



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS**

---

---



**DESARROLLO DE PLANTAS DE *Agave salmiana* (Otto ex Salm-Dyck)  
EN LERMA, ESTADO DE MEXICO.**

**TESIS**

**PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO AGRÓNOMO FITOTECNISTA**

**PRESENTA  
MITZY XOCHIQETZAL ESQUIVEL GUADALUPE**

**GENERACIÓN  
47<sup>A</sup>**

**NO. DE CUENTA  
1972800**

**DIRECTOR DE TESIS  
DR. OMAR FRANCO MORA**

**CAMPUS UNIVERSITARIO “EL CERRILLO”, EL CERRILLO  
PIEDRAS BLANCAS, TOLUCA, MÉXICO 2024.**

## RESUMEN

### DESARROLLO DE PLANTAS DE *Agave salmiana* (Otto ex Salm-Dyck) EN LERMA, MEXICO

Mitzy Xochiquetzal Esquivel Guadalupe, Ingeniera Agrónoma Fitotecnista,  
Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Ciencias Agrícolas.

Director de Tesis: Dr. Omar Franco Mora.

El Estado de México es el cuarto productor nacional de pulque, por lo que recuperar y determinar las mejores condiciones agrícolas de producción para esta especie impactará en el desarrollo económico y la conservación ecológica. En el año 2023, en una parcela en el poblado de Pueblo Nuevo Tlalmimilolpan, Lerma, México, se evaluó el desarrollo vegetal de plantas de maguey (*Agave salmiana* Otto ex Salm- Dyck) de 2 años de edad. Se determinó el número de pencas nuevas o extendidas, así como el contenido de clorofila y de compuestos fenólicos en dichos órganos. El periodo de mayor formación de pencas fue en abril y diciembre, formándose una penca cada 20 días; mientras que en el resto del año se requirieron 40 días para dicho proceso. La temperatura media del mes de extensión de la penca se asoció en un modelo cuadrático ( $R^2 = 0.279$ ); por lo que se intuye que hay otros factores que influye en este proceso. En abril se presentó la mayor acumulación de materia seca en la penca, mientras que en diciembre se registró el menor valor para esta variable de crecimiento. El mayor contenido de clorofila se presentó en octubre y el de compuestos fenólicos en diciembre. Lo cual indica la fluctuación estacional de estos compuestos en la penca de maguey.

**Palabras clave:** Clorofila, compuestos fenólicos, fenología, maguey, milpa.

## ABSTRACT

### PLANT DEVELOPMENT OF *Agave salmiana* (Otto ex Salm-Dyck) IN LERMA, MEXICO

Mitzy Xochiquetzal Esquivel Guadalupe, Ingeniera Agrónoma Fitotecnista, Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Ciencias Agrícolas.

Academic Adviser: Ph. D. Omar Franco Mora, Prof.

The State of Mexico is the fourth producer of pulque in Mexico, thus, it is important to recover and develop the field conditions and agronomic techniques to improve *Agave salmiana* production; thus, helping economic and ecological status. In 2023, we evaluated the two-year-old *A. salmiana* plants development in a field located in Pueblo Nuevo Tlalmimilolpan, Lerma, México. It was recorded, the number of new or expanded leaves, foliar chlorophyll and phenolic compounds content. It was determined that April and December were the months with higher number of leaves formation, with a new leaf each 20 days; whereas in the rest of the year, it was needed 40 days to expand a new leaf. The mean temperature at the month of expansion and the number of leaves were associated in a quadratic equation at  $R^2 = 0.279$ ; thus, several environmental and factor might be considered to explain this factor of *A. salmiana* plant growth. The higher amount of chlorophyll was determined in October and for the content of phenolic compounds the higher value was observed in December. Those results indicate the annual fluctuation in the content of those plant compounds in the agave leaves.

**Key words:** Chlorophyll, phenolic compounds, phenology, maguey, field.

## ÍNDICE

I.	Introducción .....	1
II.	Objetivos .....	3
2.1	Objetivos generales .....	3
2.2	Objetivos específicos .....	3
III.	Hipótesis .....	4
IV.	Revisión de Literatura .....	5
4.1	Los agaves .....	5
4.1.1	Sistemática, botánica y morfología .....	6
4.2	Maguey pulquero .....	8
4.2.1	Aprovechamiento .....	8
4.2.1.1	Aguamiel .....	9
4.2.1.2	Pulque .....	10
4.2.1.3	Penca .....	10
4.2.1.4	Insectos comestibles .....	11
4.2.2	Requerimiento climático .....	12
4.2.3	Sistemas de cultivo y prácticas culturales .....	13
4.2.4	Desarrollo .....	15
4.2.4.1	Crecimiento .....	16
4.2.4.2	Diferenciación e interacción con el ambiente .....	17
V.	Materiales y métodos .....	19
5.1	Ubicación del experimento .....	19
5.2	Manejo de cultivo .....	22
5.3	Evaluación del desarrollo vegetativo .....	25
5.3.1	Numero de pencas nuevas .....	25
5.3.2	Peso fresco y seco de la penca .....	28
5.3.3	Determinación de clorofila y compuestos fenólicos .....	28
5.4	Datos climáticos .....	32
5.5	Presentación de datos .....	32
VI.	Resultados y discusión .....	33
6.1	Formación de pencas .....	33
6.2	Materia seca .....	37
6.3	Clorofila .....	39
6.4	Compuestos fenólicos .....	42
VII.	Conclusiones .....	46
VIII.	Bibliografía consultada .....	47

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Título</b>	<b>Paginas</b>
1	Morfología de la planta de <i>Agave salmiana</i> (Tomado de Pérez <i>et al.</i> , 2017)...	7
2	Gusano blanco de maguey pulquero ( <i>Aegiale hesperiaris</i> ). Tomada de GardenTech	12
3	Imagen aérea del terreno donde se tiene establecida la milpa de maguey pulquero ( <i>Agave salmiana</i> ) en Pueblo Nuevo Tlalmimilolpan, Lerma, Estado de México.	19
4	Surco de <i>Agave salmiana</i> en la parcela al inicio del proyecto, enero, 2023, plantas de 2 años de edad.	20
5	Vista parcial de una línea de <i>Agave salmiana</i> (metpantli) en una milpa de maguey (metmili) en Pueblo Nuevo Tlalmimilolpan Lerma. Como barrera se tienen plantas de <i>Morus nigra</i> L. y <i>Paulownia tomentosa</i> (Thunb.) Steud; El sublote vecino al experimental es una combinación de <i>A. salmiana</i> y <i>Senna spectabilis</i> (DC.) H.S. Irwin & Barneby.	21
6	Riego de maguey pulquero ( <i>Agave salmiana</i> ) en la parcela ubicada Pueblo Nuevo Tlalmimilolpan, Lerma, Estado de México, abril de 2023.	22
7	Vista posterior a la eliminación de la maleza con azadón en el cultivo de <i>Agave salmiana</i> , junio de 2023	23
8	Eliminación manual de maleza en <i>Agave salmiana</i> , agosto de 2023.	24
9	Vista superior de maguey pulquero ( <i>Agave salmiana</i> ) en la región de Lerma Tlalmimilolpan, al inicio del proyecto, 30 de enero de 2023, con todas las espinas superiores eliminadas, con el fin de reconocer a las nuevas pencas expandidas durante un periodo de tiempo.	26
10	Vista parcial del sublote de plantas de <i>Agave salmiana</i> en Pueblo Nuevo, Tlalmimilolpan, Estado de México, al término del proyecto, 3 de diciembre de 2023; plantas de 2 años y 11 meses.	27
11	Pantalla del espectrofotómetro durante la medición de clorofila en <i>Agave salmiana</i> .	29
12	Gráfica obtenida de la curva estándar para determinar compuestos fenólicos.	30
13	Muestras para determinar contenido fenólico en pencas de <i>Agave salmiana</i> sometidas a secado en laboratorio.	31
14	Muestras para determinar contenido fenólico en pencas frescas de <i>Agave salmiana</i> .	31
15	Cinética anual, 2023, del tiempo, en días, necesario para la aparición de una penca de <i>Agave salmiana</i> , en Pueblo Nuevo Tlalmimilolpan, Lerma, México. Se incluyen los datos de temperatura media anual para los meses de muestreo. El dato representa la media de 36 plantas por fecha de medición.	34
16	Modelo cuadrático para la relación entre la aparición de pencas nuevas de <i>Agave salmiana</i> y la temperatura media del mes de muestreo en Pueblo Nuevo Tlalmimilolpan, Lerma, Estado de México, 2023.	35
17	Cinética anual del contenido de materia seca, en porcentaje, de las pencas de plantas de <i>Agave salmiana</i> creciendo en Pueblo Nuevo Tlalmimilolpan, Lerma, México en 2023. El dato representa la media de 18 plantas por fecha de medición $\pm$ la desviación estándar.	38

<b>18</b>	Cinética anual del contenido de clorofila total, clorofila a y clorofila b en las pencas de <i>Agave salmiana</i> creciendo en Lerma, México en 2023. El dato representa la media de 20 plantas por fecha de medición. Letras diferentes a nivel del tipo de clorofila indican diferencia estadística con la prueba de tukey al 0.05.	<b>40</b>
<b>19</b>	Cinética anual del contenido de compuestos fenólicos en las pencas frescas y secas de <i>Agave salmiana</i> creciendo en Pueblo Nuevo Tlalmimilolpan. Lerma, México en 2023. El dato representa la media de 18 plantas por fecha de medición. Letras diferentes a nivel del tipo de penca indican diferencia estadística con la prueba de tukey al 0.05.....	<b>43</b>

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla</b>	<b>Título</b>	<b>Página</b>
<b>1</b>	Cinética anual del índice clorofila a/b en pencas de <i>Agave salmiana</i> de 2 años de edad (enero 2023), creciendo en Pueblo Nuevo Tlalmimilolpan, Lerma, México.	42

## I. INTRODUCCIÓN

Las plantas del género *Agave* se han denominado comúnmente magueyes y en México han sido empleadas desde tiempos prehispánicos. Entre los usos de estas plantas esta la obtención de textiles, se emplean para el proceso de cocimiento de la barbacoa, mientras que con la piña o tronco (botánicamente es un tallo modificado) se han elaborado bebidas alcohólicas, entre ellas el pulque (fermentado), y otros destilados como el mezcal y el tequila. En diversas culturas mesoamericanas, el maguey no solo fue importante por su uso, sino también por su papel en las creencias religiosas. Es posible que las espigas centrales de la penca del maguey se hayan empleado también en rituales religiosos de las culturas prehispánicas (Sierra, 2013).

México es reconocido como centro de origen y dispersión de diversas especies de agave. Su uso, conservación y cruzamiento ha permitido que persistan variantes morfológicas de maguey, muchas de ellas con importancia regional, nacional e internacional. Particularmente del maguey pulquero, existen más de tres especies con las que se elaboran pulque. Hasta hace algunas décadas, el consumo de dicha bebida era importante económicamente en México. Sin embargo, la llegada de otras bebidas alcohólicas, posiblemente con mayor facilidad de manejo y distribución propició menor venta de pulque. De esa manera, se limitó el ingreso económico de los productores y trabajadores de pulque; lo cual provocó la pérdida de fincas pulqueras, pulquerías y, con ello, disminuyó el trabajo de maestros pulqueros y tlachiqueros en general (Parsons y Darling, 2000).

Diferentes voces sugieren que la conservación de los recursos fitogenéticos permitirá mejorar la salud de los ecosistemas y aportará beneficios económicos a través del mercado local y el turismo sustentable y agrícola. La producción de pulque parece reactivarse recientemente; por lo cual, también es importante reconsiderar las prácticas agrícolas que han estado

involucradas en el cultivo de maguey pulquero, y proponer otras para incrementar la eficiencia y sustentabilidad del cultivo en mención.

En el municipio de Lerma, Estado de México, todavía en los años 70's y 80's del siglo pasado se producían importantes cantidades de pulque, y la existencia de tlachiqueros y maestros pulqueros era común. Sin embargo, al igual que en diferentes partes de los valles centrales del país, la elaboración de pulque disminuyó en dicho municipio; pero existe el interés de reactivar el sistema producto pulque y, de mejorar tanto el sistema de cultivo de maguey, así como la transformación de su savia en pulque. Para ello, es necesario retomar información básica de crecimiento y establecimiento del maguey y posteriormente proponer alternativas de manejo.

## II. OBJETIVOS

### 2.1. Objetivo general

Evaluar el desarrollo vegetal de plantas de *Agave salmiana* (Otto ex Salm- Dyck) de 2 años de edad, establecidas en la localidad de Pueblo Nuevo Tlamimilolpan, Lerma, México.

### 2.2. Objetivos específicos

- ✚ Registrar el tiempo que se requiere para la aparición de una penca en plantas de *A. salmiana*.
- ✚ Determinar el contenido de clorofila y de compuestos fenólicos en las pencas de *A. salmiana*.

### **III. HIPÓTESIS**

La aparición de una nueva penca, y el contenido de clorofila y de compuestos fenólicos, son elementos que permiten evaluar el crecimiento de plantas de *A. salmiana*.

## IV. REVISIÓN DE LITERATURA

### 4.1. Los agaves

Existe estrecha relación entre los mexicanos y los agaves; estas plantas satisfacen varias necesidades de los pobladores de las zonas áridas y semiáridas del país, e incluso llegan a ser el soporte de importantes actividades económicas generadoras de riqueza como lo son la industria tequilera, mezcalera y de fibras naturales (García-Mendoza, 1995; Colunga *et al.*, 2007; Esqueda *et al.*, 2011). En la actualidad, posiblemente el mayor aprovechamiento de estas plantas sea la obtención de bebidas alcohólicas, entre ellas el mezcal (*Agave spp.*), tequila (*Agave tequilana* Weber), pulque (*A. salmiana*; *A. mapisaga*, *A. americana*) y otros. (Álvarez-Ríos *et al.*, 2020).

Las plantas del género *Agave* pertenecen a la familia Asparagaceae (Juss). México es el centro de mayor riqueza y diversidad biológica para este género, con 261 especies, aproximadamente 75 % del total reportado en listados botánicos (Royal Botanical Gardens, 2024). En México se considera que alrededor de 74 especies de *Agave* son usadas para elaborar bebidas y obtención de fibra, principalmente (Nava-Cruz *et al.*, 2014).

El SIAP (2017) reportó que, en 2016 la superficie nacional destinada a la producción de agaves era de 108,119 ha, de las cuales se aprovechó el 20 % de agaves establecidos, con una producción total de 1,846,345 t de materia fresca, con un valor de producción de más de 8 mil millones de pesos.

#### 4.1.1. Sistemática, botánica y morfología

Las plantas de este género son perennes, pueden crecer hasta 1.8 m de altura, con una roseta formada por hojas suculentas que se sitúan en espiral alrededor de su tallo, corto en relación con su longitud, por lo que aparentan nacen directamente desde el suelo. La parte aérea de la planta llega a pesar hasta 250 kg en estado fresco. Poseen raíces muy ramificadas, cutícula gruesa, hojas suculentas con estomas hundidas y metabolismo fotosintético tipo CAM. Sus hojas son lanceoladas lineales, suculentas, fibrosas, verde grisáceo o glauco y miden de 1.0 a 2.0 m de largo por 20 a 35 cm de ancho; los márgenes de las hojas presentan pequeñas espinas en forma de gancho o rectas, al final de esta, hay una espina terminal de 4 a 5 cm de largo, color marrón oscuro, ranurada interiormente (Figura 1). Su forma de propagación más común es por hijuelos, tiene raíces duras y fibrosas que penetran aproximadamente 30 cm en el suelo. Las inflorescencias son robustas, el escapo con brácteas carnosas y grandes, miden de 7 a 8 m, panícula amplia compuesta de 15 a 20 umbelas grandes, con flores de 8 a 11 cm de largo, gruesas y carnosas, amarillas por encima del ovario que es de color verde y mide de 5 a 6 cm de largo, con tépalos desiguales de color amarillo. Las semillas son planas y negras, son semélparos, esto es, que solo tienen una floración durante su ciclo de vida, el cual es de 8 a 35 años (Gentry, 1982; García, 2007; Domínguez *et al.*, 2008).

Presentan baja tasa de reproducción asexual; Silos-Espino *et al.* (2011) indican que un maguey pulquero puede generar de ocho a diez hijuelos en su vida; mientras que Cruz-Vasconcelos *et al.* (2020) indicaron que con fertilización, más del 80% de los magueyes emiten de uno a cinco hijuelos en dos años de vida. La reproducción sexual está limitada por problemas de polinización y viabilidad de las semillas. Así, se considera que los agaves son difíciles de multiplicar masivamente por métodos convencionales (Domínguez *et al.*, 2008).

Sin figura

**Figura 1.** Morfología de la planta de *Agave* sp. (Tomado de Pérez *et al.*, 2017).

## **4.2. Maguey pulquero**

Con el término de maguey pulquero se denominan al menos a tres especies, *Agave americana* L., *A. mapisaga* Trel. y *A. salmiana* Otto ex Salm-Dyck, ya que su savia se ha empleado para obtener un fermento denominado pulque, el cual se ha bebido en México, particularmente en la región central, desde tiempos prehispánicos (Figueredo-Urbina *et al.*, 2021). Las plantas de estas especies han sido cultivadas, semi cultivadas, toleradas o aprovechadas en México desde tiempos prehispánicos (Mora *et al.*, 2011). Actualmente, el estado de Hidalgo es uno de los principales productores de maguey y pulque del país; presenta la mayor extensión de cultivo de maguey pulquero con 4,858 h, lo que representa 65.5 % de la extensión nacional dedicada a este cultivo, y por ende la mayor producción de pulque, con un total de 111,682,000 L de pulque al año, cifra que representa 66.9 % de la producción nacional. La producción de pulque también es importante para Tlaxcala con 37,397,000 L (22.4 % de la producción nacional); en tercer lugar, está Puebla con 11,103,000 L (6.65 %) y en cuarto sitio el Estado de México con 4,595,000 L (2.75 %) (SAGARPA, 2020).

### **4.2.1. Aprovechamiento**

Las plantas de maguey pulquero tienen aprovechamiento integral y, recientemente, en los valles del centro de México, se ha incrementado el interés agroecológico y agro turístico en las fincas pulqueras (Mora *et al.*, 2011).

#### 4.2.1.1. Aguamiel

El aguamiel, o jugo de agave, es la savia del maguey, es de color amarillento y de olor herbáceo; se acumula al hacer el captado y posterior “raspado” del maguey maduro. El capado implica el corte de las hojas tiernas centrales antes del desarrollo del escapo central. Posteriormente, se “raspa” el centro del maguey, para formar una cavidad de 20-30 cm de profundidad, la cual servirá para el almacenamiento de aproximadamente 1500 L de aguamiel durante un período de 3-6 meses (Alanís y González, 2011; Tovar *et al.*, 2008).

El aguamiel es de sabor dulce, ácida o ligeramente alcalina, rica en proteínas y carbohidratos como fructosa, glucosa y sacarosa. Dicho líquido también puede concentrarse para la obtención de jarabe de aguamiel, el cual, a su vez, puede ser procesado para obtener fructosa (Álvarez-Ríos *et al.*, 2022). En México, el aguamiel es tradicionalmente empleado para la manufactura del pulque, que es una bebida alcohólica ancestral, sin embargo, actualmente la producción de ambas bebidas no es rentable debido a diferentes factores entre los destacan los siguientes:

- (a) Desde la década de 1960 inició la disminución de la demanda de pulque debido a un crecimiento del consumo de cerveza.
- (b) Los bajos precios del pulque (0.26-0.43 dólar/L) no han generado ganancia económica adecuada para los agricultores.
- (c) Los cultivos de maguey han sido utilizados para otros fines, entre los cuales está la preparación de platos tradicionales, como la barbacoa y la búsqueda de insectos comestibles exóticos (Islas *et al.*, 2005).

Por otro lado, el aguamiel es un buen candidato para la elaboración de biocombustibles (Flores *et al.*, 2008).

#### **4.2.1.2. Pulque**

El pulque es una bebida alcohólica que se obtiene de la fermentación del aguamiel; la cual es la savia que se obtiene al realizar una cavidad en el centro del tallo del maguey pulquero (Álvarez-Ríos *et al.*, 2022). La palabra “pulque” deriva de poliuhqui, vocablo de la lengua náhuatl que significa descomponerse o corromperse (Muñoz, 2012); pero este término lo empleaban en el México prehispánico para denominar al pulque de mala calidad, que no era apto para beberse. El término correcto del pulque en náhuatl es “octli”. Entre los aztecas, el consumo cotidiano y masivo de pulque, incluso entre niños, mujeres embarazadas y recién nacidos, se debía a que era una fuente importante de nutrimentos esenciales y agua, que reducía el riesgo de contraer enfermedades gastrointestinales pero a pesar de ser un alimento nutritivo e inocuo, los emperadores aztecas restringían su consumo debido a los problemas sociales que provocaba su efecto embriagante, y solo se permitía beber mayores cantidades a individuos que se encontraban más cercanos a la muerte, entre ellos los guerreros y los ancianos (Correa- Ascencio, 2014).

#### **4.2.1.3. Penca**

Son las hojas del maguey y son apreciadas para la elaboración de barbacoa y extracción de mixiote. Además, sus fibras fueron utilizadas en el pasado para la elaboración de ayates y

piezas de uso diario como hondas, morrales, cordeles, etc.; posteriormente se utilizaron para fabricar cuerdas, telas, redes y bolsas; relleno de colchones y sillones para autos. También son utilizadas como recipientes para servir los alimentos y bebidas en el campo durante el almuerzo y comida. Se pueden obtener infinidad de remedios para aliviar enfermedades, se extrae fibra para la elaboración de telas, cepillos, artesanías, estropajos y papel. Las pencas son fundamentales para la extracción de gusano blanco (*Aegiale hesperiari*). En algunos lugares se utilizan como decoración en las ofrendas de Día de Muertos. Finalmente, los mezotes o pencas secas se utilizan como combustible para calentar los alimentos en los hogares (Gentry, 1982).

#### **4.2.1.4. Insectos comestibles**

En México, el consumo de insectos es una tradición desde épocas prehispánicas. Sobresalen dos especies, el gusano blanco del maguey (*Aegiale hesperiaris*) que es la larva de una mariposa (Figura 2), que crece en las pencas del maguey. El cuerpo es de color blanco excepto la cabeza que es rojiza, en los estados del centro de México, se come frito o en salsas. Otra especie comestible es el chinicuil o gusano rojo del maguey (*Comadia redtembacheri*). Estas larvas se encuentran en el centro de las pencas basales del maguey en la primavera y verano sin causar daños considerables al cultivo (Ramos *et al.*, 2012)

Sin figura

**Figura 2.** Gusano blanco de maguey pulquero (*Aegiale hesperiaris*). Tomada de GardenTech.

#### **4.2.2. Requerimiento climático**

Los agaves pulqueros se desarrollan mejor en los Valles altos del Centro de México; incluyendo los estados de Hidalgo, Tlaxcala, Puebla y Estado de México. Las altitudes más comunes de su cultivo están entre los 1000 y 2000 m; pero puede prosperar hasta los 2460 msnm. Son especialmente abundantes en los diferentes tipos de matorral xerófilo, bosque espinoso y pastizal; también prosperan en tipos de vegetación de clima templado, preferentemente en el bosque de encino (García, 2007). El valle de Mezquital, Hidalgo, una de las regiones con más tradición en el consumo de pulque, es una zona árida, poco adecuada para la agricultura de temporal; se encuentra a 2000 msnm y presenta clima templado. El

agave prospera en regiones con atmósfera seca a moderadamente seca en la mayor parte del año; generalmente con precipitaciones que van de los 200 a los 400 mm (Nieto *et al.*, 2016).

Los tipos de suelo que favorecen el crecimiento de los agaves son diversos y pueden ser tanto de origen ígneo como sedimentario. Estas plantas se adaptan muy bien a suelos de características calcárea, suelos rojos (alfisoles y aridisoles) y áridos; en su mayoría los tipos de texturas en los cuales se desarrollan son: franco-arenosos, franco arcilloso y arenoso-limoso, arcillosos y pedregosos como usualmente son los suelos con elevada pendiente (Nieto *et al.*, 2013).

#### **4.2.3. Sistemas de cultivo y prácticas culturales**

En el estado de Hidalgo se pueden reconocer tres sistemas de manejo de agave pulquero: bordos, jardín de traspatio y meteplantes. El sistema en bordos implica el establecimiento de los magueyes rodeando milpas de otros cultivos, principalmente anuales, como frijol, haba y maíz. El sistema jardín de traspatio normalmente se ubica en los alrededores de la casa y, en él, conviven especies vegetales y animales. Los meteplantes, del náhuatl metl: maguey y pantli: hilera, son líneas de agave en donde pueden estar intercaladas con cultivos anuales (Vega *et al.*, 2022).

Las prácticas de preparación del terreno se condicionan al tipo de predio, el grado de pendiente del terreno y la modalidad del cultivo; monocultivo o policultivo. En relación a la fertilización, aunque existen pocos trabajos, se sabe que las necesidades nutrimentales están

relacionadas al tamaño y edad de la planta e influenciadas por el tipo de sustrato y las condiciones ambientales (Nieto *et al.*, 2016).

El maguey es un cultivo que no demanda demasiada fertilización, pero poder tener plantas sanas y obtener productos de calidad lo más recomendable es realizar un abonado antes de establecer el cultivo normalmente la fertilización es realizada con abono orgánico utilizando heces fecales de ovinos, bovinos, caprinos. Después es recomendable fertilizar cada 4 o 5 años, dicha labor se aplicará en los meses de diciembre a marzo y de 4 a 6 Kg/planta, distribuidos alrededor de la planta mezclado con los primeros 20 cm de suelo (INIFAP, 2005). Es recomendable utilizar composta de estiércol de bovino con residuos de maguey en conjunto con un fertilizante químico, usualmente se utiliza fosfonitrato o triple 17 disuelto en agua. Otro producto que también es recomendable es el uso de lombricomposta (*Pérez et al* 2017).

En cuanto al manejo del cultivo, todos los productores aplican abono, particularmente estiércol de vaca, localmente denominada “lama”, y 25% de los productores también realizan fertilización química. La dosis de “lama” varía de acuerdo con el productor, las dosis más mencionadas fueron: 20 L ó Kg por planta y una carretillada por planta (Franco Mora *et al* 2024).

El efecto de Nitrógeno (N), Fosforo (P), Potasio (K), solo se aplica a las plántulas de al menos 40 días, las mejores respuestas agronómicas (crecimiento de la planta y longitud/peso de la raíz) de las plántulas de agave fueron T5 (75% de humus de lombriz + 20% de arena + 5% hoja-suelo)

Entre las prácticas involucradas en el control de malezas se tiene, el control manual de malezas, pastoreo libre de ganado, aplicación de insumos orgánicos, y uso mínimo de herbicidas. Limitar el uso de herbicidas reduce el costo de producción del cultivo (Nieto *et al.*, 2016).

Entre los insectos dañinos a esta especie se encuentran la gallina ciega (*Systellura longirostris*), el picudo del maguey (*Scyphophorus acupunctatus*), gusano rojo del maguey (*Comadia redtenbacheri*), escarabajo cerambícido del maguey (*Acanthoderes funeraria*), gusano blanco del maguey (*Acentrocneme hesperiaris*) y chinche del maguey (*Caulatops agavis*) (Nieto *et al.*, 2016).

Entre las enfermedades que padece el maguey pulquero se tiene a la pudrición bacteriana causada por *Pectobacterium carotovorum* y la viruela o negrilla de la penca (*Asterinia mexicana*) (Nieto *et al.*, 2016).

#### **4.2.4. Desarrollo**

El desarrollo vegetal se puede definir como la suma del crecimiento y la diferenciación, lo cual ocurre en un determinado tiempo. El crecimiento, casi siempre, implica aumento de tamaño, mientras que la diferenciación es un proceso de especialización celular (Salisbury y Ross, 1992).

#### 4.2.4.1. Crecimiento

El crecimiento de las plantas de maguey pulquero se ha determinado midiendo algunas variables como son el número de pencas por planta, diámetro del tallo, altura de planta y longitud y ancho de penca, entre otros (Cruz-Vasconcelos *et al.*, 2020). Debido a su amplia adaptabilidad a cantidades limitantes de agua, se ha indicado que *A. salmiana* no sufre reducción en el número de pencas por planta debido a escases de agua. Así, bajo condiciones de invernadero, en Montecillo, México, y bajo dos tipos de riego, el maguey pulquero desarrolló de 9 a 10 pencas en 14 meses (Ramírez-Tobías *et al.*, 2014). Mientras que, de enero a septiembre de 2018, se reportó que plantas de tres subespecies de *A. salmiana* generaron de 3.3 a 4.1 pencas por planta, resultado que no fue afectado por la especie ni por la dosis de fertilización (Cruz-Vasconcelos *et al.*, 2020).

Bernardino y González (2023) estudiaron pencas de maguey, y las clasificaron, de afuera hacia el tallo, como externas, intermedias e internas. Indicaron que, en plantas de 8 a 10 años, las externas pesan entre 4.6 a 7.8 kg, las intermedias de 3.9 a 8.6 kg y las internas de 2.6 a 2.7 kg. Existe menos diferencia en la longitud de pencas, ya que entre las 9 clasificaciones (año de edad de la planta por posición de la penca) los valores reportados por dichos autores fueron de 1.15 a 1.66 m. Por otro lado, el grosor foliar de plantas de *A. salmiana* fue de 7 a 8 mm independientemente de la intensidad de riego aplicado (Ramírez-Tobías *et al.*, 2014). Para el cultivar Xa'mni (*A. salmiana*) se identifican tres edades de las hojas, jóvenes (ubicadas en el centro del tallo y con inclinación de 0° en relación al tallo); maduras (localizadas en la parte central de la roseta y con ángulo de 45° en relación al tallo) y viejas o senescentes (localizadas en la base de la planta, cerca de la superficie del suelo y con ángulo de 90° en relación al tallo) (Reyes-Samilpa *et al.*, 2023).

#### 4.2.4.2. Diferenciación e interacción con el ambiente

##### Aminoácidos

Como consecuencia de la restricción en el riego, plantas de *A. salmiana* generaron mayor contenido de prolina en relación a plantas con riego frecuente (Ramírez-Tobías *et al.*, 2014). En ese sentido, Cruz-Vasconcelos *et al.* (2020) indicaron que la mayor disponibilidad de agua, permite a las plantas de *A. salmiana* asimilar CO<sub>2</sub> durante el día y la noche; mientras que cuando el riego es limitado, la asimilación del CO<sub>2</sub> solo se da por la noche.

##### Compuestos fenólicos

Los compuestos fenólicos, entre ellos los flavonoides y los ácidos fenólicos se biosintetizan en los vegetales como protección a diversos factores climáticos, generalmente oxidantes, entre ellos la radiación UV, contaminantes ambientales, químicos de origen alimenticio, etc. El potencial de los compuestos fenólicos para el consumo humano, como para la conservación de alimentos ha motivado el estudio de estos componentes en distintas especies de *Agave*. Extractos de *A. angustifolia* han sido empleados para conservar carne de manera exitosa debido a su acción bactericida y antioxidante. El contenido de compuestos fenólicos en dicha especie fue reportado en 28 mg de equivalente de ácido gálico (EAG) por gramo de penca, la quercitina fue el flavonoide con mayor presencia en dicha muestra (Bermúdez-Bazán *et al.*, 2024).

El rango de estos compuestos en las pencas de *A. salmiana* son amplios, ya que, en pencas jóvenes y maduras, sanas y dañadas, en donde se cuantificaron los compuestos fenólicos en fecha posterior al raspado, presentaron de 830 a 3412 mg de equivalentes de ácido tánico (EAT) por mililitro de muestra. Los datos no permitieron observar una tendencia entre el

contenido de compuestos fenólicos en una penca joven a una madura o de una planta sana a una dañada (Medina-Mendoza *et al.*, 2022).

### Clorofila

En un trabajo realizado en el Estado de México, con plantas de un año de edad de *A. salmiana* se determinó que 45 días después de iniciar estrés hídrico, la clorofila b se incrementó de 18 a 25  $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ; pero su valor estadístico a los 114 días del estrés hídrico no presentó diferencias con el valor inicial. A un mes de eliminar el estrés hídrico, los agaves presentaron 17  $\mu\text{g}$  clorofila por centímetro cuadrado de penca. Para el contenido de clorofila b no existieron cambios estadísticos en los agaves sin estrés hídrico. Con respecto a la clorofila a, su contenido cambió durante el periodo de trabajo solamente en los agaves con estrés hídrico, entre el día 45 de estrés y 30 días después de la suspensión de dicho estrés; los valores cambiaron de 40 a 31  $\mu\text{g}/\text{cm}^2$  (Campos *et al.*, 2014).

En *A. angustifolia* se determinó que el contenido de clorofila total, clorofila a y clorofila b puede ser modulada por la fertilización y la inoculación con *Azospirillum brasilense*. Así, en un experimento realizado en Oaxaca con dicha especie, la aplicación de 50 % de la solución nutritiva de Steiner, más la inoculación con *A. brasilense* incrementó el contenido de los pigmentos fotosintéticos, llegando a valores de 160 mg por planta de clorofila total, mientras que el control, sin fertilización ni inoculación resultó en 20 mg de clorofila total por planta (Jarquín-Rosales *et al.*, 2022). En la misma especie, *A. angustifolia*, se determinó que plantas de 2 años de edad presentaron mayor contenido de clorofilas en relación a plantas de 5 años, independientemente del régimen de riego empleado (Aragón-Gastélum *et al.*, 2020).

## V. MATERIALES Y MÉTODOS

### 5.1. Ubicación del experimento

El lote experimental se encuentra en la localidad de Pueblo Nuevo Tlamimilolpan, Lerma, Estado de México ( $19^{\circ}23'42.7''N$   $99^{\circ}30'19.0''W$ ) (Figura 3); en el mismo se tiene establecido maguey pulquero y maguey ornamental; así como especies frutales y forestales (Figuras 4 y 5). Para el presente trabajo se empleó un sublote de maguey pulquero (*Agave salmiana*) establecido a 3 m entre planta y planta y 1.5 m entre hileras. Se emplearon 36 agaves, distribuidos en seis repeticiones de seis agaves por repetición; al momento del inicio del trabajo, los agaves tenían de 2 años de edad y un año de establecidos en la parcela.



**Figura 3.** Imagen aérea del terreno donde se tiene establecida la milpa de maguey pulquero (*Agave salmiana*) en Pueblo Nuevo Tlamimilolpan, Lerma, Estado de México.



**Figura 4.** Surco de *Agave salmiana* en la parcela al inicio del proyecto, enero, 2023, plantas de 2 años de edad.



**Figura 5.** Vista parcial de una línea de *Agave salmiana* (metpantli) en una milpa de maguey (metmili) en Pueblo Nuevo Tlalmimilolpan Lerma. Como barrera se tienen plantas de *Morus nigra* L. y *Paulowniua tomentosa* (Thunb.) Steud; El sublote vecino al experimental es una combinación de *A. salmiana* y *Senna spectabilis* (DC.) H.S. Irwin & Barneby.

El suelo, en su capa de 0 a 30 cm, es franco arenoso, con pH de 5.0, CIC 7.8 Cmol/kg S; 0.7% materia orgánica, 0.09 dS/cm de conductividad eléctrica y 0.13% de nitrógeno; 7.55 ppm de fósforo, 36.8 ppm de potasio, 33.6 ppm calcio, 57.4 ppm de magnesio y 9.2 ppm de sodio.

## 5.2. Manejo del cultivo

Durante la época de estiaje, al cultivo se le aplicaron riegos mensuales, aproximadamente 40 L de agua por planta (Figura 6). Se fertilizó cada dos meses, con 25 g de Nitrofoska azul a cada planta (N 12%, P 12%, K 12% S 24.40%, Mg 2%, Zn 0.10%, B 0.02%, Cu 0.02%, Fe 0.07%, Mn 0.06%, Mo 0.0004%). Asimismo, se le aplicó a finales de marzo estiércol de bovino, para poder retener un poco la humedad, y se controló la maleza con herramienta y de manera manual (Figuras 7 y 8).



**Figura 6.** Riego Manual de maguey pulquero (*Agave salmiana*) en la parcela ubicada Pueblo Nuevo Tlalmimilolpan, Lerma, Estado de México, abril de 2023, planta de 3 meses.



**Figura 7.** Vista posterior a la eliminación de la maleza con azadón en el cultivo de *Agave salmiana*, junio de 2023, planta de 5 meses.



**Figura 8.** Eliminación manual de maleza en *Agave salmiana*, agosto de 2023.

### **5.3. Evaluación del desarrollo vegetativo**

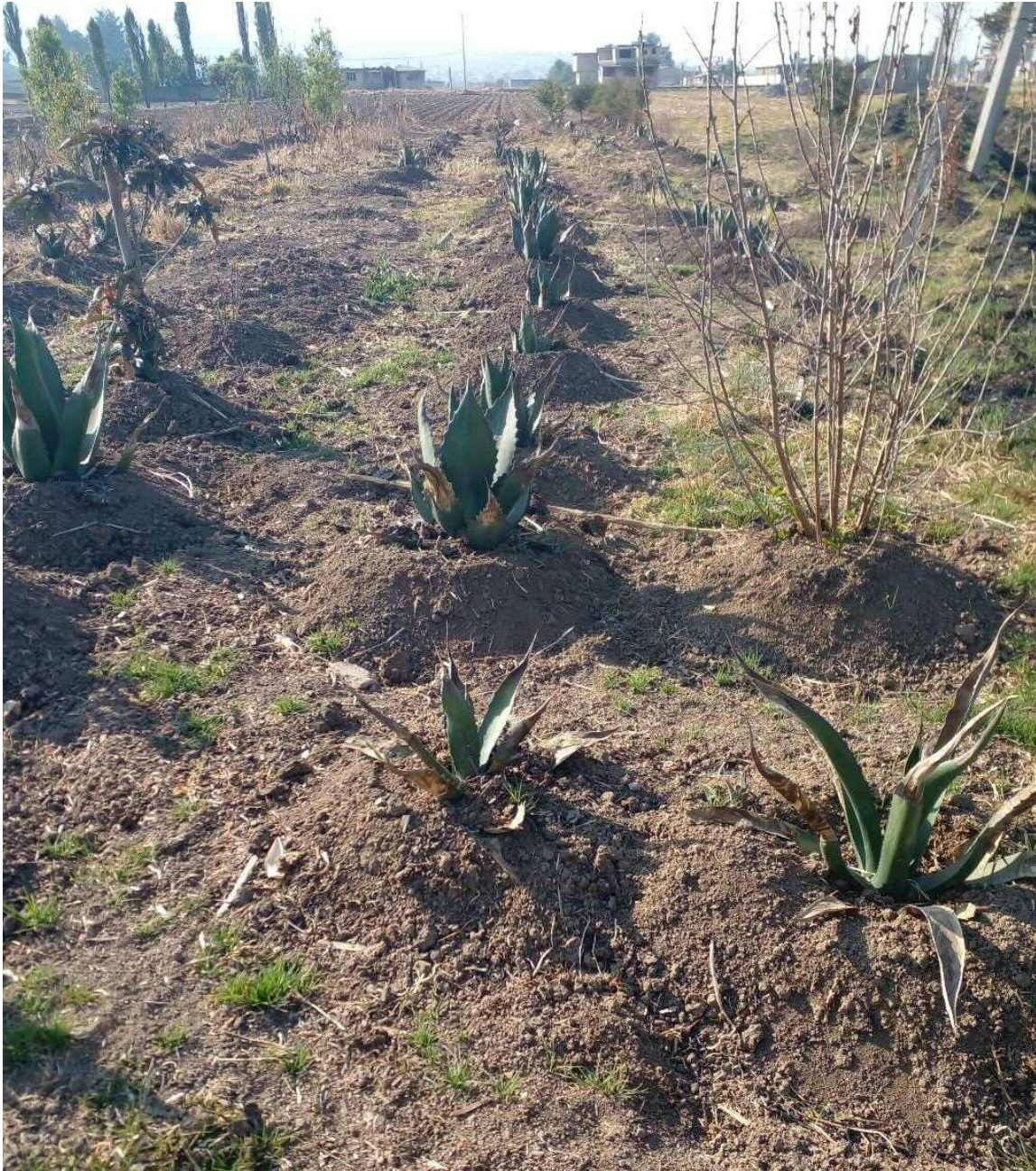
Durante el año 2023 se determinaron algunos factores involucrados con el desarrollo vegetal de plantas de maguey pulquero. Dichas determinaciones fueron:

#### **5.3.1. Número de pencas nuevas**

Al inicio del periodo de estudio, 30 de enero de 2023, se cortaron las espinas superiores centrales de todas las pencas que se encontraban ya extendidas, en cualquiera ángulo, es decir jóvenes, maduras y senescentes (Figura 9). Posteriormente, cada 2 meses, se contó el número de pencas con espina, las nuevas en el centro, y una vez registrado dicho dato, nuevamente se cortaron las espinas apicales de dichas pencas nuevas. Esta acción se realizó periódicamente durante el año 2023, hasta el mes de diciembre (Figura 10).



**Figura 9.** Vista superior de maguey pulquero (*Agave salmiana*) en la región de Lerma Tlalmimilolpan, al inicio del proyecto, 30 de enero de 2023, con todas las espigas superiores eliminadas, con el fin de reconocer a las nuevas pencas expandidas durante un periodo de tiempo.



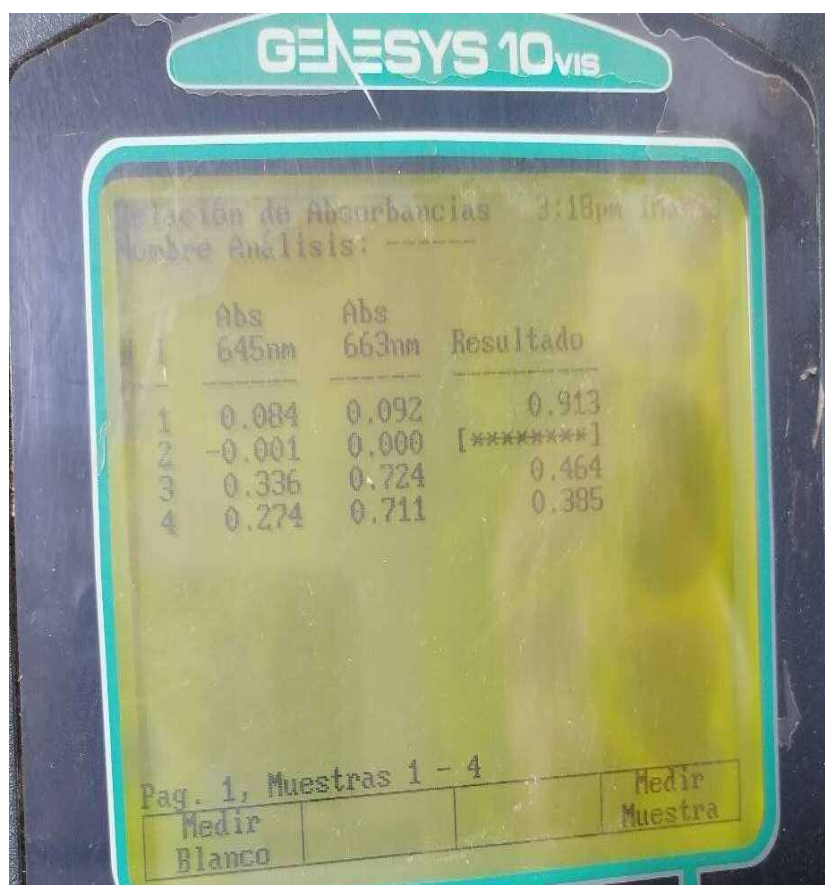
**Figura 10.** Vista parcial del sublote de plantas de *Agave salmiana* en Pueblo Nuevo, Tlalmimilolpan, Estado de México, al término del proyecto, 3 de diciembre de 2023; plantas de 2 años y 11 meses.

### **5.3.2. Peso fresco y seco de la penca**

Cada dos meses, a partir de enero de 2023, y hasta diciembre del mismo año, a tres plantas por bloque se cortó la penca más recientemente expandido. En el laboratorio de Horticultura de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la UAEMex, dicha penca se pesó (en una balanza de precisión) en fresco, posteriormente se secó en una estufa de convección a 80 °C (por 2 días) y la penca en deshidratación se pesó cada 3 horas, aproximadamente, y cuando alcanzó, su peso constante, dicho peso se registró para obtener el porcentaje de materia seca.

### **5.3.3. Determinación de clorofila y compuestos fenólicos**

Para la determinación de la clorofila se utilizó el método espectrofotométrico descrito por Hiscox e Israelstam (1979). Se obtuvo 1.0 g de la parte central de la penca, solo la zona verde, para macerarlo en un mortero adicionando 5 ml de solución de acetona al 80 %, aproximadamente a -15°C hasta extraer todo pigmento verde de la muestra. Posteriormente la solución de acetona se filtró con papel filtro y se depositó en un tubo de ensayo. Se leyó la absorbancia a longitudes de 645 y 663 nm (Figura 11), en un espectrofotómetro (Spectronic); para medir el blanco se leyó la muestra de acetona al 80 %. Con las formulas indicads en dicho método, se registraron los contenidos de clorofila total, clorofila a y clorofila b.



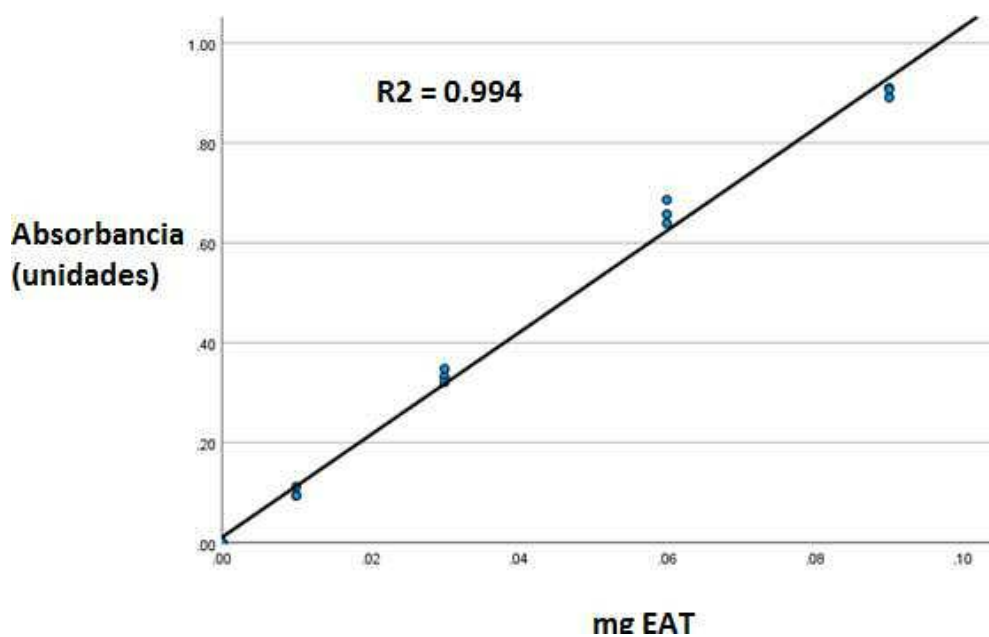
**Figura 11.** Pantalla del espectrofotómetro durante la medición de clorofila en *Agave salmiana*.

Para determinar el contenido de compuestos fenólicos se empleó el método de Folin-Ciocalteu descrito por Waterman y Mole (1994). El procedimiento fue el siguiente, se obtuvo 1 g de la parte central de la penca fresca y de la penca seca. El tejido vegetal se hirvió en 10 mL de alcohol 96%, se filtró el alcohol y se volvió a aforar a 10 mL, este líquido se determinó como la muestra madre.

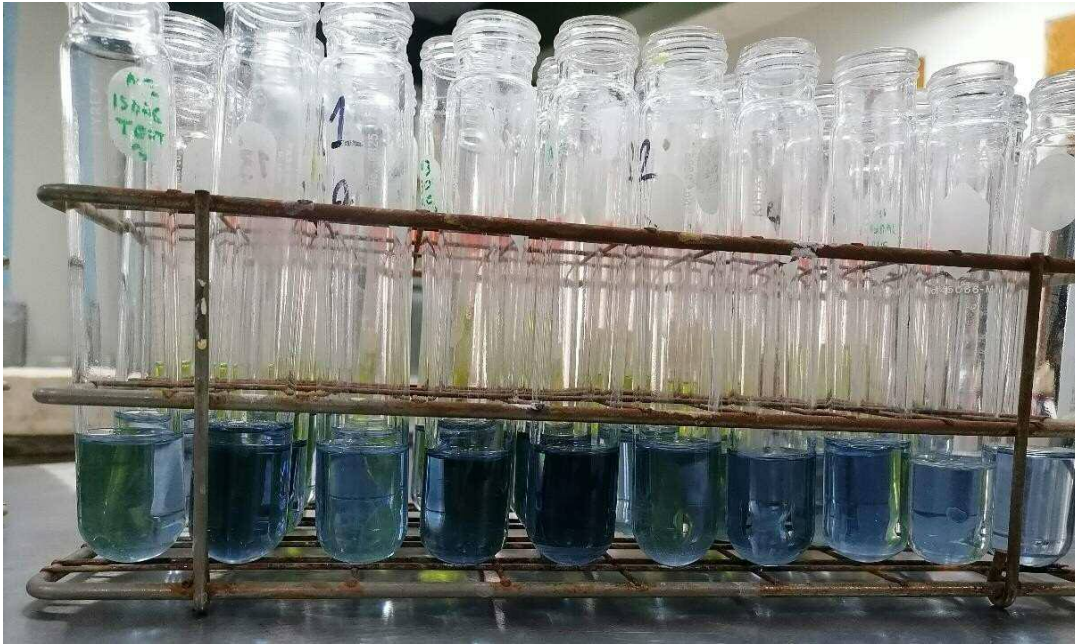
Posteriormente, se adicionaron 0.2 ml de la muestra madre a 4.0 ml de agua desionizada, se agregaron 0.5 ml de Folin Ciocalteu, 1.5 ml de carbonato de sodio, y se aforó a 10 ml. Se

dejó reposar con agua desionizada por 30 min y se midió la absorbancia a 760 nm en el espectrofotómetro Spectronic.

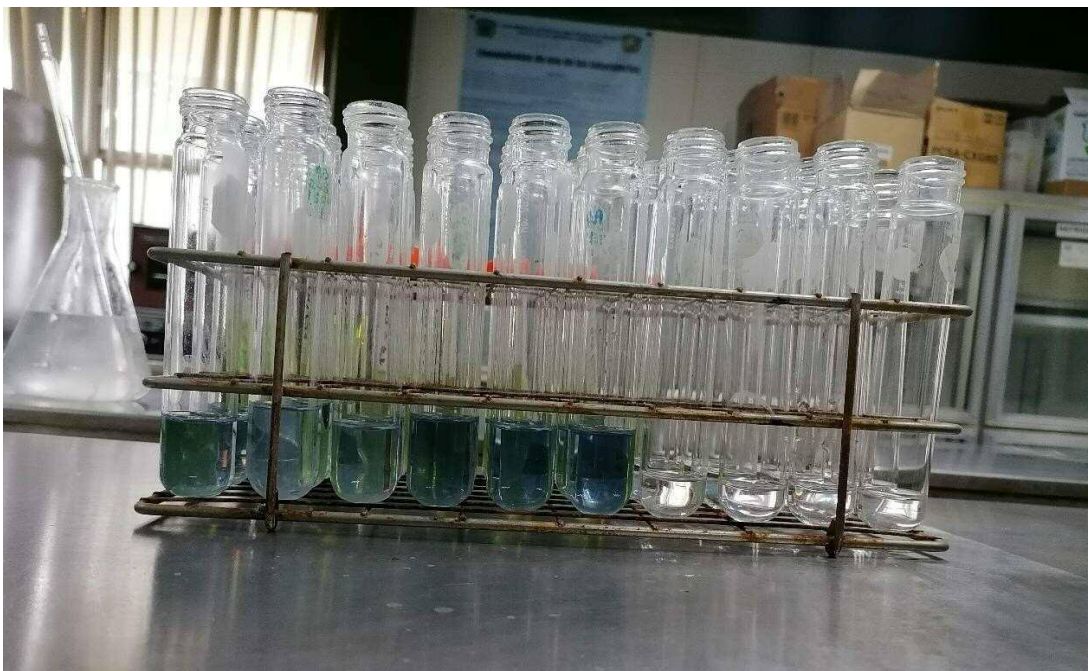
Para la curva estándar (Figura 12) se disolvieron 25 mg de ácido tánico en 250 ml de agua desionizada, se utilizaron volúmenes de 0, 0.1, 0.3, 0.6, 0.9 y 1.2 ml de la solución de ácido tánico en matraces de 10 ml que contenían 4.0 ml de agua desionizada. Se adicionó 0.5 ml de Folin 1.5 ml, carbonato de sodio al 20 %, se agitó y aforó a 10 ml con agua desionizada (Figuras 13 y 14). Después de 30 minutos se determinó la absorbancia a 760 nm.



**Figura 12.** Gráfica obtenida de la curva estándar para determinar compuestos fenólicos.



**Figura 13.** Muestras para determinar contenido fenólico en pencas de *Agave salmiana* sometidas a fresco en laboratorio.



**Figura 14.** Muestras para determinar contenido fenólico en pencas seco de *Agave salmiana*.

#### **5.4. Datos climáticos**

De la estación meteorológica más cercana, ubicada en la Col. Álvaro Obregón, Lerma, se registraron los datos de temperatura y lluvia con el fin de conocer su fluctuación y se relacionó con el crecimiento de la planta de maguey pulquero. Esto para determinar si existe alguna fórmula matemática que explique la aparición de pencas nuevas en relación con la temperatura.

#### **5.5. Presentación de datos**

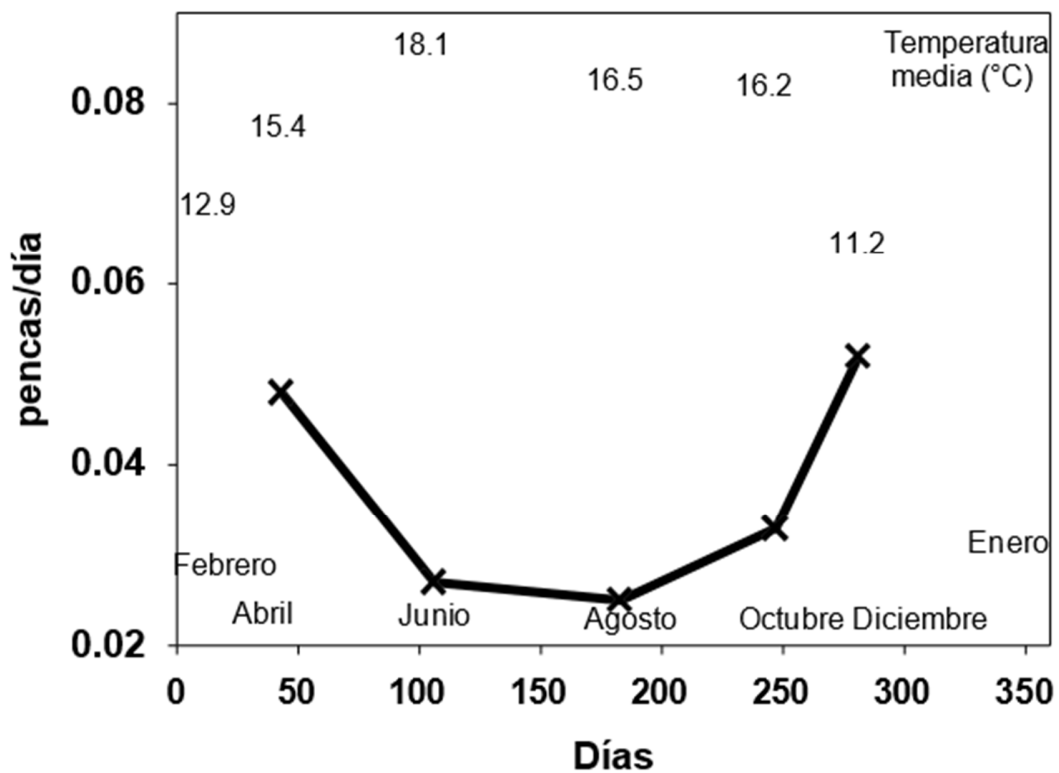
En cada fecha de muestreo, se emplearon 36 plantas de agave para conocer el número de pencas nuevas. Para peso fresco y seco, contenido de clorofila y compuestos fenólicos se emplearon tres magueyes por bloque, siendo 18 plantas por muestreo. Así, los datos se presentan como la medida de 36 ó 18 plantas, respectivamente. No se comparan estadísticamente los bloques al asumirse homogeneidad del suelo y del material vegetal, ya que al inició del experimento, todos los agaves tenían la edad de 2 años y poseían 6 pencas.

## VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 6.1. Formación de pencas

De enero a diciembre de 2023, el promedio de pencas formadas, o desplegadas, por planta fue de 9.06; este número de nuevas pencas fue ligeramente superior a lo reportado por Ramírez-Tobías *et al.* (2014) quienes observaron el desarrollo de 9 a 10 pencas en 14 meses, (8.5 en un año) bajo condiciones de invernadero en Texcoco, México. Por otro lado, el número de pencas nuevas desarrolladas en Pueblo Nuevo Tlalmimilolpan, también fue superior a las 3 a 4 pencas nuevas que se desarrollaron en 9 meses, de enero a septiembre de 2018, en tres subespecies de *A. salmiana* (Cruz-Vasconcelos *et al.*, 2020) y las 5 pencas nuevas que se liberaron del meristemo apical después de 10 meses de desarrollo de plántulas de agave pulquero 'Manso' y 'Shamini' (Jiménez-Torres *et al.*, 2022). La diferencia entre el número de pencas puede deberse a diferentes factores, incluidos aquellos que no son similares en los diferentes experimentos, por ejemplo, los trabajos de Ramírez-Tobías *et al.* (2014), Cruz-Vasconcelos *et al.* (2020) y Jiménez-Torres *et al.*, (2022) se realizaron con plántulas de entre 0.5 a 1.5 años, y bajo condiciones de invernadero, en donde la limitante del sustrato es el que puede contener la bolsa, mientras que en el trabajo que aquí se presenta, el sustrato no fue limitante. Por otro lado, se considera que en los trabajos de maguey pulquero en maceta es más fácil y oportuno el control de arvenses, las cuales se presentan en alta cantidad en campo especialmente en la época de lluvias. Para los maestros pulqueros de Jiquipilco, es de suma importancia el control de malezas, ya que, de lo contrario, su conocimiento les indica que se limita el desarrollo de sus plantas (Franco-Mora *et al.*, 2024).

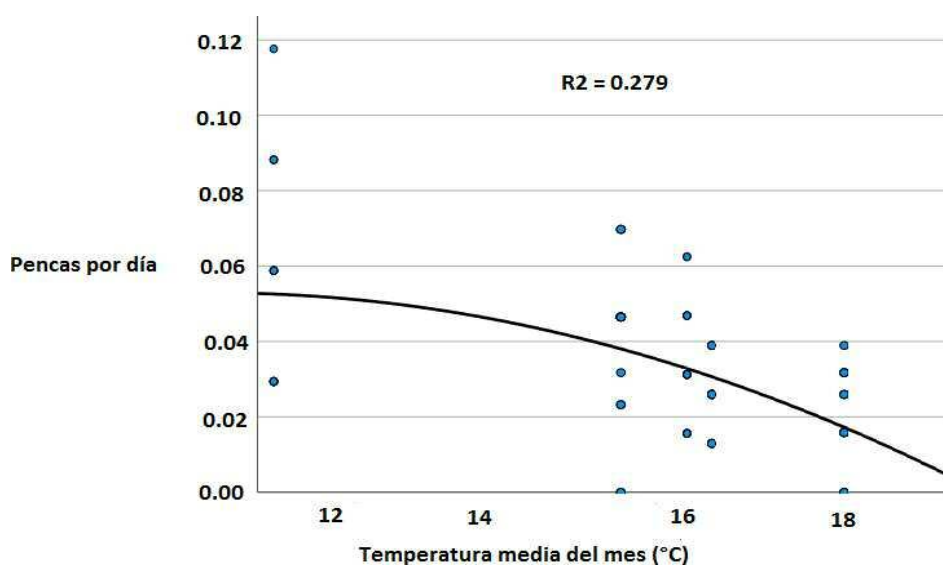
Por otro lado, se determinó que en los meses de abril y diciembre la penca nueva de *Agave salmiana* requirió menor tiempo para desplegarse; mientras en julio y agosto el periodo de desarrollo de las nuevas pencas fue menor (Figura 15). Así, en los meses de abril y diciembre se necesitaron aproximadamente 20 días para la aparición de una nueva penca por maguey, mientras en junio y agosto se requirieron de 40 días para la aparición de una nueva penca.



**Figura 15.** Cinética anual, 2023, del tiempo, en días, necesario para la aparición de una penca de *Agave salmiana*, en Pueblo Nuevo Tlalmimilolpan, Lerma, México. Se incluyen los datos de temperatura media anual para los meses de muestreo. El dato representa la media de 36 plantas por fecha de medición.

El menor tiempo requerido para formar una penca, observado en los meses con menor temperatura puede relacionarse con lo reportado por Pimienta-Barrios *et al.* (2001), quienes encontraron que la mayor asimilación neta de CO<sub>2</sub>, asociado a mayor actividad fotosintética, en *A. tequilana*, ocurre a temperaturas de 5 a 15 °C, y el aumento de temperatura disminuye la actividad fotosintética. Finalmente, el periodo de desarrollo de una penca, ha sido relacionada con el grosor de la cutícula, estructura que está compuesta de quitinas, cutinas y ceras (Bernardino y González, 2023).

Al contrastar la aparición de pencas nuevas con la temperatura media, se obtuvo la mayor aproximación con un modelo cuadrático con  $R^2 = 0.279$  (Figura 16). Como se observó en la Figura 15, el menor tiempo para la aparición de una nueva penca se dio en los meses de menor temperatura media.



**Figura 16.** Modelo cuadrático para la relación entre la aparición de pencas nuevas de *Agave salmiana* y la temperatura media del mes de muestreo en Pueblo Nuevo Tlalmimilolpan, Lerma, Estado de México, 2023.

Se ha sugerido que la aparición de pencas nuevas en *A. salmiana* no está limitado por escases de agua, fertilización, ni genotipo (Ramírez-Tobías *et al.*, 2014; Cruz-Vasconcelos *et al.*, 2020; Jiménez-Torres *et al.*, 2022). Sin embargo, es necesario realizar trabajos que impliquen la sumatoria de los efectos de los diferentes factores ambientales y genéticos para explicar las diferencias en la aparición del número de pencas. La explicación no necesariamente se limitará a un factor, sino a la interacción de varios de ellos.

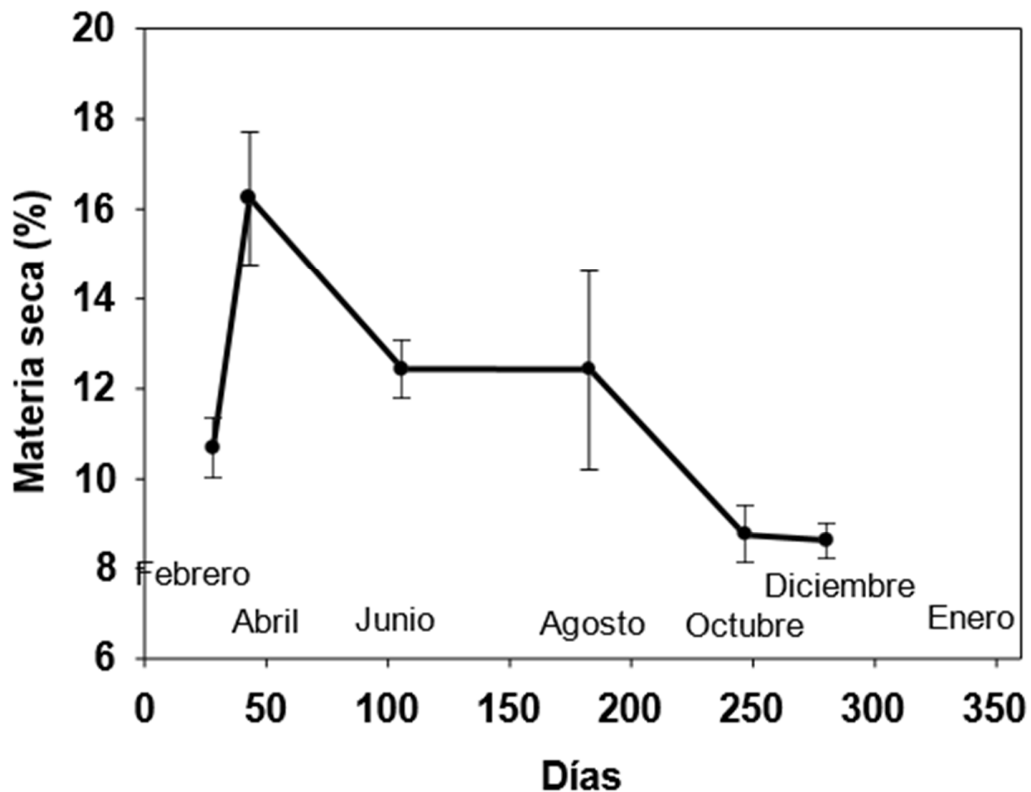
Al igual que en el trabajo aquí presentado, en *A. potatorum* creciendo en unicultivo en Huajapan de León, Oaxaca, existieron meses del año en donde se presentó mayor aparición de pencas; ya que en julio y agosto se presentaron 4 pencas nuevas, mientras que en mayo, abril y marzo se tuvo solo 1 penca. Además, en dicho trabajo se observó la influencia del cultivo asociado, así, *A. potatorum* con frijol incrementó la aparición de pencas, pero la asociación agave-maíz redujo la aparición de dichos órganos (Martínez-Ramírez *et al.*, 2014). Dichas observaciones implican que la aparición de pencas nuevas depende tanto de las condiciones climáticas como del ambiente cercano de la planta; si bien, el trabajo de Martínez-Ramírez *et al.* (2014) estudió dos especies cultivadas, el efecto observado sugiere que el tipo y cantidad de arvenses cercanas al maguey pulquero influyen en su desarrollo como lo indicaron los maestros pulqueros de Jiquipilco (Franco-Mora *et al.*, 2024).

Contrario a lo señalado por Cruz-Vasconcelos *et al.* (2020), al estudiar dosis de fertirriego en maguey pulquero, Sánchez Mendoza *et al.* (2022) indicaron que en *A. potatorum*, la fertilización nitrogenada incrementa el número de pencas extendidas, pero la fertilización con fósforo no lo hace. Mientras que en *A. angustifolia* Haw. el tipo de fertilizante influyó más que la aplicación de bioestimulantes naturales y ácido giberélico 3 en la formación de nuevas pencas (Sánchez-Mendoza *et al.*, 2022); el efecto de la fertilización con 15-09-12

también aumentó el número de pencas en agave coyote (*Agave* sp.) creciendo en Ocatlán de Morelos, Oaxaca (Castillejos-Reyes *et al.*, 2023).

## **6.2. Materia seca**

El contenido de materia seca en las pencas de maguey pulquero tuvo fluctuación en el ciclo 2023, siendo mayor en febrero (aproximadamente 16 %), y con los menores valores (entre 8 y 9 %) en octubre y diciembre (Figura 17). El rango de valores de materia seca encontrados en este trabajo, son cercanos a los reportados en plantas de *A. salmiana* creciendo en San Luis Potosí. En dicho trabajo, se reportó de 10.5 a 13 % de materia seca en tres estadios de la planta (Pinos-Rodríguez *et al.*, 2008), mientras que Pinos-Rodríguez *et al.* (2006) reportaron valores aproximados al 20 % de materia seca en magueyes jóvenes

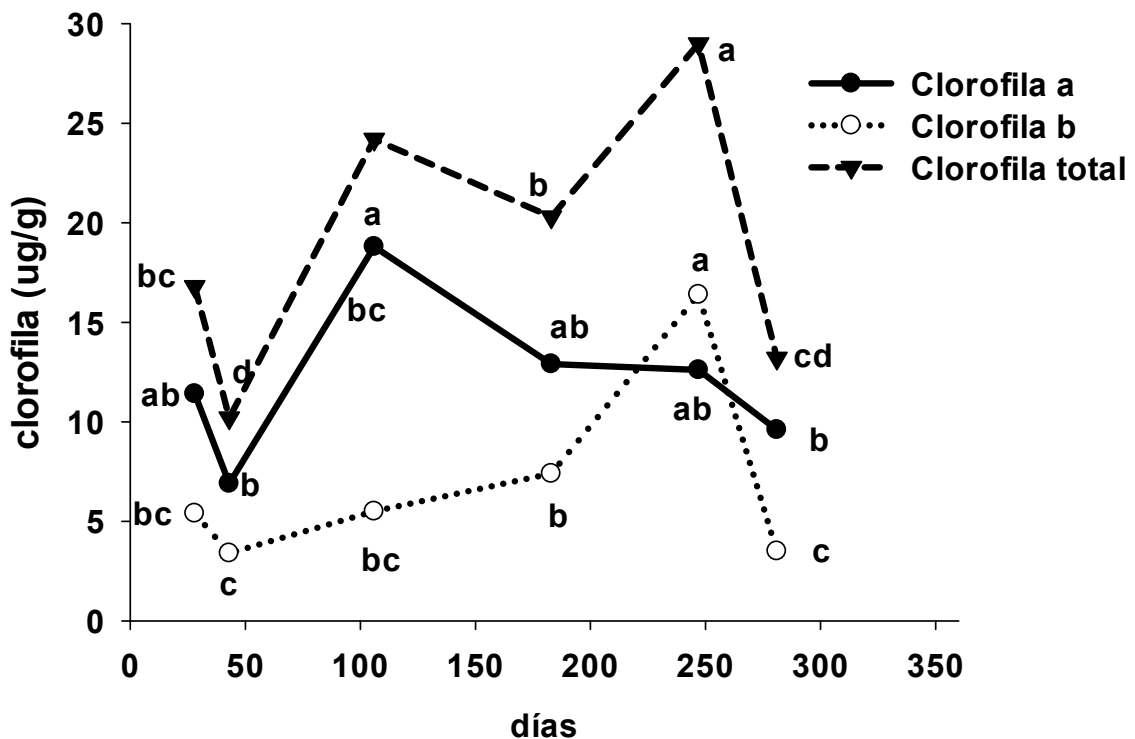


**Figura 17.** Cinética anual del contenido de materia seca, en porcentaje, de las pencas de plantas de *Agave salmiana* creciendo en Pueblo Nuevo Tlalmimilolpan, Lerma, México en 2023. El dato representa la media de 18 plantas por fecha de medición  $\pm$  la desviación estándar.

Pinos-Rodríguez *et al.* (2006) indicaron que la presencia de lluvias reduce el contenido de materia seca por la alta capacidad de las pencas de maguey para almacenar agua. Esto es contrario a lo observado en este trabajo, ya que el contenido de materia seca en la época de lluvia, junio a agosto, presentó valores intermedios entre lo observado en las épocas de estiaje. Es importante observar, que en este trabajo, las plantas de maguey pulquero no estuvieron totalmente sin riego, ya que cada mes se les aplicaron 40 L de agua a cada planta, lo cual pudo influir en el contenido de materia seca.

### 6.3. Clorofila

Existió fluctuación estacional en los contenidos de clorofila total, clorofila a y clorofila b; con los mayores contenidos de clorofila total y clorofila b observados en octubre, mientras que el mayor contenido de clorofila a se presentó en junio (Figura 18). En *A. salmiana*, Campos *et al.* (2014) indicaron que durante épocas de estrés hídrico puede observarse incremento en el contenido de las clorofilas a y b; para el caso de este trabajo, podría sugerirse dicha explicación para la clorofila b, ya que posterior a septiembre ya no hubo lluvia y solo se aplicaron los riegos ligeros de auxilio ya mencionados. La clorofila a está directamente relacionada con la fotosíntesis, mientras que la clorofila b es un accesorio de la clorofila a y, la luz que captura dicho pigmento es enviada a la clorofila a (Willows, 2004). Así, para este trabajo, se puede sugerir la mayor capacidad fotosintética en el mes de junio, periodo en el que se presentó la mayor temperatura media, aproximadamente 18°C.



**Figura 18.** Cinética anual del contenido de clorofila total, clorofila a y clorofila b en las pencas de *Agave salmiana* creciendo en Lerma, México en 2023. El dato representa la media de 20 plantas por fecha de medición. Letras diferentes a nivel del tipo de clorofila indican diferencia estadística con la prueba de tukey al 0.05.

En otras especies de *Agave* se ha determinado que la intensidad fotosintética es estacional y es mayor en los periodos de menor temperatura, lo cual se asocia a metabolismo ácido de las crasuláceas (MAC) que presentan los agaves (Pimienta-Barrios *et al.*, 2002). Sin embargo, en este trabajo no se presentó dicha tendencia en el proceso de fotosíntesis, ya que el mayor contenido de clorofila total y clorofila a en las pencas no coincidió con las menores temperaturas ambientales medias. Campos *et al.* (2014) indicaron que *A. salmiana* es una especie con amplia adaptación a los ambientes que existen en los Valles Altos del Centro de

México y han logrado adaptarse a las diferentes temperaturas, regímenes hídricos e intensidad lumínica.

Morales-Maldonado *et al.* (2022) aplicaron quitosano a plántulas de *A. salmiana*, observando incremento lineal en el contenido de clorofila total, lo cual se asoció a mayor altura de planta, diámetro de tallo, número de hojas, longitud y volumen de raíz. Por lo indicado en dicho trabajo, el mayor contenido de clorofila a puede asociarse a mayor actividad fotosintética; sin embargo, para este trabajo, el periodo de máxima presencia de clorofila a no correspondió al mayor despliegue de pencas nuevas, por lo que, posiblemente, los fotosintatos de dicho periodo sean empleados en otros procesos fisiológicos como pudiera ser el alargamiento y/o engrosamiento de las pencas. Además de la estacionalidad, en *A. angustifolia* la fertilización puede modular factores endógenos asociados a la actividad fotosintética, entre ellos la actividad de la enzima Rubisco y los contenidos de clorofila total, a y b (Jarquín-Rosales *et al.*, 2022).

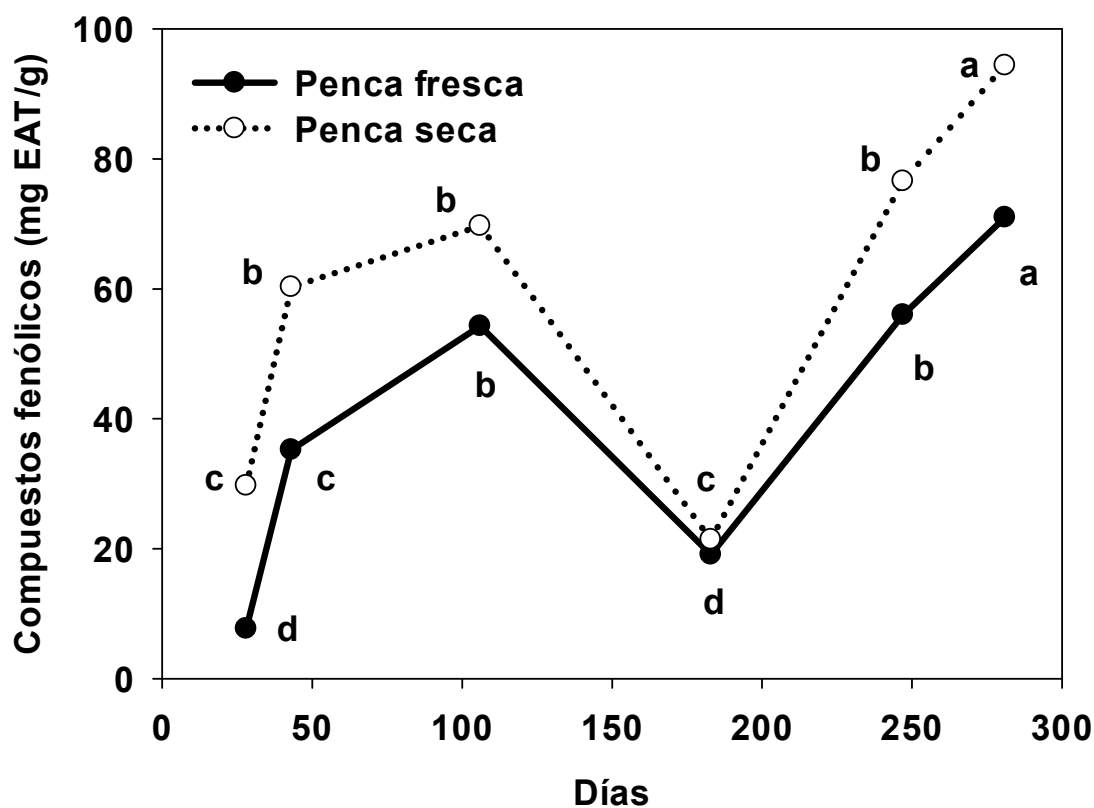
En este trabajo, solo en una de seis fechas del año, el contenido de la clorofila b fue mayor al de la clorofila a; mientras que el índice de clorofila a/b fluctuó entre 0.77 a 3.5 (Tabla 1). Durante 150 días, Campos *et al.* (2014) observaron que el contenido de clorofila a fue mayor que el de la clorofila b, y el índice de clorofila a/b fue de 1.63 a 1.97. En este sentido, la dinámica entre los factores ambientales a campo abierto es diferente a la que se tiene a nivel invernadero, y podría ser parte de la explicación a estas diferencias entre ambos trabajos. El índice de clorofila a/b varía de 2 a 2.8 para plantas adaptadas a la sombra, y es de 3.5 a 4.9 en plantas adaptadas a la exposición directa al sol.

**Tabla 1.** Cinética anual del índice clorofila a/b en pencas de *Agave salmiana* de 2 años de edad (enero 2023), creciendo en Pueblo Nuevo Tlalmimilolpan, Lerma, México.

Mes (2023)	Día	Índice Clorofila a/b
<b>Febrero</b>	28	2.10
<b>Abril</b>	43	2.03
<b>Junio</b>	106	3.50
<b>Agosto</b>	183	1.74
<b>Octubre</b>	247	0.77
<b>Diciembre</b>	281	2.74

#### **6.4. Compuestos fenólicos**

Se presentó fluctuación anual en el contenido de compuestos fenólicos en las pencas frescas y secas de *A. salmiana*. Para ambos tipos de penca, el mayor contenido de compuestos fenólicos ocurrió en diciembre y el menor en febrero (Figura 19).



**Figura 19.** Cinética anual del contenido de compuestos fenólicos en las pencas frescas y secas de *Agave salmiana* creciendo en Pueblo Nuevo Tlalmimilolpan. Lerma, México en 2023. El dato representa la media de 18 plantas por fecha de medición. Letras diferentes a nivel del tipo de penca indican diferencia estadística con la prueba de Tukey al 0.05.

El contenido de compuestos fenólicos en pencas de maguey ha despertado interés por su potencial como fuente de aditivo alimenticio. Puente-Garza *et al.* (2018) reportaron que el contenido de compuestos fenólicos en pencas de *A. salmiana* varía con la edad de la planta. Al estudiar agave durante VI años, indicaron que en el año II se presentó el mayor contenido de compuestos fenólicos con valor de 13 mg EAT por gramo de peso seco; mientras que el menor contenido se encontró en el año VI con 6 mg EAT por gramo de peso seco. Es

importante indicar que, en dicho trabajo, las determinaciones se realizaron en la misma fecha del año, mientras que la variante en estudio fue la edad de las plantas involucradas. Por otro lado, en el mismo trabajo se encontró que las capacidades antioxidantes de las pencas de maguey fueron de manera regresiva del año I al VI. Finalmente, los autores recomendaron el uso de las pencas de los años I y II como alimento funcional para incrementar la ingesta de principios bioactivos. Sin embargo, la adición de penca de maguey a alimentos debe de considerar un aceptable balance en el sabor, para que sea aceptada por el consumidor (Chaparro *et al.*, 2013).

La biosíntesis y acumulación de compuestos fenólicos en las pencas de maguey puede asociarse a diversas reacciones metabólicas y/o fisiológicas, por lo que la fenología y el ambiente son factores que influyen en los cambios de contenidos de compuestos fenólicos. En *A. duranguensis* Gentry, *A. shrevei* Gentry y *A. wocomahi* Gentry se ha indicado que la acumulación de compuestos fenólicos en diferentes partes de las plantas, pueden ser fuertemente afectadas por las condiciones ambientales tales como la radiación UV y la disponibilidad de agua (Almaraz-Abarca *et al.*, 2013). Así, dichas condiciones pueden haber generado la variación de compuestos fenólicos en las pencas de maguey observadas en el presente trabajo.

Por otro lado, Medina-Mendoza *et al.* (2022) emplearon dos métodos de ablandamiento de las pencas de maguey, para la posterior extracción de compuestos fenólicos; dichos métodos fueron el ablandamiento con calor en seco y por calor en húmedo. Emplearon cuatro tipos de pencas, joven sana, joven dañada físicamente, madura sana y madura dañada físicamente. Para el ablandamiento con calor seco, la penca madura dañada presentó el mayor contenido de compuestos fenólicos (3.4 g EAT por mL de muestra), mientras que, con calor húmedo,

el mayor contenido de compuestos fenólicos se reportó en la penca joven sana con 2.8 g EAT/mL muestra.

Además del interés de adicionar los compuestos fenólicos a la alimentación humana, el perfil fenólico tiene potencial para distinguir a las diferentes especies de *Agave*. Entre los compuestos fenólicos reportados para plantas de este género se encuentran flavonoides, homoisflavonoides, ácidos fenólicos, los cuales son asociados a diversas propiedades de los agaves, entre ellas antioxidantes, antibacteriales, antifúngicas, antinematocidas y capacidades inmunomoduladoras (Almaraz-Abarca *et al.*, 2013).

## VII. CONCLUSIONES.

Plantas de *Agave salmiana* formaron una penca cada 20 ó 40 días; siendo abril y diciembre los meses de menor requerimiento de tiempo. La temperatura media del mes de crecimiento se asoció en una relación cuadrática ( $R^2 = 0.279$ ) con la aparición de pencas nuevas. El contenido de clorofila presentó fluctuación anual siendo el mes de junio cuando se determinó el mayor contenido de clorofila a y el mes de octubre el mes en donde se registró el mayor contenido de clorofila b. En el mes de diciembre se registró el mayor contenido de compuestos fenólicos tanto en tejido fresco como seco.

## VIII. BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- ✚ Alanís, G. J. y M. González. 2011. Formas de uso de los magueyes (*Agave* spp.) en Nuevo León, México. *RESPYN* 5:287-299.
- ✚ Almaraz-Abarca, N., E. A. Delgado-Alvarado, J. A. Ávila-Reyes, J. N. Uribe-Soto and L. S. González-Valdez. 2013. The phenols of the genus *Agave* (Agavaceae). *Journal of Biomaterials and Nanobiotechnology* 4:9-16.
- ✚ Álvarez-Ríos, G.D., A. Casas, L. Pérez-Volkow, C. J. Figueredo-Urbina, J. D. Páramo-Gómez and M. Vallejo. 2022. Pulque and pulquerías of Mexico City: a traditional fermented beverage and spaces of biocultural conservation. *Journal of Ethnic Foods* 9:40.
- ✚ Álvarez-Ríos, G. D., C. J. Figueredo-Urbina, y A. Casas. 2020. Sistemas de manejo de maguey pulquero en México. *Etnobiología* 18:3-23.
- ✚ Aragón-Gastélum, J.L., J.E. Ramírez-Benítez, E. González-Durán, C. González-Salvatierra, H.M. Ramírez-Tobías, J. Flores, E.J. Gutiérrez-Alcántara, E. Méndez-Guzmán and R. Jarquín-Gálvez. 2020. Photochemical activity in early development phases of *Agave angustifolia* subsp. *tequilana* under induced global warming: Implications to temperature stress and tolerance. *Flora* 263:151535.
- ✚ Bermúdez-Bazán, M., M. Estarrón-Espinoza, G.A. Castillo-Herrera, A. Escobedo-Reyes, J.E. Urias-Silva, E. Lugo-Cervantes and A. Gschaedler-Mathis. 2024. *Agave angustifolia* Haw. leaves as potential source of bioactive compounds: extraction optimization and extract characterization. *Molecules* 29:1137.

- ✚ Bernardino, N. A. y L. González C. 2023. Influencia del tiempo de desarrollo y ubicación de las hojas dentro de la roseta de *Agave salmiana* sobre su contenido de minerales. En: Roldán, C. E. I. y Medina, M. C. (Compiladores). Maguey aguamiel/pulque: una visión para el desarrollo territorial. El Colegio del Estado de Hidalgo. San Agustín Tlaxiaca, México. pp. 189-209.
- ✚ Campos, H., C. Trejo, C.B. Peña-Valdivia, R. García-Nava, F.V. Conde-Martínez and M.R. Cruz-Ortega. 2014. Photosynthetic acclimation to drought stress in *Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck seedlings is largely dependent on thermal dissipation and enhanced electron flux to photosystem I. *Photosynthesis Research* 122:23-39.
- ✚ Castillejos-Reyes, C., A. Bautista-Cruz, S. Sánchez-Mendoza y E. E. Quiñones-Aguilar. 2023. Respuesta de agave coyote (*Agave* spp.) a la aplicación de fertilizantes de lenta liberación en condiciones de campo. *Revista Biociencias* 10:e1431.
- ✚ Chaparro, H. J., B. I. Castillejos G., R. P. Carmona E., H. B. Escalona B. y M. L. Pérez C. 2013. Evaluación sensorial de salchichas con harina de cáscara de naranja y/o penca de maguey. *Nacameh* 7(1):23-40.
- ✚ Colunga, G. M. P., S. A. Larqué, L. E. Eguiarte, y D. Zizumbo. 2007. En lo ancestral hay futuro: del tequila, los mezcales y otros agaves. CICY-CONACYT- CONABIO-INE, México, D.F. 402 p
- ✚ Correa-Ascencio, M., I.G. Robertson, O. Cabrera-Cortés, R. Cabrera-Castro and R.P Evershed. 2014. Pulque production from fermented *Agave* sap as a dietary supplement in Prehispanic Mesoamerica. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 111(39):14223-14228.

- ✚ Cruz-Vasconcelos, S.T., L.M. Ruíz-Posadas, E. García-Moya, M. Sandoval-Villa y N. Cruz-Huerta. 2020. Crecimiento y tasa de intercambio de CO<sub>2</sub> de maguey pulquero (*Agave salmiana* Otto ex Salm Dick) obtenido por semilla. *Agrociencia* 54:911-926.
- ✚ Domínguez R. M. S., M. L. González J., C. González R., C. Quiñones V., L. Díaz D., S. J. Mireles O. y E. Pérez M. 2008. El cultivo in vitro como herramienta para el aprovechamiento, mejoramiento y conservación de especies del género *Agave*. *Investigación y Ciencia* 41:53-62.
- ✚ Esqueda V., M., M. L. Coronado A., A. H. Gutiérrez S. y T. Fragoso G. 2011. *Agave angustifolia* Haw. técnicas para el trasplante de vitroplantas a condiciones de agostadero. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. México 20 p.
- ✚ Figueredo-Urbina, C.J., G.D. Álvarez-Ríos, M.A. García-Montes and P. Octavio-Aguilar. 2021. Morphological and genetic diversity of traditional varieties of agave in Hidalgo State, Mexico. *Plos ONE* 16(7):e0254376.
- ✚ Flores A., R. Mora y L. Romero. 2008. Evaluación fisicoquímica del aguamiel de tres variedades de maguey pulquero (*Agave* spp.). *RESPYN*. 8.
- ✚ Franco-Mora, O., L. Malváis-Guzmán, A. Castañeda-Vildózola y J. R. Sánchez-Pale. 2024. Aproximación al sistema producto maguey pulquero en Jiquipilco, México, 2023. *Agricultura Sociedad y Desarrollo*. (Aceptado).
- ✚ García M., J. A. 2007. Los agaves de México. *Ciencias* 87:14-23.
- ✚ García-Mendoza, A. J. 1995. Riqueza y endemismos de la familia Agavaceae en México. En: Linares E., P. Dávila, F. Chiang, R. Bye y T. Elías (editores). *Conservación de plantas en peligro de extinción: Diferentes enfoques*. UNAM, México, D. F. pp: 59-83.

- ✚ Gentry, H. S. 1982. *Agaves of continental North America*. Arizona University Press, Tucson. 670 p.
- ✚ Hiscix, J.D. and G.F. Israelstam. 1979. A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration. *Canadian Journal of Botany* 57:1332-1334.
- ✚ Islas, M.A., R. Sanjuan, A.I. Rodríguez and N. Chavarría. 2005. Monoxenic production of the entomopathogenic nematode *Steinernema carpocapsae* using culture media containing agave juice (aguamiel) from Mexican maguey- pulquero *Agave* spp. Effects of the contents of nitrogen, carbohydrates and fat on infective juvenile production. *Applied Microbiology and Cell Physiology* 68:91-97.
- ✚ Jarquín-Rosales, D., J. R. Enriquez-Del Valle, J. J. Alpuche-Osorno, G. Rodríguez-Ortíz, M. P. Martín and G. V. Campos-Angeles. 2022. The effects of fertirrigation and '*Azospirillum brasilense*' inoculation on photosynthetic compounds in *Agave angustifolia*. *Australian Journal of Crop Science*. 16(1):162-168.
- ✚ Jiménez-Torres, J.A., J. Juárez-Muñoz and J. Capulín-Grande. 2022. Effects of substrates and fertigation on growth and photosynthetic efficiency of maguey pulquero plants of Mezquital Valley landraces. *Agrociencia* 56(4):774-804.
- ✚ Lockie A. 2002. *Papel elaborado de forma artesanal*. Parramón, Barcelona. 128 p.
- ✚ Martínez-Ramírez, S., G. Bautista-Sánchez, E.C. Pedro-Santos y P.D. Guerrero-Cruz. 2014. Crecimiento y contenido de clorofila de maguey mezcalero (*Agave potatorum* Zucc.) en policultivo con maíz y frijol. *Revista Fitotecnia Mexicana* 37(3):297-304.
- ✚ Medina-Mendoza, C., Y. Mendoza-Tolentino y J. Miranda C. 2022. Determinación de compuestos bioactivos en pencas de maguey pulquero (*Agave salmiana*). *Revista de Ingenierías y Tecnologías para el Desarrollo Sustentable* 10:34-41.

- ✚ Mora L.J.L., A. Reyes A., J.L. Flores F., C.B. Peña-Valdivia y J.R. Aguirre R. 2011. Variación morfológica y humanización de la sección *Salmianae* del género *Agave*. *Agrociencia* 45:445-467.
- ✚ Morales-Maldonado, E.R., Z.M. Ramírez-Sotero, O. Cruz-Álvarez, O.A. Hernández-Rodríguez y D.L. Ojeda-Barrios. 2022. Aplicación foliar de quitosano en plántulas de *Agave salmiana* y su respuesta en algunos parámetros morfofisiológicos. *Terra Latinoamericana* 40:e1571.
- ✚ Muñoz Z, R. 2012. Diccionario enciclopédico de la Gastronomía Mexicana. Larousse, México D.F.
- ✚ Narváez, S. A. U., T. Martínez S. y M. A. Jiménez V. 2016. El cultivo de maguey pulquero: opción para el desarrollo de comunidades rurales del altiplano mexicano. *Revista de Geografía Agrícola* 56:33-44.
- ✚ Nava-Cruz, N.Y., M.A. Medina-Morales, J.L. Martínez, R. Rodríguez and C.N. Aguilar. 2014. Agave biotechnology: an overview. *Critical Reviews Biotechnology* 1-14.
- ✚ Nieto A.R., A.D. Reynoso-García, A. Cruz Román y J. González-García. 2013. El cultivo del maguey pulquero. Universidad Autónoma de Chapingo, Chapingo. 93 p.
- ✚ Nieto, A.R., J. Vargas M., J.C. Nieto A., A. Rodríguez O., V.M. Jiménez P., J. Hernández C y M. Ortiz B. 2016. El cultivo del maguey pulquero (*Agave salmiana*) en el Valle del Mezquital. Universidad Politécnica de Francisco I. Madero, Francisco Madero. 55 p.
- ✚ Parsons, J.R. and J.A. Darling. 2000. Maguey (*Agave* spp.) utilization in Mesoamerican civilization: a case for precolumbian pastoralism. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 66.

- ✚ Pérez, R.A., A. Rodríguez O., J.C. Nieto A., J. Callejas H. y L. Portillo M. 2017. Comparación de dos sistemas de siembra de maguey (*Agave salmiana*). Universidad Politécnica de Francisco I. Madero, Francisco I. Madero. 71 p.
- ✚ Pimienta-Barrios, E., C. Robles-Murguía and P.S. Nobel. 2001. Net CO<sub>2</sub> uptake for *Agave tequilana* in a warm and temperate environment. *Biotropica* 33:312-318.
- ✚ Pimienta-Barrios, E., M.E. González C.A. and P.S. Nobel. 2002. Ecophysiology of a wild *Opuntia* exposed to prolonged drought. *Environmental Experimental Botany* 47:77-86.
- ✚ Pinos-Rodríguez, J.M., M. Zamudio and S.S. González. 2008. The effect of plant age on the chemical composition of fresh and ensiled *Agave salmiana* leaves. *South African Journal of Animal Sciences* 38(1):43-50.
- ✚ Pinos-Rodríguez, J.M., J.R. Aguirre-Rivera, J.C. García-López, M.T. Rivera-Miranda, S. González-Muñoz, S. López-Aguirre and D. Chávez-Villalobos. 2006. Use of maguey (*Agave salmiana* Otto ex. Salm-Dick) as forage for ewes. *Journal of Applied Animal Research* 30:101-107.
- ✚ Puente-Garza, C.A., C.A. Espinosa-Leal and S. García-Lara. 2018. Steroidal saponin and flavonol content and antioxidant activity during sporophyte development of maguey (*Agave salmiana*). *Plants Food for Human Nutrition* 73:287-294.
- ✚ Ramírez-Tobías, H. M., C.B. Peña-Valdivia y J. Rogelio-Aguirre. 2014. Respuestas bioquímicas-fisiológicas de *Agave* a la restricción de agua. *Botanical Sciences* 92(1):131-139.

- ✚ Ramos, R.B., B. Quintero S., J. Ramos-Elorduy, J.M. Pino, M., S.C. Ángeles C., García P. y V.D. Barrera G. 2012. Análisis químico y nutricional de tres insectos comestibles de interés comercial en la zona arqueológica del municipio de San Juan Teotihuacán, y en Otumba, en el Estado de México. *Interciencia* 37(12):914-920.
  
- ✚ Reyes-Samilpa, A., J.A. Reyes-Agüero, A.V. Hooft, G. Álvarez-Fuentes and E.D.R. Kipping. 2023. Fibers of *Agave salmiana* cultivar Xa'mni: physical characterization and comparison between leaf maturity and growth environment. *Emergent Materials* 6:543-549.
  
- ✚ Royal Botanical Gardens. 2024. Plants of the world on line. <https://powo.science.kew.org/>
  
- ✚ SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca). 2020. Estadística de producción agrícola 2020. <http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos.php>
  
- ✚ Salisbury, F.B. y C.W. Ross. 1992. Fisiología vegetal. G.E. Iberoamérica, México, D. F.
  
- ✚ Sánchez-Mendoza, S., G. Bautista-Aparicio and A. Bautista-Cruz. 2022. Inorganic fertilization improves *Agave potatorum* Zucc growth and nutrition. *International Journal of Agriculture and Natural Resources* 49(3):147-156.
  
- ✚ SIAP (Servicio de Información, Agroalimentaria y Pesquera). 2017. [http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola\\_siap\\_gb/ientidad/index.jsp](http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola_siap_gb/ientidad/index.jsp). Consultado el 29 de mayo del 2017.
  
- ✚ Sierra, C.D. 2013. El maguey, planta sagrada en la religión mesoamericana. *Revista de Antropología* 7:113-119.

- ✚ Silos-Espino, H., C.L. Tovar-Robles, N. González-Cortes, S.J. Méndez-Gallegos y D. Rossel-Kipping. 2011. Estudio integral de maguey (*Agave salmiana*): propagación y valor nutricional. *Revista de Salud Pública y Nutrición* 5:75-82.
- ✚ Tovar, L. R., M. Olivos and M.E. Gutiérrez. 2008. Pulque, an alcoholic drink from rural Mexico, contains phytase. Its in vitro effects on corn tortilla. *Plant Food and Human Nutrition* 63:189-194.
- ✚ Vega G.M.A., Álvarez-Ríos G.D. y Figueredo-Urbina C.J. 2022. Sistemas de manejo de agaves pulqueros en el estado de Hidalgo. *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI* 10(20):92-100.
- ✚ Waterman, P.G. and S. Mole. 1994. *Analysis of phenolic plant metabolites*. Blackwell Cientific Publicatons, Oxford. 238 p.
- ✚ Willows, R.D. 2004. Chlorophylls. In: Davies, K. (Editor.) *Plant pigments and their manipulation*. Annual Plant Reviews, Volume 14. CRC & Blackwell. pp. 23-46.
- ✚ Zuria, I. and J.E. Gates. 2006. Vegetated field margins in Mexico: Their history, structure and function, and management. *Human Ecology* 34:53-77