Anchura de la espina terminal (cm)	AET

3.3 Análisis estadístico

A los datos obtenidos se les realizó el análisis de componentes principales (ACP) y agrupamiento jerárquico aglomerativo según el método de Ward; se consideró como medida de similitud la distancia euclídea al cuadrado. Para el análisis estadístico de los datos se utilizó el software SPSS® Statistics.

IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Según García-Nuñez *et al.* (2020), en los estados de Hidalgo y Estado de México, el maguey verde es una variedad de la especie *Agave americana* L. y el maguey tlacamel, también conocido como “manso”, es una variedad de la especie *Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck. Ambas variedades continúan teniendo relevancia regional y potencial económico, ya que se han cultivado desde tiempos prehispánicos y en la actualidad son objeto de amplia difusión (Álvarez *et al.*, 1998; Valadez, 2014; Vázquez *et al.*, 2016; Vela, 2018).

Durante el trabajo de campo pudo apreciarse que en la región otomí Huitzilapan además de 'manso' se encuentran de manera silvestre las variedades de maguey pulquero, 'ayoteco' y 'amarillo'. Por lo general, los agaves utilizados para la elaboración de pulque en las diversas comunidades de la región se encuentran como cercos vivos de otros cultivos, siendo las plantaciones en monocultivo escasas.

4.1 Análisis de componentes principales (ACP)

El ACP muestra que los primeros tres componentes principales (CPs) explican el 66% de la variación total (Cuadro 4). Las variables que más contribuyeron en cada uno de los CPs fueron: para el CP1, altura de planta (AP), longitud de la hoja (LH) y anchura de la hoja (AH) y; para el CP2, longitud de la espina terminal (LET), distancia entre los dientes aculeiformes (DED), número de dientes aculeiformes (NEA) y anchura de los dientes aculeiformes (AD) y; para el CP3, número de hojas por planta (NHP) y diámetro de roseta (DR) (Cuadro 5).

Cuadro 4. Valores propios y proporción de la varianza total explicada por cada uno de los componentes principales, con base en caracteres morfométricos de agaves pulqueros (*Agave* spp.).

Componentes	Valores propios	Proporción de la varianza total explicada	
		Absoluta (%)	Acumulada (%)
CP1	3.257	32.574	32.574
CP2	2.211	22.110	54.683
CP3	1.109	11.086	65.769
CP4	0.985	9.850	75.619
CP5	0.699	6.993	82.611
CP6	0.553	5.528	88.140
CP7	0.391	3.914	92.054
CP8	0.318	3.181	95.234
CP9	0.247	2.474	97.708
CP10	0.229	2.292	100
Σ	10.000	100	---

CP1: componente principal 1; CP2: componente principal 2; CP3: componente principal 3.

Cuadro 5. Vectores característicos asociados a los tres primeros componentes principales del análisis de variables morfométricas en agaves pulqueros (*Agave spp.*).

Variable	Vector característico		
	CP1	CP2	CP3
AP	0.792	-0.294	0.002
DR	0.609	0.000	0.589
NHP	0.288	-0.369	0.660
LET	0.302	0.769	0.218
AET	0.470	0.399	-0.170
NEA	0.580	-0.604	-0.244
LH	0.781	-0.365	-0.115
AH	0.724	0.093	-0.299
DED	0.242	0.628	0.187
AD	0.579	0.580	-0.231

CP1: componente principal 1; CP2: componente principal 2; CP3: componente principal 3. AP-Altura de planta, DR-Diámetro de la roseta, NHP-Número de hojas por planta, LET-Longitud de la espina terminal, AET-Anchura de la espina terminal, NEA-Número de dientes aculeiformes, LH-Longitud de la Hoja, AH-Anchura de la hoja, DED-Distancia entre los dientes aculeiformes, AD-Anchura de los dientes aculeiformes.

Según Mora-López *et al.* (2011) en estudios similares de magueyes pulqueros de la sección Salmianae, 77% de la variación fue explicada por los tres primeros componentes, y los atributos que hicieron la mayor aportación fueron: altura y diámetro de la roseta, diámetro del tallo, longitud de la hoja, anchura de la base de hoja, número de dientes aculeiformes, así como el número, longitud y anchura de los dientes. Por otra parte, Alfaro *et al.*, (2007) reporta que 94% de la variación en especies y variantes de magueyes pulqueros, fue explicada por la longitud de

la espina principal y el número de dientes aculeiformes. Para García-Nuñez *et al.* (2020) estas variables representaron 74% de la variabilidad.

De acuerdo con Avendaño-Arrazate *et al.* (2015) las variables relacionadas con la planta, la cantidad y densidad de hojas y la espina marginal, son caracteres que tienden a cambiar en las plantas de agave de acuerdo al manejo, gradiente altitudinal y tipo de polinización. En relación con las estructuras florales, se considera que en el género *Agave* son difícil de evaluar, sin embargo, los caracteres vegetativos han sido útiles en diversos estudios para diferenciar distintas variedades (Rodríguez-Garay *et al.*, 2009) y especies (Barrientos-Rivera *et al.*, 2019).

Para determinar la relación entre variables se realizó un análisis de correlación de Spearman (Cuadro 6). La correlación más alta correspondió a la relación de la altura de la planta con la longitud de la hoja. Asimismo, la longitud de la hoja se correlacionó con la anchura de la hoja. También se observó correlación entre anchura de la hoja y anchura de los dientes aculeiformes (Cuadro 6).

Cuadro 6. Matriz de correlación entre variables cuantitativas utilizadas para caracterizar germoplasma del género *Agave*.

	Variables									
	AP	DR	NHP	LET	AET	NEA	LH	AH	DED	AD
AP										
DR	0.397**									
NHP	0.234	0.294*								
LET	0.035	0.227	-0.076							
AET	0.114	0.238	-0.001	0.235						
NEA	0.414**	0.139	0.244	-0.151	0.017					
LH	0.615**	0.418**	0.283*	0.023	0.153	0.526**				
AH	0.362**	0.281*	0.063	0.046	0.423**	0.274*	0.459**			
DED	0.079	0.266	-0.147	0.514**	0.264	-0.219	0.040	0.120		
AD	0.214	0.181	-0.002	0.505**	0.424**	-0.084	0.209	0.528**	0.421**	

** Altamente significativo ($P \leq 0.01$), * significativo ($P \leq 0.05$)

AP-Altura de planta, DR-Diámetro de la roseta, NHP-Número de hojas por planta, LET-Longitud de la espina terminal, AET-Anchura de la espina terminal, NEA-Número de dientes aculeiformes, LH-Longitud de la Hoja, AH-Anchura de la hoja, DED-Distancia entre los dientes aculeiformes, AD-Anchura de los dientes aculeiformes.

La correlación entre altura de planta (AP) y longitud de hojas (LH) también se ha reportado en otros estudios de agave pulquero. Alfaro *et al.* (2007) indicaron que a mayor altura de planta se espera una mayor longitud de hojas. Las características de AP y LH son de particular importancia, ya que, para la obtención de aguamiel y penca para barbacoa, la planta debe tener hojas grandes. También se ha señalado que la producción de aguamiel se correlaciona directamente con el tamaño de la planta (José-Jacinto y García-Moya, 2000). En otro estudio de caracterización de especies del complejo *A. potatorum* Zucc.,

Porras-Ramírez (2017), reportó que la correlación más alta la obtuvieron la longitud de la espina terminal y espesor de la hoja, así como la longitud de la hoja y el diámetro de planta, con valores de $r = 0.977$ y 0.954 , respectivamente.

En el Cuadro 7 se muestran los estadísticos simples aplicados a las características cuantitativas de las plantas de agave (Figura 11), donde se puede observar que los caracteres distancia entre los dientes aculeiformes, número de dientes aculeiformes y anchura de los dientes aculeiformes tienen un coeficiente de variación mayor a 20%. En la investigación realizada en la sección Salmianae por Mora-López *et al.* (2011) los atributos relacionados directamente con la clasificación y con los coeficientes de variación más altos fueron: grosor de la cutícula, número, longitud y distancia de las espinas marginales, altura y diámetro de la roseta y longitud de la hoja.

Cuadro 7. Estadísticos simples aplicados en variables cuantitativas de todos los individuos de agave.

Variable	Media (cm)	Desviación estándar	Mínimo	Máximo	CV%
AP	99.54	11.47	75.50	122.00	12
DR	183.69	30.06	85.00	249.00	16
NHP	15.56	2.10	10.00	19.00	13
LET	6.97	1.06	4.78	8.85	15
AET	0.42	0.06	0.28	0.63	15
NEA	24.10	4.99	14.67	37.00	21
LH	109.91	11.27	82.83	133.95	10
AH	24.39	2.43	18.83	31.25	10
DED	3.13	1.29	1.22	8.82	41
AD	1.77	0.36	1.14	2.52	20

Coefficiente de variación (CV). AP-Altura de planta, DR-Diámetro de la roseta, NHP-Número de hojas por planta, LET-Longitud de la espina terminal, AET-Anchura de la espina terminal, NEA-Número de dientes aculeiformes, LH-Longitud de la Hoja, AH-Anchura de la hoja, DED-Distancia entre los dientes aculeiformes, AD-Anchura de los dientes aculeiformes.

En estudios realizados en el fenotipo del género *Agave* se ha detectado que el carácter con mayor variación es la longitud de los dientes aculeiformes (Alfaro *et al.*, 2007; Parker *et al.*, 2014; Porras-Ramírez, 2017). Esta característica se relaciona con el estado silvestre o de domesticación de las plantas, y es común encontrar valores bajos de variación en dientes aculeiformes en regiones con amplio historial de cultivo (Porras-Ramírez, 2017).

Debido a que el manejo agronómico de los magueyes pulqueros se facilita mediante la propagación por hijuelos (Gentry, 1982; Álvarez *et al.*, 2018), y a que

las plantas no se reproducen por semilla por el proceso de producción del pulque, se considera que la diversidad genética de las plantaciones se reduce considerablemente. Ramírez-Tobías *et al.* (2011) sostienen que la reproducción sexual permitiría la recombinación genética de los agaves proporcionándoles ventajas adaptativas. Sin embargo, algunos autores afirman que la reproducción sexual es un método ineficiente para la explotación del género, ya que su ciclo de vida presenta una problemática para su desarrollo y producción por la demanda de tiempo, mantenimiento y espacio (Rosales *et al.*, 2008).



Figura 11. Plantas representativas (A y B) y variables para caracterizar morfométricamente agaves pulqueros: altura de planta (C), anchura de la espina terminal (D), longitud de la espina terminal (E), anchura de dientes aculeiformes (F), longitud de hoja (G) y anchura de la hoja (H).

4.2 Análisis de conglomerados jerárquico

En la Figura 12 se aprecia la formación de cuatro grupos a una distancia con valor 10. El Grupo I se formó con 22 individuos, el II y III con ocho y el IV con 14 individuos. El Grupo I se caracterizó por presentar valores promedio de altura y diámetro de la roseta de 94 y 188.2 cm, respectivamente. En hoja, la cantidad por planta fue de 16, la longitud de 105 cm y el ancho central de 23 cm. El número de dientes aculeiformes en la hoja fue de 22. En espina terminal los valores de longitud y anchura fueron de 7.3 y 0.45 cm, respectivamente. La anchura de los dientes aculeiformes fue de 1.7 cm y la distancia entre los dientes aculeiformes de 3 cm.

Los individuos del Grupo II presentaron menores valores de altura de planta, diámetro de roseta, longitud de la hoja y anchura de la hoja. En cuanto a la planta, ésta presentó una altura y diámetro de la roseta de 92 y 143 cm, respectivamente. En hoja, la cantidad por planta fue de 15, la longitud fue de 101.3 cm y el ancho central de 22 cm. El número de dientes aculeiformes en la hoja fue de 23. La longitud y anchura de la espina terminal fueron de 5.6 y 0.3 cm, respectivamente. La anchura de los dientes aculeiformes fue de 1.6 cm y la distancia entre los dientes aculeiformes de 2.3 cm.

El Grupo III se caracterizó por presentar los mayores valores de altura de planta, diámetro de roseta, longitud de hoja y número de dientes aculeiformes. En cuanto a la planta, la altura y diámetro de la roseta fueron de 108 y 200 cm, respectivamente. En hoja, la cantidad por planta fue de 17, la longitud de 123 cm y el ancho central de 26.1 cm. El número de dientes aculeiformes en la hoja fue de 30. En la espina terminal la longitud y la anchura fueron de 5.9 y 0.4 cm, respectivamente. La anchura de los dientes aculeiformes fue de 1.5 cm y la distancia entre los dientes aculeiformes de 2.3 cm.

El Grupo IV se caracterizó por presentar los mayores valores de longitud de la espina terminal, anchura de la espina terminal, distancia entre los dientes aculeiformes y anchura de los dientes aculeiformes. Este grupo, en cuanto a la planta, presentó valores de altura y diámetro de la roseta de 106.6 y 190.6 cm, respectivamente. En hoja, la cantidad por planta fue de 15, la longitud de 115.3 cm y el ancho central de 26.4 cm. El número de dientes aculeiformes en la hoja fue de 25. En la espina terminal, la longitud y anchura fueron de 7.6 y 0.5 cm, respectivamente. La anchura de los dientes aculeiformes fue de 2.1 cm y la distancia entre los dientes aculeiformes de 4 cm.

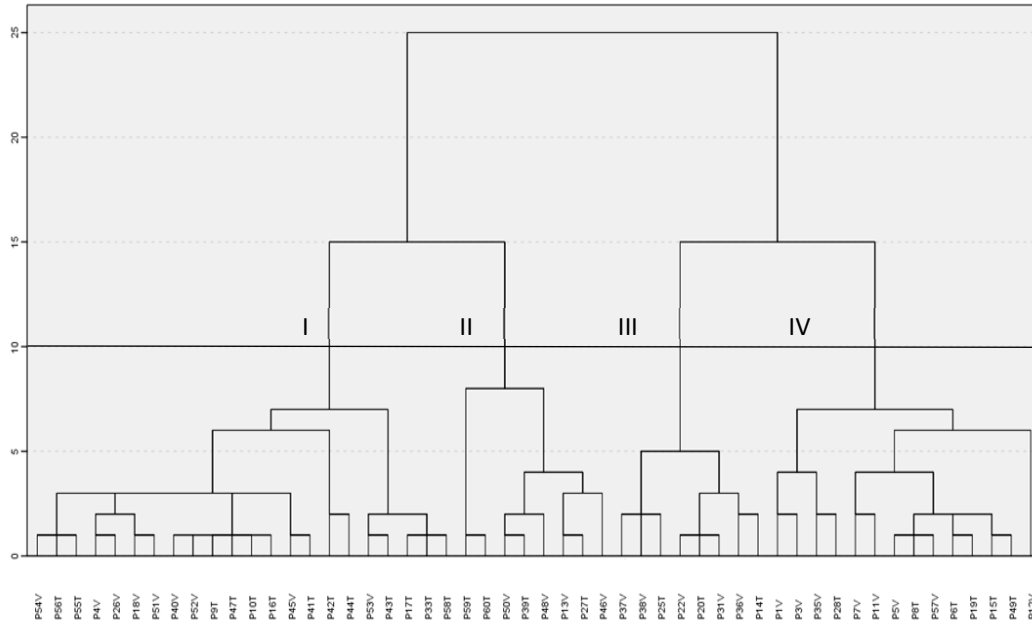


Figura 12. Dendrograma de 60 individuos de agave pulquero obtenido mediante el método de agrupamiento Ward (Grupo I, II, III y IV).

El análisis de conglomerados, si bien establece 4 grupos, los individuos de las variedades Verde y Tlacamel están mezclados, lo que sugiere que morfológicamente no hay características distintivas entre ellos.

Resultados similares han sido reportados por otros autores, Alfaro *et al.* (2007) y García-Nuñez *et al.* (2020), informaron que estas variedades son fenotípicamente iguales o emparentadas, pero genéticamente muy diferentes, por este motivo, probablemente, en el presente estudio no se observó agrupación por variedad. Esto puede deberse a que las características morfológicas posiblemente estén fuertemente influenciadas por las condiciones ambientales y controladas por más

de un locus genético lo que complica la evaluación de la diversidad genética (Almaraz-Abarca *et al.*, 2013). Se ha afirmado que los individuos que presentan fenotipos similares pueden no necesariamente tener una relación genética cercana (Marita *et al.*, 2000).

Por otra parte, en *Agave potatorum* Zucc. se han reportado variaciones morfológicas en función de la altitud, se encontró variación significativa para la mayoría de los caracteres evaluados y hubo asociación altamente significativa del ancho de la hoja, grosor de la espina terminal y el largo de la roseta con la altitud del sitio (Merino-Negrete *et al.*, 2018).

En el género *Agave*, González *et al.* (2003) afirman que las características relacionadas con las espinas apicales y laterales, así como con la longitud y el ancho de las hojas, han sido útiles para evaluar y diferenciar variedades. Diversos estudios encontraron diferencias en función de los caracteres de las hojas, especialmente, las relacionadas con los dientes aculeiformes y apicales en *A. angustifolia* Trel. y *A. tequilana* F.A.C. Weber, también, la longitud de la espina principal y el número de dientes aculeiformes permitieron separar poblaciones de agaves pulqueros del Estado de México en cuatro grupos (Alfaro *et al.*, 2007).

V CONCLUSIONES

1. Los 60 individuos evaluados de magueyes pulqueros se constituyeron en cuatro grupos, sin embargo, no se observó agrupación por variedad, ya que las variedades Verde y Tlacamel son fenotípicamente iguales o muy emparentadas. Esto puede deberse a que las características morfológicas posiblemente estén fuertemente influenciadas por las condiciones ambientales y controladas.
2. Está ampliamente demostrado que la caracterización morfométrica de plantas es una metodología que se utilizan en la conservación de especies y existen investigaciones relacionadas con la morfometría del agave, lo cual afirma que se puede utilizar para determinar la variabilidad entre individuos. Estos estudios también se pueden enfocar hacia la explotación de recursos con valor económico, lo cual brinda elementos para el desarrollo de alternativas de manejo y conservación de las poblaciones. Esta investigación da a conocer la variabilidad existente entre individuos de maguey, con el fin de generar conocimiento de este recurso con potencial de desarrollo para la conservación de magueyes en la región.

3. Este es el primer estudio relacionado con variaciones morfométricas de magueyes pulqueros en la región otomí, ya que se desconocen investigaciones relacionadas. Por lo tanto, este sería el primer paso para mostrar que está sucediendo en esta región. Los resultados en este estudio permitieron cuantificar, de manera inicial el nivel de variación existente entre individuos de maguey pulquero en la región otomí, siendo ésta la base para realizar estudios genéticos y bioquímicos para poder organizar un programa productivo de aprovechamiento del recurso, reduciendo la erosión genética causada por la extracción indiscriminada.

4. De las características morfométricas correspondientes a planta y hoja, las que contribuyeron en la clasificación fueron: altura de planta, diámetro de roseta, número de hojas por planta, número de dientes aculeiformes y longitud de hoja.

5. El análisis de componentes principales es una herramienta útil en el análisis del complejo agave. Sin embargo, este tipo de análisis debe de ser complementado con análisis genéticos, ya que se puede caracterizar la variabilidad genética con mayor precisión y no son afectados por el ambiente.

6. Debido a la escasez de ejemplares de agaves pulqueros, así como a la importancia económica y cultural del pulque, se considera necesario impulsar estudios y acciones que garanticen la conservación y manejo de las poblaciones del género *Agave* utilizadas en la región otomí Huitzilapan.

V LITERATURA CITADA

1. Abreu E., G. González, R. Ortiz, P. Rodríguez, R. Domech y M. Garriga. 2007. Evaluación de vitroplantas de henequén (*Agave fourcroydes* Lem.) durante la fase de aclimatización. *Cultivos Tropicales* 28: 5-11.
2. Aguilar-Juárez B., J. R. Enríquez del V., G. Rodríguez-Ortiz., D. Granados-Sánchez. y B. Martínez-Cerero. 2014. El estado actual de *Agave salmiana* y *Agave mapisaga* del Valle de México. *Revista Mexicana de Agroecosistemas* 1: 106-120.
3. Alfaro R. G., J. P. Legaria S., J. E. Rodríguez P. 2007. Diversidad genética en poblaciones de agaves pulqueros (*Agave* spp.) del nororiente del Estado de México. *Fitotecnia Mexicana* 30: 1-12.
4. Almaraz-Abarca, N., E. A. Delgado-Alvarado, M. I. Torres-Morán, J. Herrera-Corral, J. A. Ávila-Reyes, N. Naranjo-Jiménez, J. N. Uribe-Soto. 2013. Genetic Variability in Natural Populations of *Agave durangensis* (Agavaceae) Revealed by Morphological and Molecular Traits. *The Southwestern Naturalist* 58 (3):314-324.
5. Álvarez-Duarte. M.C., E. García-Moya, J. Suárez-Espinosa, M. Luna-Cavazos y M. Rodríguez-Acosta. 2018. Conocimiento tradicional, cultivo y aprovechamiento del maguey pulquero en los municipios de Puebla y Tlaxcala, México. *Polibotánica* 45: 205-222.
6. Álvarez-Palma A. M., G. Cassiano y A. Villa-Kamel 1998. La explotación del maguey pulquero en la zona de Metztitlán: datos etnográficos y arqueológicos. *Dimensión Antropológica* 13: 7-30.
7. Avendaño-Arrazate C., L. Iracheta-Donjuan, J. C. Gódinez-Aguilar, P. López-Gómez y A. Barrios-Ayala. 2015. Caracterización morfológica de *Agave cupreata*, especie endémica de México. *Phyton* 84: 148-162.

8. Ballesteros-Rodríguez E., Escalante-Erosa F., Sánchez- Teyer L.F. 2022. Variabilidad genética de maguey pulquero (*Agave* spp.) en la región Otomí-Huitzilapan, Estado de México. *Mexican Journal of Biotechnology* 7(2):1-15.
9. Barrientos-Rivera G., E. L. Esparza-Ibarra, H. R. Segura-Pacheco, O. Talavera-Mendoza, M. L. Sampedro-Rosas y E. Hernández-Castro. 2019. Caracterización morfológica de *Agave angustifolia* y su conservación en Guerrero, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 10: 655-668.
10. Bautista-Justo M., L. García-Oropeza, J. E. Barboza-Corona y L. A. Parra-Negrete. 2001. EL Agave tequilana Weber y la producción de tequila. *Acta Universitaria*, 11: 26-34.
11. Biblioteca Nacional de Agricultura del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. 2020. Morfometría [en línea]. Disponible en <https://agclass.nal.usda.gov/mtwdk.exe?k=2007es&l=115&w=17490&s=5&t=2> (Revisado el 2 de abril de 2020).
12. Castillo-Quiroz D., J. T. Sáenz-Reyes, M. Narcia-Velasco y J. A. Vázquez-Ramos. 2013. Propiedades físico-mecánicas de la fibra de *Agave lechuguilla* Torr. de cinco procedencias bajo plantaciones. *Rev. Mex. Cien. For.* 4: 78-91.
13. Cházaro B. M. 1989. Agavaceas del centro de Veracruz y zona limítrofe de Puebla. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* 34: 3-15.
14. Cronquist A. 1981. An integrated system of classification of flowering plants. Columbia University Press, Nueva York. 1262 p.
15. Esparza-Ibarra E. L., J. Violante-González, S. Monks, J. Cadena-Iñiguez, y C. Araujo-Andrade. 2015. Los agaves mezcaleros del Altiplano Potosino y Zacatecano. *Estudios en Biodiversidad*. University of Nebraska-Lincoln, Estados Unidos. p. 227-245.
16. Franco T. L. y R. Hidalgo. 2003. Análisis estadísticos de datos de caracterización de recursos fitogenéticos. Boletín Técnico no. 8, Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRI), Cali, Colombia. 89 p.

17. García-Mendoza A. 1998. Con sabor a Maguey. *Ciencias* 52, octubre-diciembre, 87 [en línea] Disponible en <https://www.revistacienciasunam.com/en/107-revistas/revista-ciencias-52/931-con-sabor-a-maguey.html> (Revisado el 22 de julio de 2021).
18. García-Mendoza A. 2007. Los Agaves de México. *Revista Ciencias* 87:14-23.
19. García-Núñez R. M., M. Galán-Reséndiz, J. A. Cuevas-Sánchez y R. Álvarez-Hernández. 2020. Identificación y caracterización morfológica de agaves en sistemas agroforestales con metepantle en tierras campesinas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 11: 917-929.
20. García S. A. 2001. Los impactos de la política social en la organización y espacio familiar de las localidades otomíes de Huitzilapan, Lerma, Estado de México, periodo 1988-2000. Tesis de maestría. Instituto Mora, México, D.F.
21. Gentry H. 1982. *Agaves of Continental North America*. The University of Arizona Press. Tucson, Arizona. 670 p.
22. Gómez L. F. 2011. Aprovechamiento, manejo y valoración de plantas de importancia económica en zonas áridas y semiáridas de México. Tesis de Doctorado. Universidad Nacional Autónoma de México, México. 195 p.
23. González G., S. Alemán y D. Infante. 2003. Asexual genetic variability in *Agave fourcroydes* II: selection among individuals in a clonally propagated population. *Plant Sci.* 165: 595–601.
24. Marita J., J. M. Rodríguez y J. Nienhuis. 2000. Development of an algorithm identifying maximally diverse core collections. *Genetic Resources and Crop Evolution* 47: 515-526.
25. Huerta-Zavala J. 2018. Variación morfológica y áreas potenciales de poblaciones del complejo *Agave angustifolia* en el estado de Guerrero. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Guerrero, Iguala, México. 65 p.

26. José-Jacinto R. y E. García-Moya. 2000. Remoción cuticular (mixiote) y desarrollo foliar en los agaves pulqueros (*Agave salmiana* y *A. mapisaga*). Bol. Soc. Bot. Méx. 66: 73-79.
27. Lorenzo M. A. 2007. El maguey y el pulque en México. Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F. p. 41-63.
28. Martin A. R., M. A. Martins, L. H. C. Mattoso y O. R. R.F. Silva. 2009. Caracterização química e estrutural de fibra de sisal da variedade *Agave sisalana*. Seção Técnica. Polímeros 19: 40-46.
29. Merino-Negrete O., Gisela V., Campos Á., Zamora-Alvarado R., Rodríguez-Ortiz G. 2018. Variación altitudinal en caracteres morfológicos de *Agave potatorum* Zucc en San Baltazar Guelavila, Oaxaca. Revista Latinoamericana el ambiente y las ciencias. 9 (21):283-290.
30. Mora-López J. L., J. A. Reyes-Agüero, J. L. Flores-Flores, C. Peña-Valdivia y R. Aguirre-Rivera. 2011. Variación morfológica y humanización de la sección Salmianae del género *Agave*. Agrociencia 45: 465-477.
31. Orozco-Hernández M. E., D. Velázquez-Torres, B. García-Fajardo y H. Campos-Alanís. 2018. Adaptación a los cambios ambientales y territoriales. Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, México. [en línea] Disponible en <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/94764> (Revisado el 2 de mayo de 2020).
32. Parker K., C. D. Trapnell, J. Hamrick y W. Jodgson. 2014. Genetic and morphological contrast between wild and anthropogenic populations of *Agave parryi* var. huachucensis in south-eastern Arizona. Annals of botany. 113: 939-952.
33. Parra-Negrete L., P. Del Villar-Quiñones y A. Prieto-Rodríguez. 2010. Extracción de fibras de agave para elaborar papel y artesanías. Acta Universitaria 20: 77-83.
34. Pérez-Hernández E., M. Chávez-Parga y J. González-Hernández. 2016.

Revisión del agave y el mezcal. Revista Colombiana de Biotecnología 18: 148-164.

35. Porras-Ramírez E. 2017. Variabilidad genética y cuantificación genómica en especies del complejo *Agave potatorum* basado en marcadores morfológicos y citométricos. Tesis de Maestría. Instituto Politécnico Nacional, Oaxaca, México. 61 p.
36. Ramírez-Tobías H., C. B. Peña-Valdivia, J. R. Aguirre R., J. A. Reyes-Agüero, A. B. Sánchez-Urdaneta y S. Valle-Guadarrama. 2011. Seed germination temperatures of eight Mexican Agave species with economic importance. *Plant Species Biol.* 27: 124-137.
37. Rivera L. M. 2014. Variación morfológica y genética del complejo *Agave angustifolia* Haw., en el estado de Oaxaca. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México, México. 61 p.
38. Rodríguez-Garay B., J. A. Lomelí-Sención, E. Tapia-Campos, A. Gutiérrez-Mora, J. García-Galindo, J. M. Rodríguez-Domínguez, D. Urbina-López e I. Vicente-Ramírez. 2009. Morphological and molecular diversity of *Agave tequilana* Weber var. Azul and *Agave angustifolia* Haw. var. Lineño. *Industrial crops and products* 29: 220–228.
39. Rojas-Rivas E., F. C. Viesca-González, E. Espeitx-Bernat y B. Quintero-Salazar. 2016. El maguey, el pulque y las pulquerías de Toluca, Estado de México, ¿patrimonio gastronómico turístico?. *PASOS. Revista de Turismo y Patrimonio Cultural* 14 (5): 1199-1215.
40. Rosales D., L. Jiménez, C. Gómez, C. Valles, S. de León, S. Ordaz y E. Balch. 2008. El cultivo *in vitro* como herramienta para el aprovechamiento, mejoramiento y conservación de especies del género *Agave*. *Investigación y Ciencia* 16: 53-62.
41. Rzedowski R. J. y R. G. Calderón. 1990. Flora Fanerogámica del Valle de México. Instituto de Ecología. Michoacán, México. 394 p.
42. SAGARPA-SNICS. 2014. Guía Técnica para la Descripción Varietal. *Agave*. Tlalnepantla, Estado de México, México. 28 p.

43. Salinas J. 2007. Inicia la producción *in vitro* de maguey pulquero en el Edomex. Nota en La Jornada [en línea]. Disponible en <https://www.jornada.com.mx/2007/01/11/index.php?section=ciencias&article=a03n2cie> (Revisado el 22 de julio de 2021).
44. SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2019. Maguey Pulquero. (en línea). Disponible en <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-33119> (Revisado el 2 de mayo de 2020).
45. Trejo-Salazar R.E., E. Scheinvar y L. E. Eguiarte. 2015. ¿Quién poliniza realmente los agaves? Diversidad de visitantes florales en 3 especies de Agave (Agavoideae: Asparagaceae). *Revista Mexicana de Biodiversidad* 86: 358-369.
46. Valadez M. M. 2014. “Pulque limpio” / “Pulque sucio”: disputas en torno a la legitimidad y la producción social del valor. *Revista Colombiana de Antropología* 50:41-63.
47. Vázquez G., A., M. Aliphath, N. Estrella, E. Ortiz, J. Ramírez y A. María. 2016. El maguey pulquero, una planta multifuncional y polifacética: los usos desde una visión mestiza e indígena. *Scripta Ethnologica*. 38:65-87.
48. Vela E. 2018. Un don divino. El pulque. *Arqueología Mexicana*. Edición especial. 78: 48-75.