



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS

---

---

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

**EVALUACIÓN DEL EFECTO DE COMPOSTA SOBRE EL  
RENDIMIENTO DEL POLICULTIVO AMARANTO  
(*Amaranthus hypochondriacus* L.)-CHÍA (*Salvia hispanica*  
L.) BAJO SISTEMA DE TERRAZAS EN TOCHIMILCO,  
PUEBLA, MÉXICO.**

**TESIS PROFESIONAL POR ETAPAS**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
**B I O L O G O**  
P R E S E N T A:  
**KAREN PIÑÓN ACOSTA**

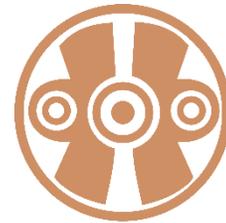
**CODIRECTORES**  
**DR. ROGELIO OLIVER GUADARRAMA**  
**BIÓL. ANDREA ELIZABETH GRANJENO COLÍN**

**CUERNAVACA, MORELOS**

**FEBRERO, 2021**



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS**



**FACULTAD  
DE CIENCIAS  
BIOLÓGICAS**

**El presente trabajo se desarrolló en el laboratorio de Edafoclimatología del  
Centro de Investigaciones Biológicas “Dr. J. Félix Frías Sánchez”  
dependiente de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos.**



**CENTRO DE  
INVESTIGACIONES  
BIOLÓGICAS  
UAEM**

## DEDICATORIA

*A ustedes, por todo el amor que me tienen y  
porque sin escatimar esfuerzo alguno,  
han sacrificado gran parte de su vida para formarme.*

*Porque nunca podré pagar todos sus desvelos  
ni aún con las riquezas más grandes del mundo.*

*Por lo que soy y por todo el tiempo  
que les robé pensando en mí...*

*Gracias mamá y papá.*

## **AGRADECIMIENTOS**

### **A mis hermanos, cuñados y sobrinos**

Evelin, Oscar, José, Aimeé, Roberto, Citlali, Roberto, Valeria, José María, Oscar y Fernando, por todo el amor y el apoyo incondicional que me han brindado durante todo el camino.

### **A mis amigos**

Eduardo, Edith, Hugo, Laura y Maru, por acompañarme y darme su amistad incondicional durante este trayecto.

### **Al Dr. Jorge Alberto Lugo de la Fuente**

Por todo lo enseñado, su amistad y su apoyo incondicional para realizar este trabajo.

### **A los codirectores y los miembros del H. Jurado Revisor**

**M. en M. R. N. Denisse Acosta Peñaloza**

**Dr. Isaac Tello Salgado**

**Dr. Rogelio Oliver Guadarrama**

**M. en C. María Idalia Cuevas Salgado**

**M. en C. María Eugenia Bahena Galindo**

**Biól. Andrea Elizabeth Granjeno-Colín**

Por el apoyo, la orientación y las portaciones al proyecto, las cuales fueron fundamentales para enriquecer y para llevar a cabo este trabajo.

### **Al Sr. Bruno Francisco Ariza Hernández y familia**

Por el esfuerzo, las facilidades y el apoyo para la realización de este estudio.

## RESUMEN

El uso de abonos orgánicos se ha presentado desde hace algunas décadas como una alternativa en el campo para aumentar el rendimiento de los cultivos y además mitigar el daño causado por el uso indiscriminado de agroquímicos. La práctica de la agricultura tradicional además de usar abonos orgánicos, adapta sistemas a las condiciones locales que les permitan maximizar su producción, como lo son el uso de terrazas agrícolas auxiliadas por técnicas como la rotación de cultivos, asociaciones de cultivo y policultivos. Es por esto que el objetivo principal de esta evaluación fue determinar la viabilidad y rendimiento de un policultivo no explorado como lo es el de amaranto-chía en un sistema de terrazas fertilizado con composta.

El presente estudio se llevó a cabo durante el ciclo primavera-verano de 2019 bajo condiciones de temporal en la localidad de San Lucas Tulcingo, perteneciente al municipio de Tochimilco, Puebla, en un suelo de tipo cambisol, con un policultivo de amaranto-chía, empleando composta como abono orgánico, con una dosis de 150 Kg/N/ha en una superficie de 7,000 m<sup>2</sup> dividida en 5 terrazas de banco (1400 m<sup>2</sup> cada una). Se efectuaron dos muestreos edáficos (presembrado y poscosecha), para determinar los parámetros químicos y físicos bajo la NOM-021-RECNAT-2000. Se realizó un muestro aleatorio en cada terraza para la obtención de ejemplares botánicos y determinar el rendimiento del cultivo.

Dentro de los resultados obtenidos, se evidencia el beneficio de la fertilización en el aumento significativo del contenido de materia orgánica, nitrógeno y carbono en el suelo. El rendimiento del cultivo de amaranto en cada terraza (2273.75 a 2728.56 Kg/ha) supero el rendimiento promedio a nivel estatal (1700 Kg/ha). En el caso de la chíá, el rendimiento del cultivo (502.10 a 707.79Kg/ha) logra acercarse al promedio estatal (800 Kg/ha).

El rendimiento de los cultivos y el incremento favorable de ciertos parámetros químicos del suelo, sientan el primer precedente de la efectividad de un nuevo policultivo como lo es amaranto-chía.

## **ABSTRACT**

The use of organic fertilizers has been used for some decades as an alternative in the field to increase crop yields and also mitigate the damage caused by the indiscriminate use of agrochemicals. The practice of traditional agriculture, in addition to using organic fertilizers, adapts systems to local conditions that allow them to maximize their production, such as the use of agricultural terraces aided by techniques such as crop rotation, crop associations and polycropping. This is why the main objective of this evaluation was to determine the viability and yield of an unexplored polycropping such as amaranth-chia in a terrace system fertilize with compost.

The present study was carried out during the spring-summer cycle of 2019 under temporary conditions in the town of San Lucas Tulcingo, belonging to the municipality of Tochimilco, Puebla, on a soil of type cambisol, with a polycropping of amaranth-chia, using compost as organic fertilizer, with a dose of 150 Kg/N/ha in an area of 7,000 m<sup>2</sup> divided into 5 terraces of bench (1400 m<sup>2</sup> each one). Two soil samples (pre-sowing and post-harvest) were performed to determine the chemical and physical parameters under NOM-021-RECNAT-2000. An aleatory sampling was performed on each terrace to obtain botanical specimens and determine the yield of the crop.

Among the results obtained, the benefit of fertilization was evident in the significant increase in the content of organic matter, nitrogen and carbon in the soil. The yield of the amaranth crop on each terrace (2273.75 to 2728.56 Kg/ha) exceeded the average yield at the state level (1700 Kg/ha). In the case of chia, the yield of the crop (502.10 to 707.79 Kg/ha) is close to the state average (800 Kg/ha).

The yield of the crops and the favorable increase of some chemical parameters of the soil, establish the first precedent of the effectiveness of a new polycropping as amaranth-chia.

## ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>2. ANTECEDENTES .....</b>	<b>2</b>
2.1 Desarrollo de la agricultura orgánica.....	2
2.2 Agricultura orgánica en México.....	3
2.3 Policultivos .....	4
2.3.1 Técnicas de cultivo empleadas en los policultivos .....	5
2.3.2 Cultivo en terrazas .....	6
2.4 Fertilización orgánica .....	7
2.4.1 Abonos orgánicos .....	8
2.4.2 Composta y sus efectos sobre las características del suelo.....	8
2.5 Amaranto y la importancia de su cultivo.....	9
2.5.1 Descripción histórica.....	9
2.5.2 Descripción morfológica.....	10
2.5.3 Clasificación taxonómica .....	12
2.5.4 Fases fenológicas del amaranto .....	13
2.5.5 Requerimientos agroclimáticos.....	15
2.5.6 Plagas.....	16
2.6 Chía y la importancia de su cultivo.....	17

2.6.1 Descripción histórica.....	18
2.6.2 Descripción morfológica.....	18
2.6.3 Clasificación taxonómica .....	20
2.6.4 Etapas fenológicas.....	20
2.6.5 Requerimientos agroclimáticos.....	22
2.6.6 Plagas.....	23
<b>3. HIPÓTESIS .....</b>	<b>24</b>
<b>4. JUSTIFICACIÓN.....</b>	<b>24</b>
<b>5. OBJETIVOS.....</b>	<b>24</b>
<b>6. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>25</b>
6.1 Área de estudio.....	25
6.1.1 Clima.....	25
6.1.2 Vegetación.....	26
6.1.3 Hidrografía .....	26
6.1.4 Edafología.....	27
6.2 Metodología .....	28
6.2.1 Diseño experimental .....	28
6.2.2 Fase de campo .....	28
6.2.2.1 Preparación del terreno .....	28

6.2.2.2 Toma de muestras edáficas.....	29
6.2.2.3 Siembra .....	29
6.2.2.4 Desahije.....	30
6.2.2.6 Fertilización.....	30
6.2.2.7 Control de malezas.....	30
6.2.2.8 Toma de medidas botánicas.....	30
6.2.2.9 Cosecha, secado y trillado.....	31
6.2.3 Fase de laboratorio .....	31
6.2.3.1 Preparación de muestras edafológicas.....	31
6.2.3.2 Análisis físicos y químicos de suelo.....	32
<b>7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>33</b>
7.1 Análisis de suelo .....	33
7.1.1 Parámetros físicos .....	33
7.1.1.1 Color de Suelo .....	33
7.1.1.2 Densidad aparente, densidad real y porosidad.....	34
7.1.1.3 Textura.....	35
7.2.2 Parámetros químicos .....	36
7.2.2.1 pH.....	36
7.2.2.2 Materia orgánica (%M. O.), % Carbono (%C) y % Nitrógeno (%N)	37

7.2 Datos botánicos de amaranto.....	39
7.2.1 Altura de la planta.....	39
7.2.2 Longitud y perímetro de la panoja.....	41
7.3 Datos botánicos de chíá.....	42
7.3.1 Altura de la planta.....	43
7.3.2 Longitud y diámetro de espigas.....	44
7.3.3 Número de ramas y número de espigas.....	45
7.4 Rendimiento.....	47
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>49</b>
<b>APÉNDICE.....</b>	<b>50</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>54</b>

## Índice de Figuras

Figura 1. A) <i>Amaranthus hypochondriacus</i> , B) Morfología de la planta. a) Altura de la planta. b) Diámetro del tallo. c) Longitud de la panoja. d) Diámetro de la panoja. ....	12
Figura 2. A) <i>Salvia hispanica</i> L., B) Morfología de la planta. a) Altura de la planta. b) Diámetro del tallo. c) Longitud de la espiga. d) Diámetro de la espiga.....	19
Figura 3. Localización geográfica del área de estudio en San Lucas Tulcingo, Puebla. ....	25
Figura 4. Distribución de las terrazas experimentales. ....	28

## Índice de Gráficas

Gráfica 1. Valores de pH en la presiembra y poscosecha.....	37
Gráfica 2. Relación materia orgánica, nitrógeno y carbono durante la presiembra. ....	38
Gráfica 3. Relación materia orgánica, nitrógeno y carbono durante la poscosecha. ....	38
Gráfica 4. Promedio de la altura de la planta y diámetro del tallo por terraza. ....	40
Gráfica 5. Promedio por terraza de la longitud y diámetro de la panoja de amaranto. ....	42
Gráfica 6. Promedio de la altura de la planta y diámetro del tallo. ....	44
Gráfica 7. Promedio por terraza de la longitud y diámetro de la espiga. ....	45
Gráfica 8. Número de ramas y espigas por mata. ....	46
Gráfica 9. Rendimiento del policultivo. ....	48

## Índice de tablas

Tabla 1. Técnicas de laboratorio para el análisis de suelo. ....	32
Tabla 2. Color de suelo en la presiembra y la poscosecha. ....	33
Tabla 3. Densidad aparente, densidad real y porosidad en la presiembra y poscosecha por terraza. ....	35
Tabla 4. Textura del suelo en la presiembra y poscosecha.....	36
Tabla 5. Medidas botánicas de amaranto.....	39
Tabla 6. Promedio de altura de <i>A. hypochondriacus</i> L. reportada por otros autores. ....	41
Tabla 7. ANOVA altura de la planta de amaranto. ....	50
Tabla 8. Prueba Tukey para altura de la planta en amaranto.....	50
Tabla 9. ANOVA para longitud de la panoja de amaranto.....	50
Tabla 10. Prueba Tukey para longitud de la panoja de amaranto.....	50
Tabla 11. ANOVA para diámetro de la panoja de amaranto. ....	50
Tabla 12. Prueba Tukey para diámetro de la panoja de amaranto.....	51
Tabla 13. Medidas botánicas de chíá.....	43
Tabla 14. ANOVA para la altura de la planta de chíá.....	51
Tabla 15. Prueba Tukey para altura de la planta de chíá.....	51
Tabla 16. ANOVA para la longitud de espiga de chíá. ....	51
Tabla 17. Prueba Tukey para la longitud de espiga de chíá.....	51
Tabla 18. ANOVA para el diámetro de la espiga de chíá. ....	52
Tabla 19. Prueba Tukey para el diámetro de la espiga de chíá. ....	52
Tabla 20. ANOVA para el número de espigas por mata de chíá.....	52
Tabla 21. Prueba Tukey para el número de espigas por mata de chíá. ....	52
Tabla 22. ANOVA para el número de ramas por mata de chíá. ....	52
Tabla 23. Prueba Tukey para el número de ramas por mata de chíá. ....	53

## 1. INTRODUCCIÓN

Como es sabido, el territorio mesoamericano fue uno de varios centros de origen prehistórico del cultivo y domesticación de plantas. La producción de los alimentos proporcionó la base para el desarrollo posterior de sociedades que dependían de una serie de plantas cuyas modificaciones y subsecuentes adaptaciones a diversas condiciones ambientales las hacían adecuadas para el consumo humano (de Tapia, 2016).

Pseudocereales como el amaranto y la chía, fueron de gran importancia en el desarrollo de las culturas prehispánicas, así como para los aztecas la alegría (*Amaranthus hypochondriacus* L.) constituyó junto con el maíz (*Zea mays* L.), el frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y la chía (*Salvia hispanica* L.) la base de su alimentación. Sin embargo, después de la llegada de los españoles, su cultivo y consumo quedó prohibido, sobreviviendo en zonas muy escasas y apartadas (García y De la Cruz, 2016.).

Actualmente México produce anualmente casi siete mil toneladas de chía (SAGARPA, 2017) concentradas en los estados de Jalisco y Puebla, además de que se comienza a incursionar en nuevas zonas con potencial productivo como son los estados de Nayarit, San Luis Potosí y Aguascalientes (Xingú *et al.*, 2017); mientras que de amaranto se producen cinco mil toneladas anuales (SIAP, 2017) provenientes de Puebla, Tlaxcala, México, Ciudad de México, Oaxaca, Morelos y Querétaro, colocándose como el principal productor Puebla (SIAP, 2018).

De acuerdo a la Planeación Agrícola Nacional 2017-2030, en México se producen cerca de 750 cultivos, de los cuales 38 constituyen un grupo estratégico para el sector agrícola, representando estos el 75% de la producción total, entre los cuales destacan el maíz, frijol, trigo, sorgo y soya, por mencionar algunos. Por otro lado, el amaranto y la chía como cultivos alternativos, son una fuente vegetal de nutrientes capaces de suministrar a la población una alimentación balanceada.

El presente proyecto tiene la finalidad, de poner en práctica la transferencia de tecnología de un policultivo no explorado como lo es el de amaranto-chía, además

de seguir impulsando la agricultura orgánica como una estrategia de desarrollo para tratar de mitigar algunas de las limitaciones encontradas en la producción convencional, tratándose de una tecnología de producción, cuya estrategia de desarrollo se fundamenta no solamente en el manejo del suelo y un fomento adecuado del uso de insumos locales, sino también de un mayor valor agregado a los productos obtenidos y que conlleve a una cadena de comercialización más justa (FIDA *et al.*, 2003).

## **2. ANTECEDENTES**

### **2.1 Desarrollo de la agricultura orgánica.**

La población rural depende básicamente de la agricultura y de otras actividades relacionadas con ella para su sustento. En consecuencia, para obtener resultados que impacten en la reducción de la pobreza, la inversión nacional y la ayuda externa deberían concentrarse en estas zonas, donde vive la mayoría de la población de escasos recursos económicos y en la agricultura, que es la base de su supervivencia (FIDA *et al.*, 2003).

La agricultura orgánica, se practica desde el nacimiento de la agricultura; sin embargo, la agricultura orgánica moderna, comienza en Europa en 1920 y lucha en sus primeros años, frente al grupo de poder del movimiento químico, siendo el austriaco Rodolf Steiner, filósofo educador, quién en el año de 1924 expresó los principios de una agricultura basada en un criterio idealista. Sus principios están en contra de los fertilizantes químicos ya que afectan al suelo y a los microorganismos que en él habitan, por lo que sugiere utilizar composta y abonos preparados con sustancias vegetales susceptibles de jugar un papel biocatalizador (Jordán, 2015).

El *Codex Alimentarius* (OMS, 1999), define a la agricultura orgánica como un sistema holístico de producción que promueve y mejora la salud del agroecosistema, incluyendo la biodiversidad, los ciclos biológicos y la actividad biológica del suelo, prefiriendo el uso de prácticas de manejo dentro de la finca, al

uso de insumos externos a la finca, tomando en cuenta que las condiciones regionales requieren de sistemas adaptados a las condiciones locales. Esto se logra utilizando en lo posible métodos culturales, biológicos y mecánicos en oposición a materiales sintéticos para satisfacer cualquier función específica dentro del sistema (FIDA *et al.*, 2003).

La agricultura orgánica rescata las prácticas tradicionales de producción, pero no descarta los avances tecnológicos no contaminantes, sino más bien los incorpora, adaptándolos a cada situación particular. Se define también como la conjunción de prácticas ancestrales, por ejemplo, el uso de terrazas por los incas, con la agricultura tradicionalmente biodiversa de nuestros campesinos, vinculada a nueva tecnología apropiada (FIDA *et al.*, 2003.).

## **2.2 Agricultura orgánica en México**

En México, la agricultura orgánica se inició en 1963 en la región Soconusco en la finca Irlanda, localizada en Tapachula, Chiapas, la cual recibió la primera certificación internacional por la obtención de café orgánico en el año 1967; posteriormente fueron certificadas la Finca San Miguel en 1986 y el rancho Alegre en 1988, ambas de la misma localidad (de Tapia, 2016).

México ocupa la posición 16 respecto a la superficie orgánica sembrada, el tercero con respecto al número de productores y es el país con mayor diversidad de cultivos producidos orgánicamente con alrededor de 81 cultivos (Gómez *et al.*, 2010).

En México, la agricultura orgánica adquiere una dimensión particular; la geografía de su producción está estrechamente ligada a la geografía de la pobreza y la biodiversidad (FIDA *et al.*, 2003.). La producción agrícola de cultivos orgánicos en nuestro país, ha seguido la dinámica internacional que ha caracterizado a este sector, esto es, un crecimiento constante. Así encontramos, que la superficie agrícola destinada a la producción de cultivos orgánicos registra un acelerado incremento (SAGARPA, 2017)

## 2.3 Policultivos

El policultivo es una estrategia tradicional para promover la generación de una dieta diversa, la estabilidad de la producción, la reducción de los riesgos, la disminución de la incidencia de los insectos y las enfermedades, el uso eficaz de la mano de obra, la intensificación de la producción con recursos limitados y aumento máximo de la rentabilidad con bajos niveles de tecnología (Francis *et al.*, 1976; Harwood, 1979).

Los sistemas de policultivo ofrecen muchas ventajas sobre la agricultura basada en el monocultivo que se practica en los países modernos, como las que se muestran a continuación (Ruthenberg, 1971; Altieri, 1983; Francis, 1986):

**Rendimiento.** El rendimiento total por hectárea, por lo general, es mayor que la producción de un cultivo exclusivo, incluso cuando se reduce la producción de los componentes individuales.

**Utilización eficaz de los recursos.** Las combinaciones tienen como resultado una utilización más eficaz de la luz, el agua y los nutrientes por parte de las plantas de diferentes alturas, estructura de doseles y necesidad de nutrientes. Se dice que las combinaciones de cultivo intercalado de larga duración tienen una ventaja cuando los nutrientes son limitados. De este modo, en los policultivos que combinan cultivos perennes y anuales, los minerales perdidos por los anuales son absorbidos rápidamente por los perennes. Por otra parte, la tendencia que tienen ciertos cultivos de «robar» nutrientes es contrarrestada por la enriquecedora adición de materia orgánica al suelo por parte de otros cultivos (como las leguminosas) que forman parte de la combinación.

**Disponibilidad de nitrógeno.** En las combinaciones cereal/leguminosa, el nitrógeno fijado proveniente de la leguminosa está disponible para el cereal, lo que mejora la calidad nutricional de la combinación. El maíz y los frijoles se complementan entre sí esencialmente respecto a los aminoácidos.

**Disminución de las enfermedades y plagas.** Las enfermedades y plagas no se pueden expandir tan rápidamente en las combinaciones debido a la susceptibilidad diferencial de las plagas y agentes patógenos. Los sistemas de cultivo diversificado pueden aumentar las oportunidades para los enemigos naturales y, en consecuencia, mejorar el control biológico de las plagas.

**Disminución de malezas.** La sombra proporcionada por los doseles de los cultivos complejos ayuda a inhibir las malezas, reduciendo, así, la necesidad y el costo que implica el manejo de las malezas.

**Seguro contra la pérdida de un cultivo.** Los policultivos aseguran contra la pérdida de un cultivo, especialmente en las áreas propensas a heladas, inundaciones y sequías. De este modo, cuando uno de los cultivos que forma parte de una combinación sufre un daño a principios de la temporada de crecimiento, los otros cultivos pueden compensar la pérdida. Los policultivos proporcionan una cubierta eficaz del suelo y reducen la pérdida de humedad de éste.

Algunas técnicas como los cultivos mixtos, aumentan las oportunidades para la comercialización y aseguran un abastecimiento parejo de una gama de productos sin tener que invertir mucho en almacenamiento, aumentando así el éxito en la comercialización. Las combinaciones distribuyen los costos de la mano de obra más equitativamente durante la época de cultivo y, por lo general, proporcionan una utilidad neta mayor por mano de obra empleada, especialmente durante los períodos de escasez de esta última.

### **2.3.1 Técnicas de cultivo empleadas en los policultivos**

Existen distintas formas en las cuales se puede cultivar para aprovechar al máximo la captación de recursos. La utilización de cada sistema va a depender siempre de las características de cada cultivo. Según Kolmans y Vásquez (1999), los tipos de cultivos son:

**Cultivos en franjas:** Consiste en la siembra simultánea de dos o más cultivos en el mismo terreno, pero en franjas amplias. Esto permite un manejo independiente de cada cultivo.

**Cultivos de relevo:** Consiste en la siembra de dos o más cultivos en secuencia, sembrando o trasplantando el segundo antes de la cosecha del primero. Luego de la cosecha del primer cultivo el segundo aprovecha el mayor espacio y residuos para su desarrollo.

**Cultivos de relevo para abono verde:** Una forma importante de asociación lo constituyen los cultivos de relevo, especialmente con leguminosas que pueden servir de abono verde e incluso de forraje, además de las bondades que poseen en favor del suelo por su buena cobertura, así como en el control o represión de plagas, enfermedades y malezas. La ventaja generada es el bajo costo de producción.

**Cultivos mixtos:** Consiste en sembrar simultáneamente dos o más cultivos en el mismo terreno, sin organización de surcos.

**Cultivos intercalados:** Es la siembra simultánea de dos o más cultivos en el mismo terreno, en surcos independientes, pero vecinos.

**Cultivo en terrazas:** Las terrazas son construcciones con paredes de sostén de roca o adobe; son estrechas y se encuentran en laderas (Palerm, 1992).

### **2.3.2 Cultivo en terrazas**

Las terrazas son ecosistemas agrícolas importantes en el Altiplano Central Mexicano, cuyos componentes bióticos y abióticos están en interacción con otros componentes socioculturales, como las técnicas para conservación de suelo y agua, los tipos de cultivo, el uso de plantas silvestres, el manejo de los árboles forestales y frutales, la organización social para el trabajo, y el uso de productos para la subsistencia familiar (Pérez y Juan, 2013).

Bouwman y Langdon (1984), mencionan que las terrazas se pueden clasificar de acuerdo a la función que ellas cumplen, a su forma, o al uso que a ellas se les da,

sin embargo, y con el fin de facilitar el análisis del presente documento, se utilizará la clasificación según las distintas formas que puedan tomar. Bajo esta premisa, las terrazas pueden ser:

**Terrazas de banco.** Son franjas o bancos horizontales sucesivos que se construyen de forma perpendicular a la pendiente. Las franjas están separadas por taludes que corresponden a la distancia vertical que existe entre franjas y que a su vez sostiene el banco de la terraza (Bouwman y Langdon, 1984).

**Terrazas de huerto.** El diseño de un sistema de huerto es prácticamente igual al señalado para el caso de terrazas de banco. La diferencia de diseño que se produce entre los dos sistemas es que en estas existe un tramo interbanco, en el cual se mantiene la pendiente y suelo original del terreno (Bouwman y Langdon, 1984).

**Terrazas Individuales.** Son pequeñas plataformas que se construyen en forma perpendicular a la pendiente, y en las cuales se planta un árbol frutal o forestal. En general este tipo de terrazas corresponde a la primera etapa de construcción de terrazas de huerto; la segunda etapa consistiría en unir horizontalmente las plataformas individuales, formándose de esta manera una franja o banco, y por lo tanto una terraza de huerto (Bouwman y Langdon, 1984).

## **2.4 Fertilización orgánica**

Los fertilizantes proveen nutrientes que los cultivos necesitan. Con los cuales, se pueden producir más alimentos y cultivos comerciales de mejor calidad, asimismo, se puede mejorar la baja fertilidad de los suelos que han sido sobreexplotados (IFA, 1992).

Existen dos tipos de fertilizantes orgánicos según la forma de utilización: unos se aplican al suelo y otros directamente a las hojas de las plantas. Entre los primeros están los que incorporan materia orgánica y son el abono compuesto (composta),

la cama de los animales, los abonos verdes, el humus de lombriz y los purines de fermentación controlada entre otros. Entre los foliares se pueden nombrar el té de compost, el té de ortigas y el supermagro. La diferencia entre estos dos métodos complementarios, es que a través de las aplicaciones foliares se suplementan más rápidamente los nutrientes necesarios para el desarrollo de las plantas (Félix *et al.*, 2008; Román *et al.*, 2013.)

#### **2.4.1 Abonos orgánicos**

Los abonos orgánicos son todos aquellos residuos de origen animal y vegetal de los cuales las plantas pueden obtener importantes cantidades de nutrientes; el suelo, con la descomposición de estos abonos se ve enriquecido con carbono orgánico y mejora sus características físicas, químicas y biológicas. Entre los abonos orgánicos se encuentran los estiércoles, compostas, vermicompostas, residuos de las cosechas y abonos verdes (Román *et al.*, 2013).

Después de la adición constante de abonos orgánicos habitualmente se produce un incremento en la biomasa total microbiana del suelo, lo que indica que ese suelo tiene mayor cantidad de microorganismos viables, por lo que esta práctica incrementa la salud del suelo (Román *et al.*, 2013).

#### **2.4.2 Composta y sus efectos sobre las características del suelo**

Es posible interpretar el compostaje como el sumatorio de procesos metabólicos complejos realizados por parte de diferentes microorganismos que, en presencia de oxígeno, aprovechan el nitrógeno (N) y el carbono (C) presentes para producir su propia biomasa. En este proceso, adicionalmente, los microorganismos generan calor y un sustrato sólido, con menos C y N, pero más estable, (Román *et al.*, 2013).

Al descomponer el C, el N y toda la materia orgánica inicial, los microorganismos desprenden calor medible a través de las variaciones de temperatura a lo largo del tiempo. Según la temperatura generada durante el proceso, se reconocen tres

etapas principales en un compostaje, además de una etapa de maduración de duración variable. Las diferentes fases del compostaje se dividen según la temperatura en (Román *et al.*, 2013): fase Mesófila, fase Termófila. o de Higienización, fase de Enfriamiento o Mesófila II y fase de Maduración.

## **2.5 Amaranto y la importancia de su cultivo**

El cultivo del amaranto (*Amaranthus spp.*) fue de gran tradición en la cultura de los pueblos mesoamericanos. Su semilla, además de ser utilizada como alimento, también la ocupaban en ceremonias religiosas en las culturas prehispánicas

El amaranto es una especie con potencial agronómico para ser considerado como un cultivo alternativo en zonas de escasa precipitación. Por ser una planta C4, está capacitada para hacer un uso eficiente del agua y producir grandes volúmenes de biomasa. Además, presenta un alto valor nutricional tanto en el grano como en el follaje (Mapes *et al.*, 1996).

### **2.5.1 Descripción histórica**

El amaranto es uno de los cultivos más antiguos, que dentro las actividades agrícolas de los pueblos prehispánicos tenían gran importancia al igual que el de chíca, maíz y el frijol debido a su valor nutricional. En la época de los aztecas tuvo una producción de 15,000 a 20,000 toneladas anuales (Trinidad *et al.*, 1990). Pero este cultivo fue desplazado y muchas veces prohibido por los españoles hasta casi desaparecerlo, ya que lo relacionaban con ritos pagano- religiosos.

Ciertas evidencias arqueológicas han confirmado que las especies cultivadas para obtener grano provenían de América y que era uno de los alimentos más importantes para el México prehispánico. La cuna de la agricultura y de la irrigación en Mesoamérica fue el Valle de Tehuacán, Teotitlán durante la Fase Coxcatlán, Puebla en México (5200 a 3400 a. C.), donde se localizaron los primeros vestigios de la semilla de *Amaranthus hypochondriacus* L., lo cual indica que la domesticación

del amaranto ocurrió en la misma época que el maíz. En las últimas décadas, el interés por la planta de *Amaranthus spp.* ha resurgido, puesto que es protectora nutracéutica y natural contra dolencias crónicas (López y Alonso, 2019).

Para la década de los 60's se cultivaba en pequeñas áreas agrícolas, pero en los años 80's, este cultivo fue revalorado por la sociedad por ser uno de los cereales más ricos en proteínas y minerales esenciales para el ser humano, entre ellos el aminoácido lisina (Moreno *et al.*, 2005).

### **2.5.2 Descripción morfológica**

El amaranto es una especie anual, herbácea o arbustiva de diversos colores que van del verde al morado o púrpura con distintas coloraciones intermedias (Figura 1). A continuación, se describen la morfología de la planta de acuerdo con Chagaray (2005).

La raíz es pivotante con abundante ramificación y múltiples raicillas delgadas, que se extienden rápidamente después que el tallo comienza a ramificarse, facilitando la absorción de agua y nutrientes, la raíz principal sirve de sostén a la planta, permitiendo mantener el peso de la panoja.

El tallo es cilíndrico y anguloso con gruesas estrías longitudinales que le dan una apariencia acanalada, alcanza de 0.4 a 3 m de longitud, cuyo grosor disminuye de la base al ápice, presenta distintas coloraciones que generalmente coincide con el color de las hojas, aunque a veces se observa estrías de diferentes colores.

Las hojas son pecioladas, sin estípulas de forma oval, elíptica, opuestas o alternas con nervaduras prominentes en el envés, lisas o poco pubescentes de color verde o púrpura cuyo tamaño disminuye de la base al ápice, presentando borde entero, de tamaño variable de 6.5-15 cm.

La inflorescencia del amaranto corresponde a panojas muy vistosas, terminales, que pueden variar de totalmente erectas hasta decumbentes, con colores que van

del amarillo, anaranjado, café, rojo, rosado, hasta el púrpura; el tamaño varía de 50 a 80 cm.

Presenta flores unisexuales pequeñas, estaminadas y pistiladas, estando las estaminadas en el ápice del glomérulo y las pistiladas completan el glomérulo, el androceo está formado por cinco estambres de color morado que sostienen a las anteras por un punto cercano a la base, el gineceo presenta ovario esférico, súpero coronado por tres estigmas filiformes y pilosos, que aloja a una sola semilla.

El glomérulo es una ramificación dicasial cuya primera flor es terminal y siempre masculina, en cuya base nace dos flores laterales femeninas, cada una de las cuales origina otras dos flores laterales femeninas y así sucesivamente. Un glomérulo puede contener 250 flores femeninas, la flor masculina luego de expulsar el polen se seca y cae.

El fruto es una cápsula pequeña que botánicamente corresponde a un pixidio unilocular, la que a la madurez se abre transversalmente, dejando caer la parte superior llamada opérculo, para poner al descubierto la inferior llamada urna, donde se encuentra la semilla.

La semilla es pequeña, lisa, brillante de 1-1,5 mm de diámetro, ligeramente aplanada, de color blanco, aunque existen de colores amarillentos, dorados, rojos, rosados.

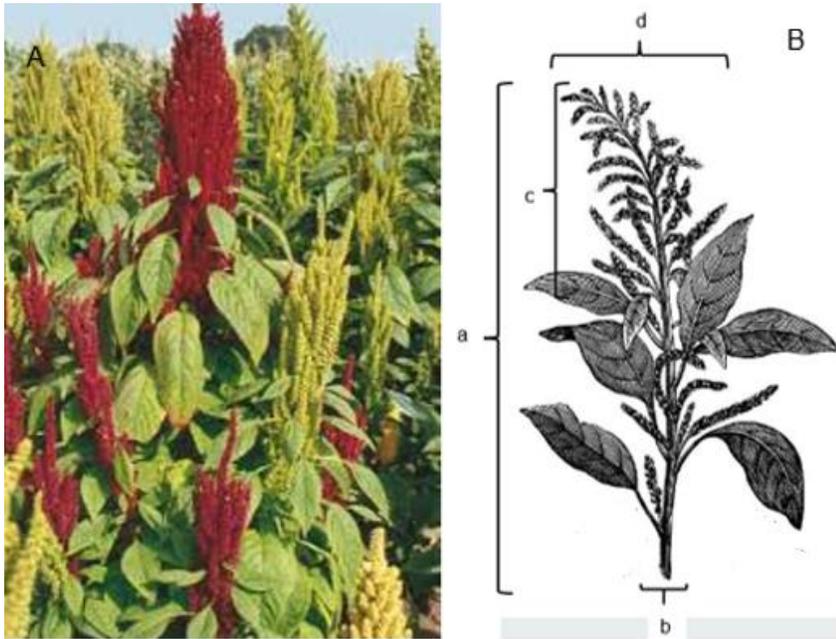


Figura 1. A) *Amaranthus hypochondriacus*, B) Morfología de la planta. a) Altura de la planta. b) Diámetro del tallo. c) Longitud de la panoja. d) Diámetro de la panoja.

### 2.5.3 Clasificación taxonómica

Reino	Plantae
Subreino	Viridiplantae
División	Tracheophyta
Subdivisión	Spermatophytina
Clase	Magnoliopsida
Superorden	Caryophyllanae
Orden	Caryophyllales
Familia	Amaranthaceae
Género	<i>Amaranthus</i> L. (1753).
Especie	<i>Amaranthus hypochondriacus</i> L. (1753) (NCBI, 2020).

#### **2.5.4 Fases fenológicas del amaranto**

El seguimiento del estado fenológico de los cultivos es una tarea muy importante para el agricultor, no sólo porque sirve de base para la programación de las futuras labores culturales, tales como el riego, aplicación de insecticidas, aporques, etc., sino también porque permite evaluar el crecimiento de los cultivos y sobre todo tener una idea sobre los posibles rendimientos de sus cultivos (Chagaray, 2005).

El ciclo fenológico del amaranto va de los 120 a los 170 días dependiendo de la variedad de cultivo y las condiciones agroambientales (Barrales y Torres, 1998). A continuación, se describen las diferentes etapas fenológicas de la planta de acuerdo con Henderson (1993) y Chagaray (2005):

**Emergencia: (VE).** Es la fase en la cual las plántulas emergen del suelo y muestran sus dos cotiledones extendidos y en el surco se observa por lo menos un 50% de población en este estado. Todas las hojas verdaderas sobre los cotiledones tienen un tamaño menor a 2cm de largo. Este estado puede durar de 8 a 21 días dependiendo de las condiciones agroclimáticas.

**Fase vegetativa: (V...V)<sup>1n</sup>.** Estas se determinan contando el número de nudos en el tallo principal donde las hojas se encuentran expandidas por lo menos 2 cm de largo. El primer nudo corresponde al estado V1, el segundo es V2, y así sucesivamente. A medida que las hojas basales senescen, la cicatriz dejada en el tallo principal se utiliza para considerar el nudo que corresponda. La planta comienza a ramificarse en estado V4.

#### **Fase reproductiva**

**Inicio de panoja (R1).** El ápice de la inflorescencia es visible en el extremo del tallo. Este estado se observa entre 50 y 70 días después de siembra.

**Panoja (R2).** La panoja tiene al menos 2 cm de largo.

**Término de panoja (R3).** La panoja tiene al menos 5 cm de largo. Si la antesis ya ha comenzado cuando se ha alcanzado esta etapa, la planta debiera ser clasificado en la etapa siguiente.

**Antesis (R4).** Al menos una flor se encuentra abierta mostrando los estambres separados y el estigma completamente visible. Las flores hermafroditas, son las primeras en abrir y generalmente la antesis comienza desde el punto medio del eje central de la panoja hacia las ramificaciones laterales de esta misma. En esta etapa existe alta sensibilidad a las heladas y al estrés hídrico. Este estado puede ser dividido en varios sub-estados, de acuerdo al porcentaje de flores del eje central de la panoja que han completado antesis.

**Llenado de granos (R5).** La antesis se ha completado en al menos el 95% del eje central de la panoja.

**Grano lechoso.** Las semillas al ser presionadas entre los dedos, dejan salir un líquido lechoso.

**Grano pastoso.** Las semillas al ser presionadas entre los dedos presentan una consistencia pastosa de color blanquecino.

**Madurez fisiológica (R6).** Un criterio definitivo para determinar madurez fisiológica aún no ha sido establecido; pero el cambio de color de la panoja es el indicador más utilizado. En panojas verdes, éstas cambian de color verde a un color oro y en panojas rojas cambian de color rojo a café-rojizo. Además, las semillas son duras y no es posible enterrarles la uña. En este estado al sacudir la panoja, las semillas ya maduras caen

**Madurez de cosecha (R7).** Las hojas senescen y caen, la planta tiene un aspecto seco de color café. Generalmente se espera que caiga una helada de otoño para que disminuya la humedad de la semilla.

### 2.5.5 Requerimientos agroclimáticos

**Altitud:** 100-2842 m (Reyna, 1986).

**Fotoperíodo:** Es sensible al fotoperíodo (Olufolaji, Odeleye, y Ojo, 2010). Existen cultivares de día corto y de día largo (FAO, 1994).

**Radiación (luz):** Prefiere días soleados (FAO, 1994).

**Temperatura:** La temperatura media anual óptima para el desarrollo, crecimiento y rendimiento del amaranto, oscila entre 13.7 y 28.9°C (Reyna, 1986).

**Precipitación (agua):** Se desarrolla en forma adecuada con precipitaciones anuales de 469 a 1347 mm, distribuidos principalmente de junio a octubre (Reyna, 1986). Sin embargo, se le ha reportado en regiones con precipitación anual de hasta 200 mm (FAO, 1994). La precipitación anual más aceptable para el cultivo es la que oscila entre 400 y 1000 mm; sin embargo, esta especie se puede establecer desde los 300 hasta 2000 mm.

**Humedad relativa:** Prefiere una atmósfera moderadamente húmeda (FAO, 1994).

**Profundidad de suelo:** Requiere de un mínimo de 30 cm de suelo arable. Es suficiente un suelo de mediana profundidad (FAO, 1994).

**Textura:** Desarrolla en suelos de textura arenosa, media. Prefiere suelos de textura pesada (FAO, 1994), pero como la mayoría de las especies le es muy favorable un suelo de textura franca. Tolerancia a suelos de mediana y aún baja calidad.

**Drenaje:** Requiere suelos con buen drenaje (FAO, 1994).

**pH:** Desarrolla en suelos desde muy ácidos hasta muy alcalinos. Rango de 4.0 a 8.5, con un óptimo de 7.0 (FAO, 1994). Precisa la presencia de caliza en el suelo.

**Salinidad/Sodicidad:** Se considera muy tolerante a sales. Presenta mediana tolerancia a la salinidad (FAO, 1994). Es un cultivo tolerante a la salinidad (Olufolaji *et al.*, 2010).

**Fertilidad y química del suelo:** Responde a niveles elevados de nitrógeno. Se han obtenido hasta 7.8 kg de amaranto por kg de nitrógeno. El fósforo incrementa el número de hojas por planta (FAO, 1994)

### 2.5.6 Plagas

La incidencia de las plagas y enfermedades del amaranto varía de acuerdo con las etapas fenológicas del amaranto descritas por Henderson (1993). (Romero *et al.*, 2018).

En un estudio entomofaunístico realizado por Pérez *et al.* (2011), se menciona que ocho especies son las causantes de los daños que pueda presentar el cultivo y que se consideran como plagas potenciales:

***Sphenarium purpurascens*** (Charpentier, 1842) (NBCI, 2020). Esta especie aparece cuando la planta de amaranto se encuentra en fase de emergencia y se ha encontrado en todo el ciclo vegetativo del cultivo, se alimenta de diferentes partes de la planta, follaje, tallo y panoja.

***Epicauta cinérea***. (Forster, 1771) (NBCI, 2020). En las máximas infestaciones, se observan daños al follaje de hasta 80%.

***Spodoptera exigua*** (Hubner, 1808) (NBCI, 2020). Se encuentran en los meses de julio a septiembre, cuando la planta está en etapa de desarrollo y antes de que aparezca la panoja del cultivo. Las larvas se alimentan del follaje de amaranto y causan los mayores daños cerca de la nervadura central.

***Pholisora catullus*** (Fabricius, 1793) (NBCI, 2020). Causa daños al follaje, el cual es característico porque enrolla las hojas donde se encuentra alimentándose formando un capullo, con lo que evita el crecimiento de la planta.

***Lygus lineolaris*** (Palisot de Beauvois, 1818) (NBCI, 2020). Esta especie se alimenta de la semilla madura.

***Herpetogramma bipunctalis*** (Fabricius, 1794) (NBCI, 2020). Esta especie se ha encontrado a partir de septiembre cuando la planta tiende a presentar la espiga y hasta el mes de noviembre, época en que el amaranto se encuentra en proceso de maduración y realiza la pupación en la base del tallo.

***Amauromyza abnormalis*** (Malloch, 1914) (NBCI, 2020). Esta especie es una mosca y la larva es la que barrena el tallo de la planta, el daño lo realiza desde la base de la planta, pero en ocasiones lo hace desde la raíz a una distancia aproximada de 10 cm del tallo, las larvas se alimentan del gineceo de la planta realizando una galería, lo que hace que no absorba nutrientes y se encuentre frágil, por lo que tiende a acamarse y muere.

***Phyllophaga ilhuicaminai*** (Horn, 1887) (NBCI, 2020). Las larvas se alimentan de la raíz, reflejándose en la flacidez de la planta y tiende a marchitarse; además, al no haber suficiente raíz, se presenta el acame de las plantas de amaranto.

## **2.6 Chía y la importancia de su cultivo**

*Salvia hispanica* L. conocida comúnmente como chía, es una especie anual nativa de Centroamérica, de zonas montañosas del oeste y centro de México, así como de Guatemala (Xingú *et al.*, 2017).

La producción, consumo y demanda de chía en México y a nivel mundial se ha visto incrementada en los últimos años, por ser una fuente de aceite con altos niveles de ácidos grasos poliinsaturados y compuestos fenólicos. En México sigue una tendencia al alza, observándose un incremento gradual en la superficie sembrada, en 2006 solo se cultivaron 15 ha y para 2017, se cultivaron 5,417.50 ha (SIAP, 2017), el consumo ha ido incrementándose debido al auge y al éxito que ha tenido, ya que es más redituable que el maíz y su alta demanda por las propiedades nutraceuticas que la caracterizan.

Actualmente Puebla ocupa el segundo lugar como productor de chía en la república mexicana, su siembra y comercialización tiene un enorme mercado para los

productores locales y nacionales, debido a que en el país se consumen seis millones de toneladas de semillas oleaginosas y también se acordó incluirla en el sistema producto de las mismas, por lo que se busca elevar exponencialmente su cultivo, ante la gran demanda que existe (SIAP, 2017).

### **2.6.1 Descripción histórica**

La *Salvia* spp mexicana pertenece al género *Salvia* de la familia Lamiaceae. Se originó en las latitudes bajas de México y Guatemala, junto con el amaranto, la quinua y el maíz, fue uno de los cuatro alimentos básicos de las poblaciones mayas y aztecas (CONABIO, 2019).

En Mesoamérica precolombina, la chía se valoró por el uso alimentario de sus semillas, medicamentos y aceite, y en los últimos años varios estudios indican que la chía es una nueva planta oleaginosa debido a su alto contenido de ácidos grasos  $\omega$ -3, probablemente la más alta entre otras oleaginosas. En la actualidad, la chía se cultiva principalmente para semillas y se comercializa como alimento funcional. Sin embargo, las hojas tienen un interés comercial potencial debido a su composición y al contenido de compuestos activos de valor nutracéutico, antioxidante y antimicrobiano (Jamshidi *et al.*, 2019).

### **2.6.2 Descripción morfológica**

Se define como una planta autógama, con más altos niveles de polinización cruzada en chía cultivada, que en chía silvestre, los insectos son los responsables de la polinización cruzada, obteniendo mayores rendimientos cuando existe la presencia de abejas en la zona de cultivo. La propagación más usada en la chía es por medio de semilla (Xingú *et al.*, 2017).

*S. hispanica* L. es una planta herbácea anual, de 1 a 1.5 m de altura, con tallos ramificados de sección cuadrangular y hueco, con pubescencias cortas y blancas (Figura 2) (Xingú *et al.*, 2017).

Las hojas opuestas con bordes aserrados de 80 a 100 mm de longitud y de 40 a 60 mm de ancho, con diferentes grados de pubescencia (Xingú *et al.*, 2017).

Las flores son hermafroditas, azules o blancas, frutos muy comúnmente indehiscentes en grupos de cuatro clusas monospermas ovales de 1.5 a 2 mm de longitud y 1 a 1.2 mm de diámetro; son suaves y brillantes, de color pardo grisáceo con manchas irregulares castaño oscuro, en su mayoría y en menor proporción blanquecinas (Xingú *et al.*, 2017).

Sus frutos son aquenios, comúnmente llamados “semillas”. Son frutos indehiscentes, monospermas, ovales, suaves y brillantes, de color negro grisáceo con manchas irregulares rojizas en su mayoría y algunos blancos. Miden entre un milímetro y medio y dos milímetros de longitud (SINAVIMO, 2020).



Figura 2. A) *Salvia hispanica* L., B) Morfología de la planta. a) Altura de la planta. b) Diámetro del tallo. c) Longitud de la espiga. d) Diámetro de la espiga.

### 2.6.3 Clasificación taxonómica

Reino	Plantae
Subreino	Viridiplantae
División	Tracheophyta
Subdivisión	Spermatophytina
Clase	Magnoliopsida
Superorden	Asteranae
Orden	Lamiales
Familia	Lamiaceae
Género	<i>Salvia</i> L. (1753).
Especie	<i>Salvia hispanica</i> L. (1753), (NCBI, 2020).

### 2.6.4 Etapas fenológicas

El ciclo fenológico de la chía va de los 100 a los 120 días, dependiendo de la variedad de cultivo y las condiciones agroambientales (Almendáriz, 2012; Brandán *et al.*, 2019). A continuación, se describen las diferentes etapas fenológicas de la planta propuestas por Brandán *et al.* (2019):

**Etapas de crecimiento principal 0. Germinación.** Las etapas de crecimiento secundario importantes durante la germinación son la imbibición completa de la semilla, emergencia de radícula o alargada y emergencia de cotiledones.

**Etapas de crecimiento principal 1. Aspecto de la hoja.** En chía, las hojas emergen en pares y el número de hojas finales depende del genotipo, el manejo y / o las condiciones ambientales. Esta etapa comienza con los cotiledones

completamente desplegados, seguido por el despliegue del primer par de hojas hasta el despliegue del último par de hojas.

**Etapa de crecimiento principal 2. Aspecto del brote.** Esta etapa describe la formación de brotes laterales. Las hojas de los brotes laterales aparecen en pares.

**Etapa de crecimiento principal 3. Etapa de alargamiento del tallo.** El tallo se alarga y ramifica, se presenta erguido y vigoroso.

**Etapa de crecimiento principal 4. El crecimiento de partes vegetativas cosechables u órganos vegetativos propagados.** Esta se determina contando el número de nudos en el tallo principal donde las hojas se encuentran expandidas por lo menos 2 cm de largo.

**Etapa de crecimiento principal 5. Crecimiento de inflorescencia.** Esta etapa comprende el crecimiento de la inflorescencia del brote principal y comienza cuando la inflorescencia mide menos de 1 cm y está cubierta por hojas, después de crecer hasta que se diferencia de las hojas. Esta etapa finaliza cuando la inflorescencia se expande completamente y las flores son visibles entre las brácteas, pero permanecen cerrada.

**Etapa de crecimiento principal 6. Floración.** Como la floración de la chía es acropétala (las flores se abren de basal a ápice), el período de floración se caracteriza dividiendo el verticilo en partes basales, medias y apicales.

**Inicio de floración.** Comienza cuando se abre al menos una capa de piedra en el tercio basal del verticilo vertical.

**Fin de floración.** La floración completa se produjo cuando se abrió al menos una flor en el tercio apical del verticilo.

**Antesis.** El período de floración de la chía es extenso, por lo que cuando algunas flores están en antesis, hay granos en el período de llenado en el mismo verticilo.

**Etapa de crecimiento principal 7. Cambios en la fruta.** En esta etapa aparecen los cambios en el fruto y comienza cuando los granos en el tercio basal del verticilo tienen textura lechosa. Cuando los granos en el tercio basal tienen textura de masa blanda y los del tercio medio tienen textura de leche, se alcanza la etapa y termina cuando los granos en el tercio apical tienen textura de masa dura.

**Etapa de crecimiento principal 8. Maduración.** En esta fase, los granos disminuyen su contenido de agua, modifican la dureza y cambian el color del pericarpio de amarillo pálido a blanco o marrón grisáceo (según el genotipo). Esta etapa termina cuando los granos están secos y difíciles de cicatrizar con los dedos.

**Etapa de crecimiento principal 9. Senescencia.** La senescencia comienza con la decoloración de las hojas basales (hojas amarillentas) que continua hacia arriba. Cuando esta etapa termina, toda la planta está muerta, seca y lista para la cosecha

### 2.6.5 Requerimientos agroclimáticos

**Altitud:** entre 1 400 y 2 200 m donde se ubica el centro de diversidad genética y fenotípica de chía silvestre y domesticada (Gómez y Colín, 2008).

**Radiación (luz):** Es una planta de día corto y sensible al fotoperiodo, presenta respuesta favorable a floración en días cortos (Jamboonsri *et al.*, 2012).

**Temperatura:** Mínima de 11° C y la máxima de 36° C y la óptima de 18° C (Gómez y Colín, 2008).

**Precipitación (agua):** Puede cultivarse en secano con solo 400 mm de lluvia, o con lluvias de hasta 1.100 mm (Gómez y Colín, 2008).

**Humedad relativa:** La humedad relativa requerida de 40 y 70%. Además, no es tolerante a heladas y no crece ni fructifica (Gómez y Colín, 2008).

**Profundidad de suelo:** Raíces penetran en el suelo hasta 20 cm de profundidad (Jamboonsri *et al.*, 2012).

**Textura:** Se desarrolla mejor en suelos arenoso-limosos, aunque puede crecer en los arcillo-limosos si tienen un buen drenaje (Jamboonsri *et al.*, 2012).

**Drenaje:** Requiere suelos con buen drenaje (Jamboonsri *et al.*, 2012).

**pH:** Como la mayoría de las salvas, es tolerante respecto a la acidez y a la sequía, teniendo un pH óptimo entre 6.5 a 7.5 (Gómez y Colín, 2008).

**Salinidad/Sodicidad:** Moderada tolerancia a estrés salino (Gómez y Colín, 2008).

**Fertilidad y química del suelo:** Las necesidades nutricionales que se estiman para el cultivo son: (NPK: 51 - 43 – 60) (Gómez y Colín, 2008).

#### 2.6.6 Plagas

Téllez *et al.* (2018), mencionan que ocho especies son las causantes de los daños que pueda presentar el cultivo y que se consideran como plagas potenciales:

***Sphenarium purpurascens*** (Charpentier, 1842) (NBCI, 2020). Ocasiona pérdidas directas al alimentarse de los brotes de la planta y genera daños por defoliación. Es una especie generalista, lo que puede explicar que se encuentre dañando el cultivo de chía desde la etapa de plántula, hasta la cosecha.

***Epicauta cinérea***. (Forster, 1771) (NBCI, 2020). En las máximas infestaciones, se observan daños al follaje de hasta 80%.

***Macrodactylus sp.*** (Haddon, 1898) (NBCI, 2020). Se alimenta de la raíz del cultivo.

### **3. HIPÓTESIS**

El uso de composta de residuos vegetales aumentara el rendimiento de *Amaranthus hypochondriacus* L. y *Salvia hispanica* L. en sistema de policultivos.

### **4. JUSTIFICACIÓN**

El manejo inapropiado del recurso suelo y el uso de agroquímicos, ha provocado pérdidas de la productividad agrícola y económica. El cultivo de amaranto y chía requiere atención debido al aumento en la demanda de grano que se ha registrado en años recientes. El uso de abonos orgánicos se ha presentado como una alternativa para aumentar la producción agrícola y mitigar los problemas de salud del suelo. La implementación de un sistema de policultivo en terrazas ligado al uso de composta como fertilizante orgánico, pretende innovar a nivel regional, reflejándose en el aumento de producción de semillas.

### **5. OBJETIVOS**

Objetivo general

Evaluar el rendimiento del policultivo amaranto-chía, fertilizado con composta bajo sistema de terrazas.

Objetivos específicos

- a) Evaluar la respuesta del suelo a la aplicación de composta mediante la determinación de las propiedades físicas y químicas del suelo en la presembrado y poscosecha del cultivo.
- b) Evaluar la respuesta de la aplicación de la composta sobre el crecimiento del cultivo amaranto y chía.
- c) Evaluar el efecto de la composta sobre el rendimiento del policultivo.

## 6. MATERIALES Y MÉTODOS

### 6.1 Área de estudio

La presente investigación se llevó a cabo en la localidad de San Lucas Tulcingo, municipio de Tochimilco, Puebla, localizado a 1 900 msnm, entre las coordenadas 18°50'21" latitud norte y 98°35'43" longitud oeste (Cruz *et al.*, 2018). El municipio colinda al Norte con San Nicolás de Los Ranchos, al Sur con los municipios de Atzitzihuacán y Cohuecán, al este con los municipios de Tianguismanalco y Atlixco, al Oeste con el estado de Morelos y el volcán Popocatepetl. Se llega por la carretera federal 150. Se localiza a 38 km. de la ciudad de Puebla (INAFED, 2019).

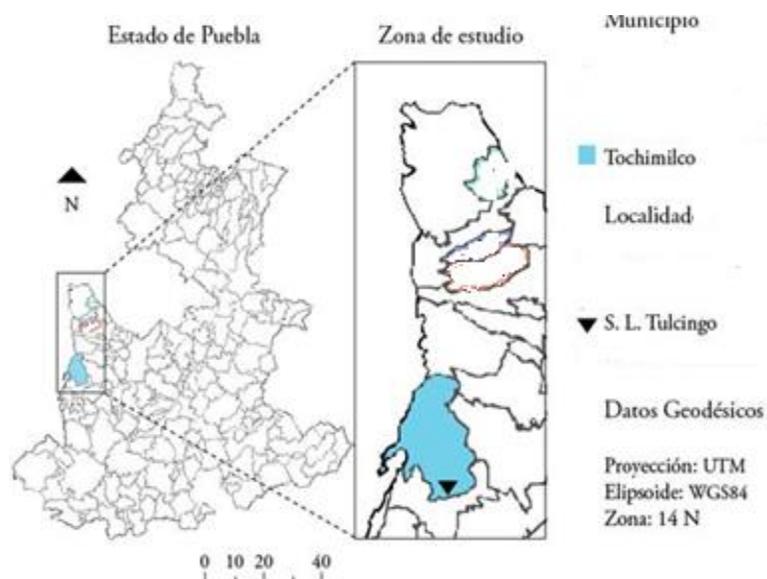


Figura 3. Localización geográfica del área de estudio en San Lucas Tulcingo, Puebla (Pérez *et al.*, 2017).

#### 6.1.1 Clima

En el municipio se presenta la transición de los climas templados del Valle de Atlixco, los fríos de las partes altas de la Sierra Nevada; su temperatura media anual oscila entre los 12 y 18°C.; conforme se avanza de sur a norte, presenta una

disminución constante de temperatura; se identifican cuatro climas: clima semicálido subhúmedo, con lluvias en verano. Se identifica en las áreas más bajas del municipio (INAFED, 2019)

El clima para del municipio de Tochimilco es C(w'') (w) (b') ig. Se trata de un clima templado subhúmedo, con lluvias en verano, con temperatura media del mes más frío inferior a 18°C, pero superior a -3°C; la precipitación del mes más húmedo es en la mitad del año en la que se encuentra el verano, 10 veces mayor que la del mes más seco; la precipitación del mes más seco es inferior a 40 milímetros y la precipitación anual es mayor a la que constituye el límite de los climas secos B y menor que el límite de los climas C (m) (INEGI, 2009).

### **6.1.2 Vegetación**

El municipio debió haber estado cubierto casi en su totalidad por bosques que han sido talados, para utilizar la madera o incorporar las zonas al cultivo; las zonas que aún subsisten ocupan extensas áreas y se ubican en las zonas más accidentadas. La parte meridional presenta en las faldas inferiores de la sierra nevada algunas zonas aisladas de pinos y pino-encino asociados a vegetación secundaria arbustiva y alborea. También presenta en el extremo sur y sureste áreas reducidas con selva baja caducifolia y pastizal inducido. En las estribaciones del volcán subsisten extensas áreas de pinos y pino-encino, y más arriba una zona boscosa de oyameles continuando hacia el norte; presenta una faja de pino, pradera de alta montaña, y en la cúspide, nieve perpetua (INEGI, 2009).

### **6.1.3 Hidrografía**

El municipio pertenece a la cuenca del río Atoyac, una de las cuencas más importantes del estado, es recorrido de norte a sur por gran cantidad de arroyos intermitentes, provenientes de las estribaciones del volcán Popocatepetl que dan origen a la gran cantidad de barracas y varios ríos permanentes que a continuación

se describen: el río Atila realiza un recorrido de más de 10 kilómetros y baña la porción centro sur del municipio, para después unirse con el río Nexapa que es afluente del río Atoyac. El río Huetzoyo baña al sur y forma el Axuxuca afluente también del río Atoyac, por último, el Matadero que cruza la población de Tochimilco y baña al sureste para unirse posteriormente al Atila (INAFED, 2019).

#### **6.1.4 Edafología**

Dentro del territorio, se pueden identificar seis diferentes grupos de suelos (INEGI, 2009):

**Andosol:** se localiza en un área reducida al suroeste; presenta fase pedregosa (fragmento de roca o tepetate de 7.5 centímetros de diámetro).

**Regosol:** ocupan la porción meridional y la zona intermedia entre las faldas inferiores de la sierra nevada y las partes más elevadas del volcán Popocatepetl.

**Cambisol:** presenta fase gravosa (fragmentos de piedra y tepetate menores de 7.5 centímetros de diámetro en el suelo).

**Feozem:** ocupa una extensa área, casi en su totalidad perteneciente a las faldas inferiores de la sierra nevada.

**Fluvisol:** ocupa un área extensa al sur.

**Litosol:** se presenta en las partes más altas del volcán.

## 6.2 Metodología

La siguiente investigación se llevó a cabo en 2 fases: fase de campo y fase de laboratorio.

Se planificaron con el productor Bruno Ariza, las actividades relacionadas al cultivo, estableciéndose el cronograma, desde la preparación del terreno hasta la cosecha del policultivo.

### 6.2.1 Diseño experimental

Se delimitaron 5 terrazas experimentales de 1400 m<sup>2</sup>, iniciando la labranza del terreno en marzo de 2019, encauzando el cultivo bajo el régimen de temporal. Se estableció el diseño de parcelas divididas con gradiente, con un tratamiento, quedando distribuidas de la siguiente manera como se muestra en la figura 4.

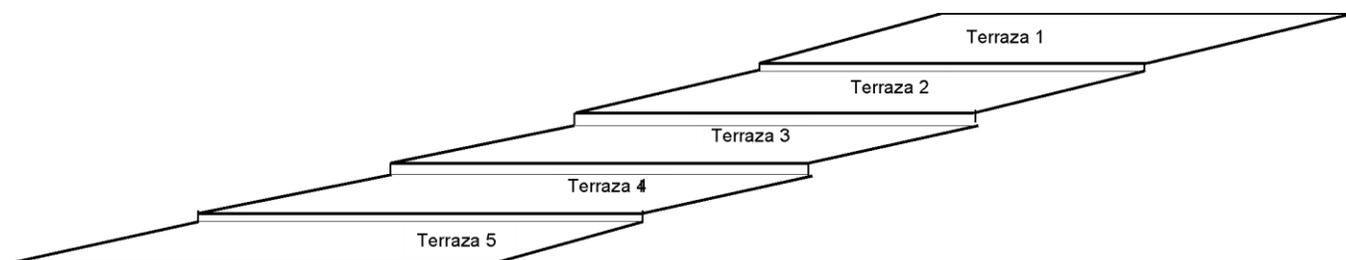


Figura 4. Distribución de las terrazas experimentales.

### 6.2.2 Fase de campo

#### 6.2.2.1 Preparación del terreno

Este se realizó de forma tradicional de acuerdo a las costumbres propias del agricultor y de la región misma. Se apoyó del paso de una yunta arrastrada por caballos; que efectuaron dos barbechos y la rastra con la finalidad de airear el suelo y exponer estadios larvarios de plagas al sol para evitar posteriores daños al cultivo.

durante el ciclo primavera-verano. En el mes de junio el terreno fue surcado con una separación de 80 cm entre surco y surco.

#### **6.2.2.2 Toma de muestras edáficas**

Se llevaron a cabo dos muestreos edáficos, el primero durante la presiembra y el segundo después de la cosecha, en ambos casos a una profundidad de 30 cm. Cada muestra consistió en una porción de aproximadamente 1.5 Kg de suelo para ser depositada en una bolsa de polietileno, debidamente etiquetada. En su conjunto las muestras fueron transportadas al laboratorio de edafoclimatología del Centro de Investigaciones Biológicas de la UAEM para su posterior análisis físico y químico bajo la NOM-021-RECNAT-2000 (DOF, 2001)

#### **6.2.2.3 Siembra**

La semilla empleada fue mezclada con estiércol de caballo, que, de acuerdo a las creencias del agricultor, esto sirve para “calentar” la semilla (así lo llaman en la región) para que ésta germine más rápido. Cada terraza requirió de 90 Kg de caballaza y 300 g de semilla de cada especie.

La siembra se realizó bajo condiciones de temporal. El método de siembra fue manual, conocido de manera tradicional en la región como “mateado”, el cual consistió en colocar 40 gr de la mezcla de semilla con el abono orgánico a una distancia de 30 cm, entre mata y mata en el lomo del surco.

Para el amaranto se estableció una densidad de siembra de 5838 plantas en 700 m<sup>2</sup> en cada una de las 5 terrazas.

En el caso de la chíá se manejaron tres distintas densidades de siembra: en la terraza 1 de 29165 plantas en 700 m<sup>2</sup>, en la terraza 2 y 4 de 23333 plantas en 700 m<sup>2</sup>, y finalmente en la terraza 3 y 5 de 17500 plantas en 700 m<sup>2</sup>.

#### **6.2.2.4 Desahije**

Una vez germinada la semilla y cuando la plántula alcanzó entre los 10 y 15 cm de altura (a los 30 días posteriores a la siembra aproximadamente) se realizó un desahije, dejando en promedio en ambos cultivos tres plantas a la distancia antes mencionada.

#### **6.2.2.6 Fertilización**

El abono orgánico utilizado fue composta (elaborada por el agricultor Don Bruno Ariza), misma que fue incorporada al cultivo en una sola exhibición a los 30 días posteriores a la siembra, de manera dirigida en cada mata.

Para la aplicación de la composta utilizada se tomó como referencia la dosis óptima de nitrógeno total que requiere el cultivo de amaranto, que es de 150 kg/ha (Campos, 1999; Oliver *et al.*, 2000) y se dispusieron 100 Kg de composta por terraza.

#### **6.2.2.7 Control de malezas**

Tanto el amaranto como la chía son cultivos susceptibles a la competencia de las malezas, ya que éstas al tener un crecimiento agresivo, las superan en tamaño y les proporcionan sombra, les quitan espacio y nutrientes. Para mantener un control adecuado de las malezas a los 30 días después de la siembra se inició la remoción manual para continuar durante todo el ciclo.

#### **6.2.2.8 Toma de medidas botánicas**

La toma de medidas botánicas de amaranto se realizó durante el mes de octubre y se seleccionaron 10 ejemplares al azar por cada terraza. Los datos botánicos que

se evaluaron fueron: altura de la planta, longitud y diámetro de la inflorescencia (Figura 1), con ayuda de una cinta métrica flexible y vernier.

En el caso de cultivo de la chía, la toma de datos se realizó en el mes de diciembre. Se seleccionaron diez plantas al azar de cada terraza, que fueron evaluadas bajo las siguientes mediciones botánicas: altura de la planta, número de plantas por mata, número de espigas por planta y tamaño de las espigas (Figura 2).

En ambos casos se obtuvo el peso de semillas total por parcela y el rendimiento de cada cultivo.

### **6.2.2.9 Cosecha, secado y trillado**

Una vez que ambos cultivos alcanzaron su madurez se procedió a la cosecha. Para esta actividad se utilizaron tijeras manuales para poda de plantas. En el caso del amaranto la cosecha se realizó en el mes de octubre, cortando las panojas de las plantas seleccionadas, mismas que fueron depositadas en bolsas de papel con su respectiva etiqueta.

El cultivo de chía fue cosechado en el mes de diciembre, extrayendo la mata y colocándola en costales de rafia para su posterior secado.

Estas plantas se procesaron de manera independiente al resto del cultivo, por lo que fueron llevadas a condiciones de laboratorio para su secado y tamizado con la finalidad de determinar el rendimiento de semilla por terraza.

### **6.2.3 Fase de laboratorio**

#### **6.2.3.1 Preparación de muestras edafológicas**

Cuando las muestras de suelo llegan al laboratorio, deben acondicionarse como paso previo para la realización de los análisis posteriores.

Sobre una bandeja con papel periódico, se colocó una capa de cada muestra de suelo para facilitar el secado al aire, ocasionalmente con una espátula se removió para facilitar el proceso. Una vez secas las muestras, se procedió al tamizado de las mismas.

### 6.2.3.2 Análisis físicos y químicos de suelo

Dentro del desarrollo del proyecto, el análisis de suelos es una herramienta importante que se utiliza para determinar deficiencias o necesidades de fertilización, así como también para monitorear la evolución de la disponibilidad de nutrientes en el suelo, permitiendo el uso correcto, tanto de fertilizantes orgánicos (preferentemente) como de enmiendas o correctivos.

A continuación, se muestran en la tabla 1 los distintos análisis que se realizaron para cumplir con los objetivos del proyecto:

Tabla 1. Técnicas de laboratorio para el análisis de suelo.

<b>Análisis físicos</b>	<b>Método</b>
Color en seco y húmedo	Comparación de cartas Munsell (1992).
Densidad aparente	Método de la probeta (Blake, 1968).
Densidad real	Método del picnómetro (Baver, 1956).
Porosidad	Calculo relación densidad real y aparente.
Textura	Método hidrómetro de Bouyoucos (1963).
<b>Análisis químicos</b>	<b>Método</b>
pH (H <sub>2</sub> O) 1:2.25 Y (KCL) 1:2.5	Método del potenciómetro.
Materia orgánica (%)	Método de combustión humedad de Walkley y Black (1982).
Carbono (%)	Cálculo a partir de la materia orgánica (Jackson, 1982).
Nitrógeno total (%)	Cálculo a partir de la materia orgánica (Jackson, 1982).

## 7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 7.1 Análisis de suelo

El presente trabajo se llevó a cabo en una unidad de suelo denominada cambisol, el cual se caracteriza por ser un suelo de tipo joven y poco desarrollado, el cual puede sustentar cualquier tipo de vegetación; esta unidad de suelo es muy frecuente, se destina a diversos usos y sus rendimientos son variables pues dependen del clima donde se encuentre; son de moderada a alta susceptibilidad a la erosión (INEGI, 2004).

#### 7.1.1 Parámetros físicos

##### 7.1.1.1 Color de Suelo

Los resultados obtenidos durante la presiembra muestran un color pardo amarillento en seco, que se mantiene en la poscosecha, así como también se mantiene el color pardo oscuro en húmedo en la presiembra y poscosecha como se puede observar en la tabla 2, lo cual concuerda con lo dicho por Brady (1984), ya que menciona que el color se oscurece con la adición de la materia orgánica contenida en la composta.

Tabla 2. Color de suelo en la presiembra y la poscosecha.

Presiembra				
Terraza	Color en seco		Color en húmedo	
1	10/YR 5/6	Pardo amarillento	10/YR 4/3	Pardo
2	10/YR 5/3	Pardo	10/YR 3/3	Pardo oscuro
3	10/YR 5/4	Pardo amarillento	10/YR 3/3	Pardo oscuro
4	10/YR 5/3	Pardo	10/YR 3/4	Pardo amarillento oscuro
5	10/YR 5/4	Pardo amarillento	10/YR 3/3	Pardo oscuro
Poscosecha				
Terraza	Color en seco		Color en húmedo	
1	10/YR 5/4	Pardo amarillento	10/YR 3/3	Pardo oscuro
2	10/YR 5/4	Pardo amarillento	10/YR 3/2	Pardo grisáceo muy oscuro
3	10/YR 5/4	Pardo amarillento	10/YR 3/2	Pardo grisáceo muy oscuro
4	10/YR 5/4	Pardo amarillento	10/YR 3/3	Pardo oscuro
5	10/YR 5/4	Pardo amarillento	10/YR 4/3	Pardo

### **7.1.1.2 Densidad aparente, densidad real y porosidad.**

En la tabla 3 se muestra la densidad aparente, donde se observa en aumento en las 5 terrazas, teniendo valores de presiembra que van desde 0.86 a 0.93, mientras que en la poscosecha se registraron valores dentro del intervalo de 0.91 a 1.02. Aunque se registró un cambio, aún se encuentra dentro del rango de un suelo bien estructurado (1 g/cc) de acuerdo con López (2005).

Los valores obtenidos de la densidad real (Tabla 3) en la presiembra, van desde 2.08 a 2.27, mientras que en la presiembra aumenta esta densidad, oscilando entre los 2.45 y 2.56. Este aumento de densidad, de acuerdo con Thompson y Troeh (2002), se debe a el contenido de materia orgánica que se adiciono por medio de la composta, ya que establecen que valores de densidad menores de 2.65 gr/cm<sup>3</sup> se deben al contenido de yeso o materia orgánica en el suelo.

La porosidad que se puede observar en la tabla 3, indican valores de presiembra entre 60% y 63%, mientras que en la poscosecha este parámetro aumenta ligeramente, mostrando valores desde 60.5% a 64%. Este aumento concuerda con Rusell (1978), ya que menciona que se debe registrar un incremento en la porosidad al aplicar estiércol, debido a que se adiciona materia orgánica al suelo, por lo que favorece la formación de agregados estables al agua y con ellos se incrementa la porción de poros.

Tabla 3. Densidad aparente, densidad real y porosidad en la presiembra y poscosecha por terraza.

<b>Parámetro</b>	<b>Terraza</b>	<b>Presiembra</b>	<b>Poscosecha</b>
<b>Densidad aparente</b>	1	0.86	0.91
	2	0.85	1.025
	3	0.87	0.94
	4	0.93	0.94
	5	0.86	0.93
<b>Densidad real</b>	1	2.17	2.275
	2	2.08	2.505
	3	2.27	2.45
	4	2.27	2.7
	5	2.27	2.565
<b>Porosidad</b>	1	61	60.5
	2	60	56.5
	3	62	62
	4	60	66
	5	63	64

### 7.1.1.3 Textura

En la tabla 4 se observan los datos de la textura del suelo obtenida durante la presiembra y la poscosecha. En la presiembra, el contenido de arena (62 a 66%), el contenido de limo (21.6 a 27.6) y el contenido de arcilla (8.4 a 14.4) ubican a este suelo con una textura franco arenosa. En la poscosecha el contenido de arena (58.4 a 69.2), el contenido de limo (18 a 28.4) y el contenido de arcilla (5.2 a 16.4) también ubican a este suelo en una textura franco. A pesar de que se muestra un cambio en el porcentaje de cada tipo de partícula, la textura continúa siendo franco arenoso, la cual se encuentra dentro del rango apropiado para un óptimo desarrollo de ambos cultivos.

Tabla 4. Textura del suelo en la presiembra y poscosecha.

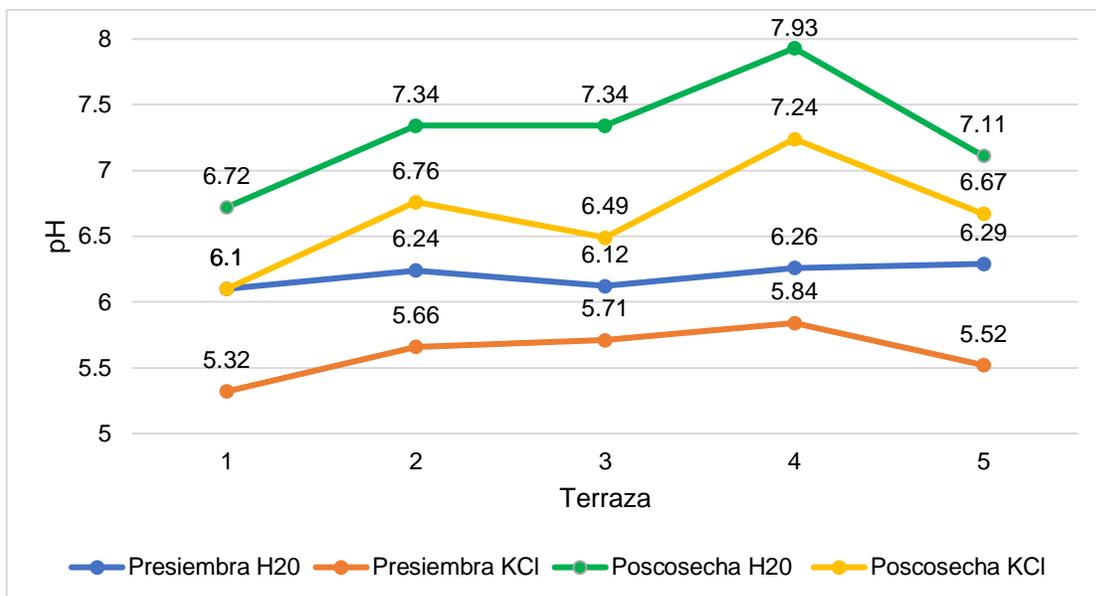
<b>Presiembra</b>				
<b>Terraza</b>	<b>%Arena</b>	<b>%Limo</b>	<b>%Arcilla</b>	<b>Textura</b>
1	64	21.6	14.4	Franco arenosa
2	65.2	24.4	10.4	Franco arenosa
3	62	27.6	10.4	Franco arenosa
4	66	23.6	10.4	Franco arenosa
5	66	25.6	8.4	Franco arenosa
<b>Poscosecha</b>				
<b>Terraza</b>	<b>%Arena</b>	<b>%Limo</b>	<b>% Arcilla</b>	<b>Textura</b>
1	58.4	28.4	13.2	Franca
2	65.6	18	16.4	Franco arenosa
3	64.8	24	11.2	Franco arenosa
4	69.2	25.6	5.2	Franco arenosa
5	68.4	21.8	9.8	Franco arenosa

## 7.2.2 Parámetros químicos

### 7.2.2.1 pH

En la gráfica 1, se muestran los valores de pH obtenidos en la presiembra, y van desde 6.1 a 6.29 en H<sub>2</sub>O y en KCl los valores oscilan entre 5.32 a 5.52. Durante la poscosecha, el pH en H<sub>2</sub>O mostro valores desde 6.72 a 7.11, mientras que en KCl los valores oscilan entre 6.61 a 6.29. Lo cual indica que durante la presiembra los valores de pH de este suelo eran ligeramente ácidos, conservando ese rango hasta la poscosecha, donde el rango lo ubica en un suelo medianamente alcalino.

De acuerdo con Prasad y Power (1997), el pH óptimo de estos suelos debe oscilar entre 6.5 y 7.5 para obtener los mejores rendimientos y la mayor productividad ya que se trata del rango donde los nutrientes son fácilmente asimilables y, por tanto, donde mejor se desarrollarán la mayoría de los cultivos, por lo que la adición de composta modifica el pH del sitio llevándolos de ligeramente ácidos a medianamente alcalinos.



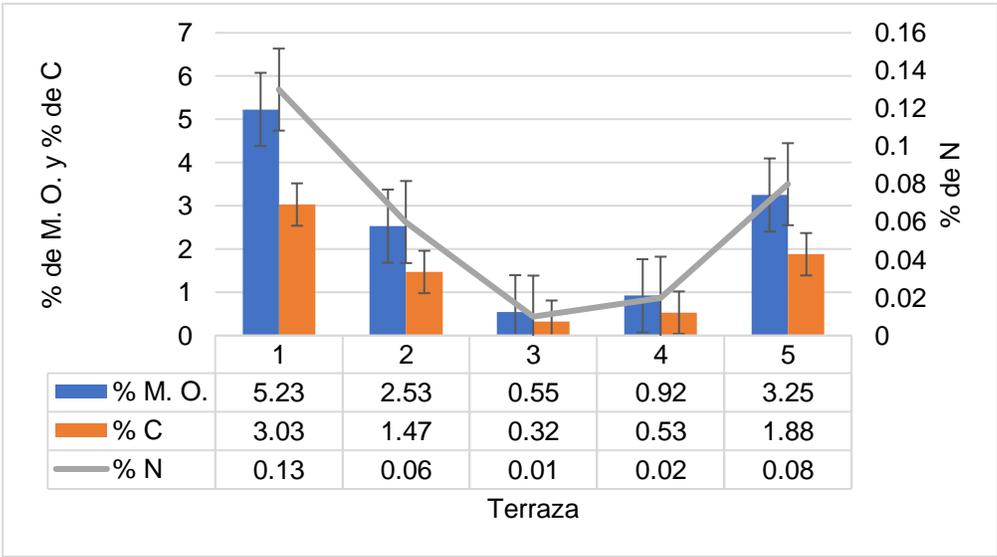
Gráfica 1. Valores de pH en la presiembra y poscosecha.

### 7.2.2.2 Materia orgánica (%M. O.), % Carbono (%C) y % Nitrógeno (%N)

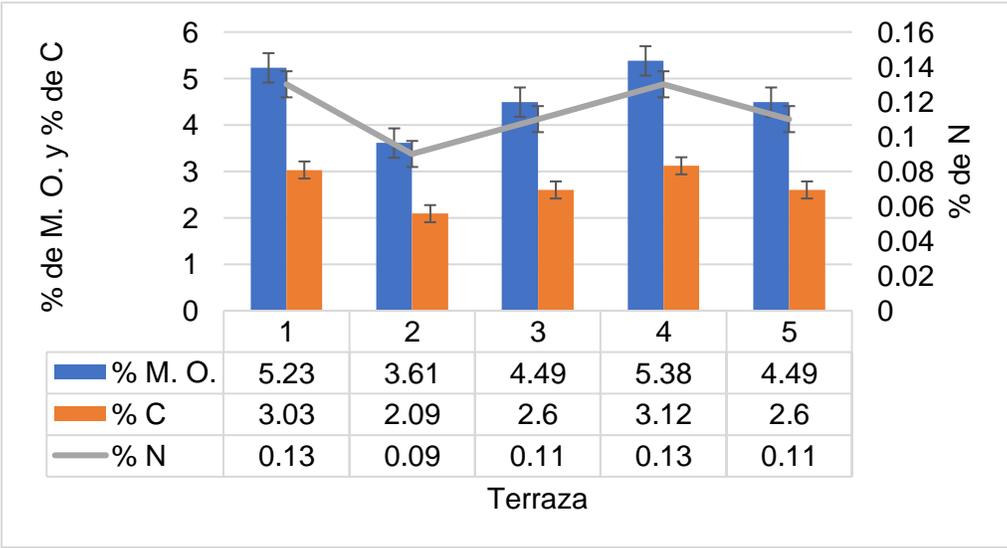
En la gráfica 2 se muestran los valores de materia orgánica entre 0.55% a 5.23%, carbono con 0.32% a 3.03.% y nitrógeno desde 0.01% a 0.13%, obtenidos durante la presiembra. Cabe destacar que el mayor contenido de estos parámetros se encontró en la terraza 1 y el menor contenido en la terraza 3.

En la gráfica 3, se pueden observar los mismos parámetros, sin embargo, estos datos se obtuvieron durante la poscosecha, con contenido de materia orgánica desde 3.61% a 5.38%, carbono con 2.09% a 3.12% y nitrógeno desde 0.9% a 0.13%. A diferencia de la presiembra, el mayor contenido se registró en la terraza 4 y el menor contenido de estos, en la terraza 2.

Lógicamente, el comportamiento de los niveles de carbono es proporcionales a los de materia orgánica, ya que metodológicamente se utilizan los valores de esta para calcular el % carbono. Se puede observar un aumento significativo en la materia orgánica y de acuerdo con Porta *et al.* (2003), esto se debe a que el retorno al suelo de materia orgánica, se da en un periodo de 1 a 8 años.



Gráfica 2. Relación materia orgánica, nitrógeno y carbono durante la presiembra.



Gráfica 3. Relación materia orgánica, nitrógeno y carbono durante la poscosecha.

## 7.2 Datos botánicos de amaranto.

La fertilización es uno de los factores más importantes relacionados al incremento en el crecimiento de las plantas y, por lo tanto, se refleja en el rendimiento de los cultivos. Este aumento de crecimiento, se refleja en parámetros botánicos como los que se muestran en la tabla 5, como lo es la altura de la planta, el diámetro del tallo, altura y diámetro de la panoja.

Tabla 5. Medidas botánicas de amaranto.

Terraza	Altura de la planta (m)	Diámetro de tallo (cm)	Altura de la panoja (cm)	Diámetro panoja (cm)
1	180.7	1.54	75.2	36.7
2	182.8	1.42	70.4	36.2
3	167.5	1.39	70.4	33.7
4	167.5	1.59	73.2	38.8
5	159.9	1.50	65.2	35.2

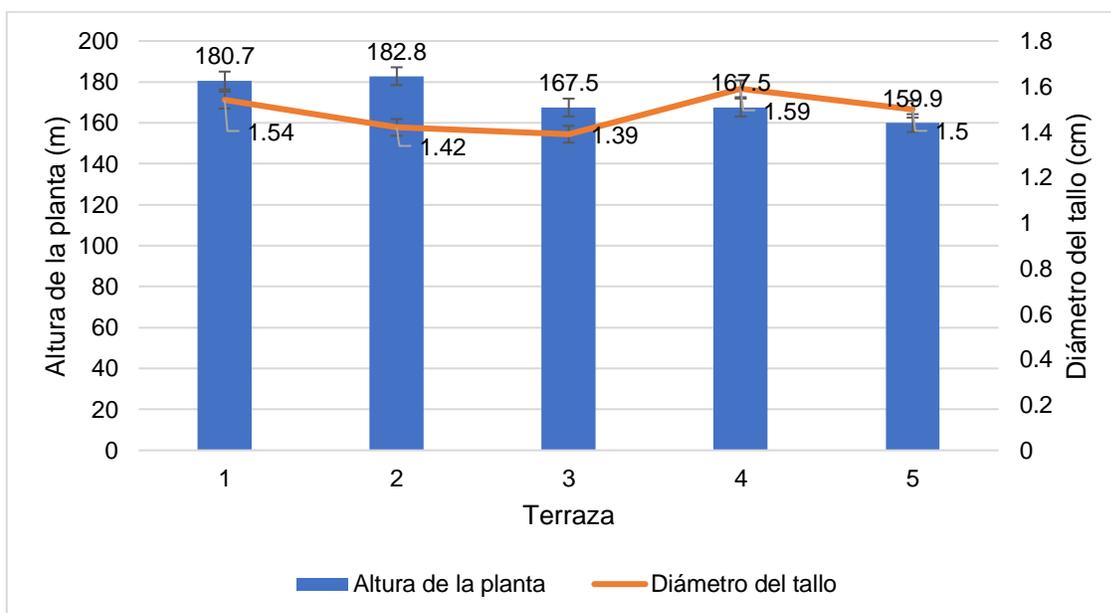
### 7.2.1 Altura de la planta

La altura de la planta se considera una variante ligada al rendimiento, por ser la estructura que soporta la inflorescencia, que a su vez contiene los granos deseados (Jaramillo, 2005); así mismo, varios autores han señalado que a mayores alturas de planta se han registrado mayores rendimientos (Morales, 2000; Beltrán, 2005).

En la gráfica 4, se muestran los promedios de la altura de la planta y del diámetro del tallo por terraza, en donde la altura máxima se registró en la terraza 2 con 182.8 cm con un diámetro de tallo de 1.42 cm y la altura mínima en la terraza 5 con 159.9 cm y con un diámetro de tallo de 1.5 cm. Cabe mencionar que las terrazas 2, 3, 4 y 5 registraron un aumento en el contenido de materia orgánica en la poscosecha (Gráfica 2 y 3), por lo que se puede inferir que la dosis de fertilizante empleada fue suficiente tanto para incorporarse a la reserva del suelo como para ser aprovechada por la planta.

Los datos de la altura de la planta que se obtuvieron en este proyecto, concuerdan con los rangos establecidos en el manual para la producción de amaranto del INDESOL (2014), donde la altura de la planta del amaranto oscila entre 120 y 180 cm cuando se utilizan abonos orgánicos. Esta variable ha demostrado una respuesta favorable a la aplicación de la composta elaborada por el Sr. Bruno, comparada con diversos reportes como los que se muestran en la tabla 6.

Al realizar el análisis de varianza que se muestra en la tabla 7 (ver Apéndice), se encontró que sí existen diferencias significativas entre la altura de las 5 terrazas con un nivel de confianza del 95% ( $p < .05$ ) de confiabilidad. Al realizar el análisis de comparación de medias que se muestra en la tabla 8 (ver Apéndice), se encontró que las diferencias significativas se dieron entre las terrazas 1 y 2 que son las de mayor altura y las terrazas 3, 4 y 5 donde se registraron alturas menores.



Gráfica 4. Promedio de la altura de la planta y diámetro del tallo por terraza.

Tabla 6. Promedio de altura de *A. hypochondriacus* L. reportada por otros autores.

<b>Autor</b>	<b>Altura (cm)</b>	<b>Clima</b>	<b>Suelo</b>
García (2000)	158.26	Cálido	Cambisol
Morales (2000)	97.5	Semicálido	Andosol
Rojas (2000)	133.27	Semicálido	Andosol
Jaramillo (2005)	151.2	Semicálido	Regosol
Barreto, <i>et al.</i> (2003)	159.5	Semicálido	Regosol
Ocampo (2003)	108.7	Templado subhúmedo	Andosol
Beltrán (2005)	156.5	Semicálido	Regosol

### 7.2.2 Longitud y perímetro de la panoja

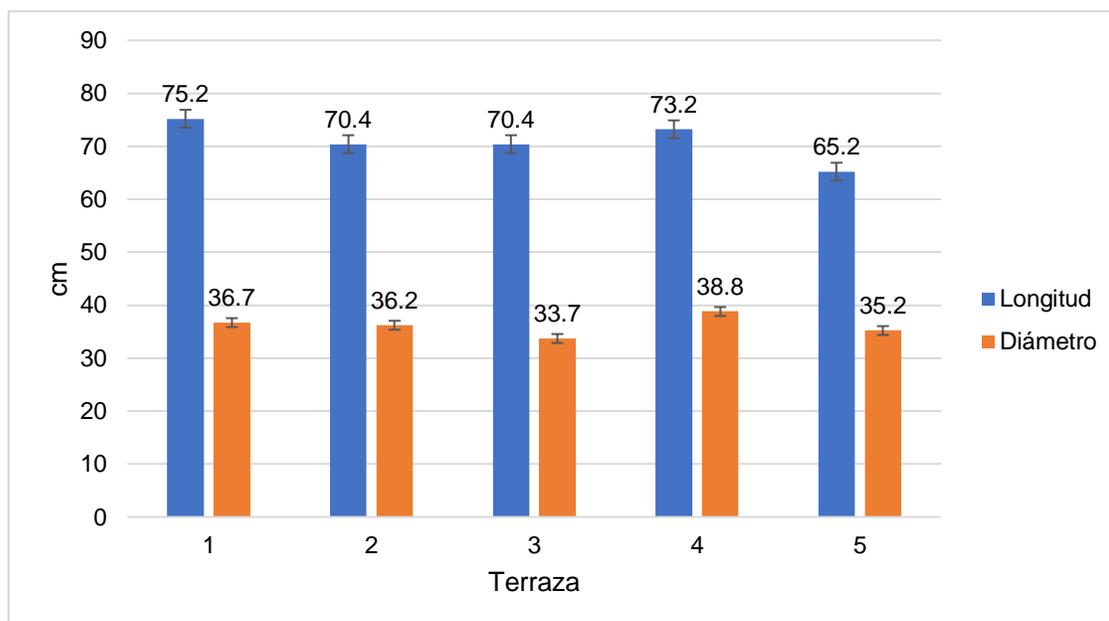
La longitud y el diámetro de la panoja son de las variables más importantes a evaluar, ya que se reporta una relación directamente proporcional entre el tamaño de estas y el rendimiento (Morales, 2000; Beltrán, 2005).

Como se observar en la gráfica 5, la panoja con mayor altura se registró en la terraza 1 con 75.2 cm, pero con un diámetro intermedio de 36.7 cm, además de registrar una de las mayores alturas de la planta y uno de los contenidos más altos de materia orgánica durante la presiembra y poscosecha. La panoja con menor altura se registró en la terraza 5 con 65.2 cm y con un diámetro medio de 35.2 cm, sin embargo, también es la terraza donde se registra la menor altura de la planta y bajos contenidos de materia orgánica.

De acuerdo con el Manual para la producción de amaranto del INDESOL (2014), la longitud de la panoja representa aproximadamente 1/3 de la altura de la planta, sin embargo, las medidas que se reportan para este estudio (Gráfica 4) rebasan ese promedio.

Una vez realizado el análisis de varianza para la longitud de la panoja (Tabla 9, ver Apéndice), se encontraron diferencias significativas entre las terrazas con un nivel de confianza del 95% ( $p < 0.5$ ). La prueba de rangos múltiples mostro diferencias entre la longitud de la terraza 1 que registra la mayor longitud y 5 con el promedio menor de longitud (tabla 10, ver Apéndice).

El análisis de varianza para el diámetro de la panoja (tabla 11, ver Apéndice). mostro diferencias significativas entre las terrazas, con un nivel de confianza del 95% ( $p < 0.5$ ). La prueba de rangos múltiples (tabla 12, ver Apéndice) encontró diferencias entre todas las medias del diámetro de la panoja de las cinco terrazas.



Gráfica 5. Promedio por terraza de la longitud y diámetro de la panoja de amaranto.

### 7.3 Datos botánicos de chía

Como ya se mencionó previamente, la fertilización es uno de los factores más importantes relacionados al incremento del rendimiento en los cultivos, donde también se refleja en ciertos parámetros botánicos como lo son la altura y el diámetro del tallo de la planta, el tamaño de la inflorescencia por ser quién contiene los granos deseados. En el caso de la chía, también se considera importante el número de ramas ya que es proporcional al número de espigas como se observa en la tabla 13, lo que se traduce en un mayor rendimiento del grano.

Tabla 13. Medidas botánicas de chíá

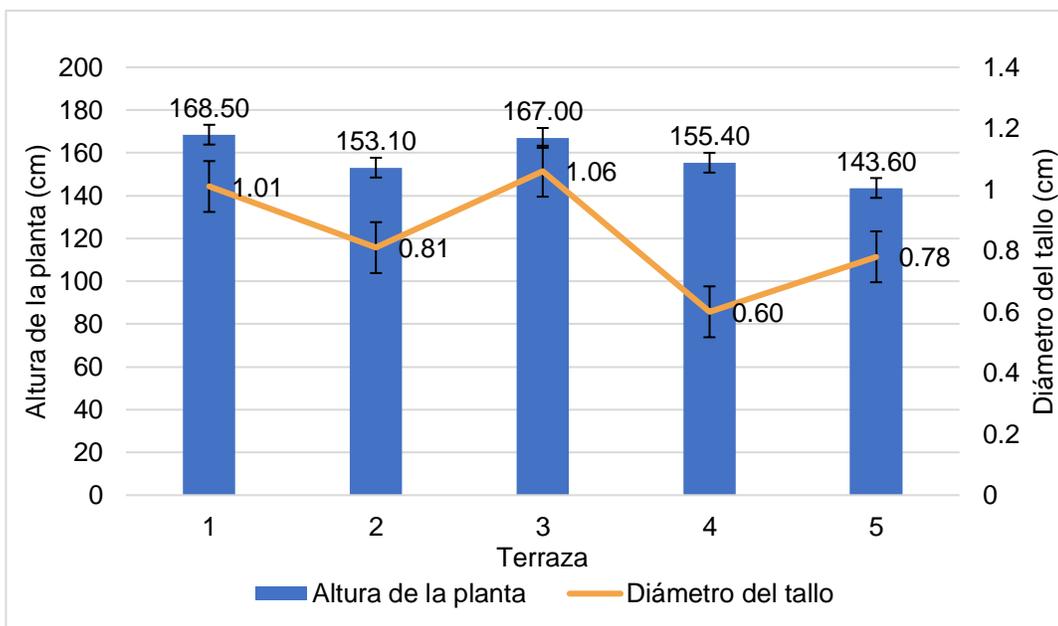
Terraza	Plantas por mata	Altura de la mata (cm)	Altura de la planta (cm)	Diámetro del tallo (cm)	Número de ramas	Número de espigas	Longitud de espiga (cm)	Diámetro de espiga (cm)
1	5	173	168.50	1.01	80	265	6.26	1.19
2	4	171	153.10	0.81	58	153	8.24	1.29
3	3	180	167.00	1.06	56	99	8.05	1.49
4	4	167	155.40	0.60	60	119	7.12	1.47
5	3	154	143.60	0.78	55	89	6.25	1.41

### 7.3.1 Altura de la planta

La altura de la planta se considera una variante ligada al rendimiento, por ser la estructura que soporta la inflorescencia, que a su vez contiene los granos deseados (Jaramillo, 2005); así mismo, varios autores han señalado que a mayores alturas de planta se han registrado mayores rendimientos (Morales, 2000; Beltrán, 2005).

Como se muestra en la gráfica 6, la altura máxima de la planta, se registró en la terraza 1 con 168.5 cm y con diámetro intermedio de tallo de 1.01 cm, donde se encuentra la densidad máxima de siembra de *Salvia hispanica* y el mismo contenido de materia orgánica (siendo unos de los mayores valores) durante la presiembra y poscosecha. La altura mínima se registró en la terraza 5 con 143.6 cm y con diámetro de tallo de 0.78 cm, con valores intermedios de contenido de materia orgánica en presiembra y poscosecha y la menor densidad de plantas. De acuerdo Xingú *et al.* (2017), la altura de la planta de chíá oscila entre 100 y 150 centímetros, por lo que se puede decir que la planta de *Salvia hispanica* ha demostrado una respuesta favorable a la aplicación de la composta elaborada por el Sr. Bruno, comparada con reportes como los de Almendariz (2012).

Al realizar el análisis de varianza que se muestra en la tabla 14 (ver Apéndice), sí se encontraron diferencias significativas entre la altura de las 5 terrazas con un 95% ( $p > .05$ ) de confiabilidad. La prueba de rangos múltiples (Tabla 15, ver Apéndice) mostró diferencias entre las terrazas 1 que es la de mayor altura, 4 que es la altura intermedia y 5 donde se registra la menor altura.



Gráfica 6. Promedio de la altura de la planta y diámetro del tallo.

### 7.3.2 Longitud y diámetro de espigas

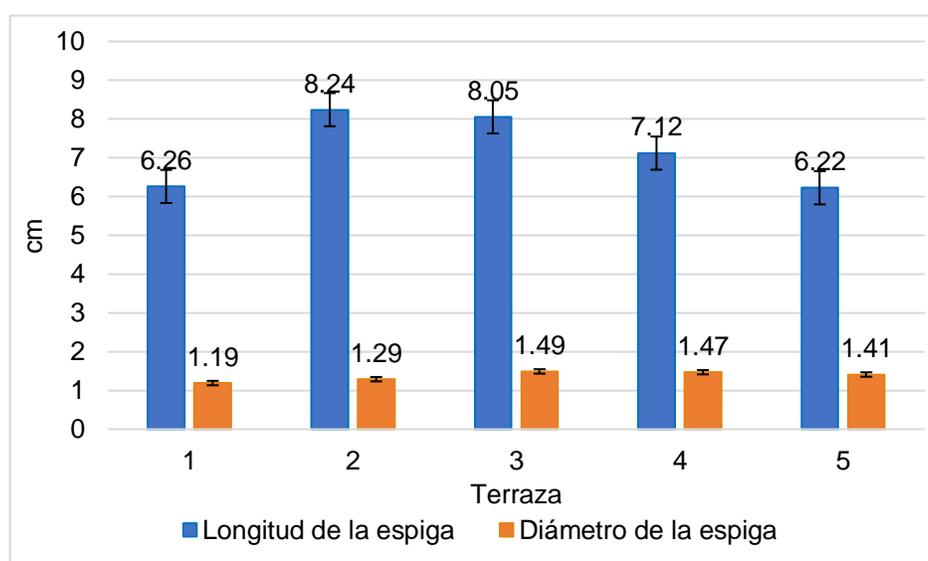
La longitud y el diámetro de la inflorescencia son de las variables más importantes a evaluar, ya que se reporta una relación directamente proporcional entre el tamaño de estas y el rendimiento (Fuentes, 1998).

Como se puede observar en la gráfica 7, las plantas con mayor longitud de espiga (8.24 cm) pero con diámetro inferior al promedio (1.37 cm) se obtuvieron a una densidad de siembra media en la terraza 2, la cual presentó bajo contenido de materia orgánica tanto en la presiembra como en la poscosecha. Mientras que la terraza 5, reportó la menor longitud de espiga con 6.26 cm y diámetro de tallo intermedio (1.41 cm) (Gráfica 7), además de las plantas de menor tamaño y la menor densidad de siembra.

Al realizar el análisis de varianza para la longitud de la espiga que se muestra en la tabla 16 (ver Apéndice), se encontraron diferencias significativas con un nivel de confianza al 95% ( $p < 0.5$ ). La prueba Tukey (tabla 17, ver Apéndice) mostró

diferencias entre la terraza 2 que registró la mayor longitud y las terrazas 1 y 5, donde se obtuvieron las longitudes menores.

El análisis de varianza del diámetro de la espiga que se muestra en la tabla 18 (ver Apéndice), se encontró que existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 5 terrazas, con un nivel del 95.0% de confianza ( $p < 0.5$ ). La prueba Tukey (Tabla 19, ver Apéndice) para el perímetro de la espiga, muestra que estas diferencias significativas se encuentran entre las terrazas 3, 4, 5 y 2 y las terrazas 1 y 2, siendo las que registraron el menor diámetro de la espiga.



Gráfica 7. Promedio por terraza de la longitud y diámetro de la espiga.

### 7.3.3 Número de ramas y número de espigas

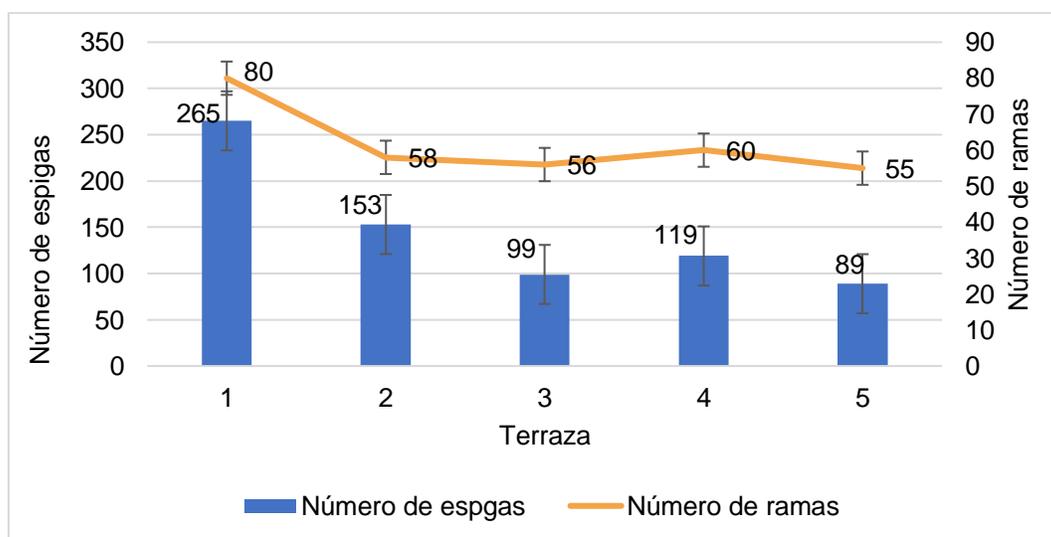
La importancia de esta variable, número de espigas, está directamente vinculado al número de ramas producidas por planta debido a que estas se originan en las yemas o ápices terminales de las mismas (Fuentes, 1998).

En la gráfica 8, se muestran los promedios del número de ramas y espigas por mata en cada terraza, donde se observa que la terraza 1 obtuvo el mayor número de espigas (265) y ramas (80) por mata con la mayor densidad de siembra, en plantas de gran tamaño. El menor número de ramas (89) y espigas (55) por mata se obtuvo

en la terraza 5, en plantas de tamaño pequeño (Gráfica 4) y con la densidad de siembra mínima.

Al realizar el análisis de varianza que se muestra en la tabla 20 (ver Apéndice) se encontró que sí existen diferencias significativas con un nivel de confianza del 95% ( $p < 0.5$ ) en el promedio de número de espigas por mata entre las terrazas. La prueba de rangos múltiples (Tabla 21, ver Apéndice) mostró que estas diferencias se encuentran entre la terraza 1 y el resto de ellas.

En el análisis de varianza para el número de ramas que se muestra en la tabla 22 (ver Apéndice) mostro que si existen diferencias significativas con un nivel de confianza del 95% ( $p < 0.5$ ). La prueba Tukey (Tabla 23, ver Apéndice) reveló que estas diferencias se encuentran entre la terraza 1 y el resto de ellas.



Gráfica 8. Número de ramas y espigas por mata.

## 7.4 Rendimiento

En este estudio se compararon los rendimientos del policultivo fertilizado con composta con respecto a los valores reportados en estudios anteriores, encontrándose que los rendimientos de las terrazas experimentales fueron mayores a los valores reportados en estudios anteriores.

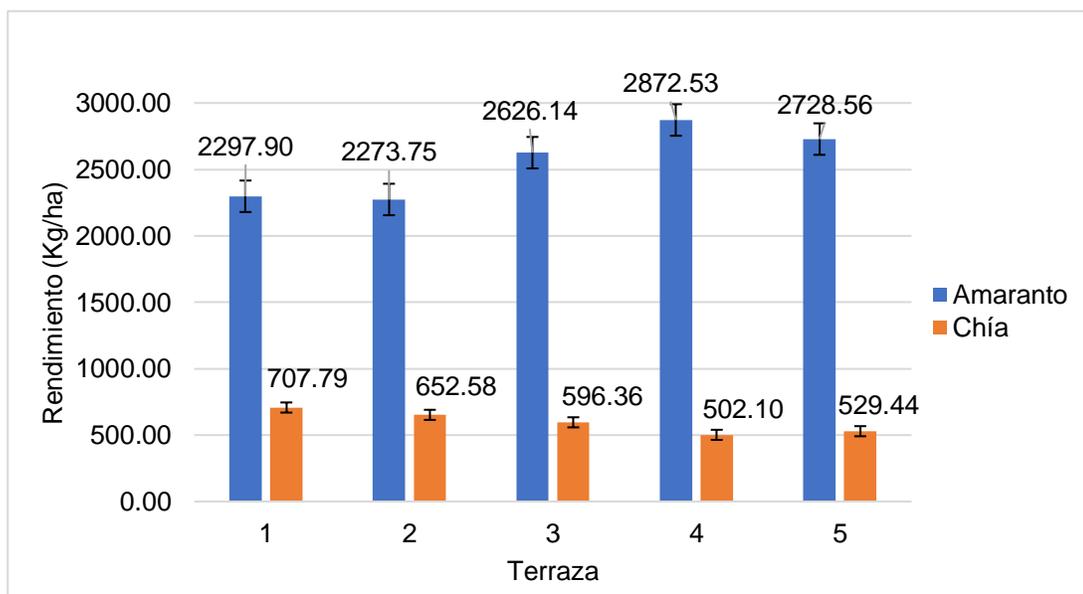
Como se muestra en la gráfica 9, la terraza 4 registró el mayor rendimiento de amaranto (2872.53 Kg/ha) con plantas de tamaño medio y panojas grandes, a pesar de poseer el menor contenido de materia orgánica en presiembra y poscosecha. El menor rendimiento de amaranto (2273.75 Kg/ha) se obtuvo en la terraza 2, con plantas altas y panojas de tamaño medio, y contenidos medios a bajos de materia orgánica en presiembra y poscosecha, respectivamente. Considerando que el rendimiento promedio del amaranto a nivel estatal es de 1700 Kg/ha (Corona y Jaramillo, 2018), este estudio logra superar la estadística usando composta como fertilizante.

En el caso de la chía, como se observa en la gráfica 9, el mayor rendimiento se obtuvo en la terraza 1 (707.79 Kg/ha), con la mayor densidad de siembra, plantas grandes y el número máximo de ramas-espigas, a pesar de poseer las espigas de menor tamaño. El menor rendimiento se obtuvo en la terraza 4 (502.10 Kg/ha) (Gráfica 9) con una densidad de siembra intermedia, en plantas de tamaño medio, con un número de ramas-espigas cercano al promedio, por lo que se puede decir que el rendimiento de la chía se ve favorecido por plantas altas y el número de ramas-espigas, sin importar el tamaño de éstas últimas.

Considerando que el mayor rendimiento obtenido de chía en este estudio fue de 707.79 Kg/ha y no se logra alcanzar el rendimiento promedio a nivel estatal (800 Kg/ha) (SIAP, 2018), se debe tener en cuenta que es cercano, además de que se obtienen rendimientos de monocultivo en calidad de policultivo.

En términos de policultivo, el menor rendimiento de chía se obtuvo con el mayor para amaranto (terrazza 4) y el mayor rendimiento de chía se ubicó con uno de los menores rendimientos de amaranto (terrazza 1), indicando una relación inversa.

Cabe mencionar que la densidad de siembra afecta este rendimiento a partir de 5 plantas por mata, ya que como se puede observar en la gráfica 9, el mayor rendimiento de chía es proporcionado por la mayor densidad, la densidad media (4 plantas por mata) ocupa el segundo (terracea 2) y el último lugar (terracea 4) en rendimiento; si bien la terracea 3 y 5 obtuvieron rendimientos de medios a bajos, respectivamente, no se vio afectado por la densidad, sino por el número de ramas-espigas (representando los valores más bajos).



Gráfica 9. Rendimiento del policultivo.

## CONCLUSIONES

La densidad aparente, densidad real, porosidad, pH y contenido de materia orgánica mostraron cambios en el periodo presiembra-poscosecha, siendo este último, el parámetro con el cambio más notable. El color y la textura no mostraron cambios durante el mismo periodo.

El contenido de materia orgánica en la presiembra, no reflejó repercusiones en el rendimiento del policultivo. Se registró aumento en el contenido de materia orgánica en todas las terrazas, incluso después de la poscosecha.

El mayor rendimiento de amaranto se obtiene con plantas de altura superiores a los 167.50 cm, panojas de longitud superior a los 30 cm y diámetro de panoja superior a 38 cm.

El menor rendimiento del cultivo de amaranto refleja plantas de tamaño pequeño, es decir, alturas inferiores a 160 cm, donde se puede observar que el tamaño de la inflorescencia es directamente proporcional a la altura de la planta.

El mayor rendimiento de chíca se obtiene con plantas de altura superior a 167 cm, más de 80 ramificaciones y densidades de siembra superiores a 30 plantas por m<sup>2</sup>

El menor rendimiento de chíca se obtiene con alturas inferiores a los 155 cm, menos de 60 ramas y 118 espigas. El rendimiento no se ve afectado por el tamaño de la espiga, si no por el número de ramificaciones y, por lo tanto, el número de espigas.

La densidad de siembra es determinante para establecer una relación inversa en el rendimiento de ambos cultivos.

Se recomienda aplicar dos dosis de fertilizante: la primera a los 30 días posteriores a la siembra con la dosis recomendada para amaranto (150 Kg/ha) y una segunda aplicación entre las etapas fenológicas 7 (cambios en la fruta) y 8 (maduración) de *Salvia hispanica*.

## APÉNDICE

Tabla 7. ANOVA altura de la planta de amaranto.

FUENTE	GL	SC AJUST.	MC AJUST.	VALOR F	VALOR P
<b>FACTOR</b>	4	3787	946.8	3.85	0.009
<b>ERROR</b>	45	11056	245.7		
<b>TOTAL</b>	49	14843			

Tabla 8. Prueba Tukey para altura de la planta en amaranto.

FACTOR	N	MEDIA	AGRUPACIÓN	
<b>TERRAZA 2</b>	10	182.80	A	
<b>TERRAZA 1</b>	10	180.70	A	
<b>TERRAZA 4</b>	10	167.50	A	B
<b>TERRAZA 3</b>	10	167.50	A	B
<b>TERRAZA 5</b>	10	159.90		B

Tabla 9. ANOVA para longitud de la panoja de amaranto.

FUENTE	GL	SC AJUST.	MC AJUST.	VALOR F	VALOR P
<b>FACTOR</b>	4	567.7	141.92	3.32	0.018
<b>ERROR</b>	45	1921.6	42.70		
<b>TOTAL</b>	49	2489.3			

Tabla 10. Prueba Tukey para longitud de la panoja de amaranto.

FACTOR	N	MEDIA	AGRUPACIÓN	
<b>TERRAZA 1</b>	10	75.20	A	
<b>TERRAZA 4</b>	10	73.20	A	B
<b>TERRAZA 3</b>	10	70.40	A	B
<b>TERRAZA 2</b>	10	70.40	A	B
<b>TERRAZA 5</b>	10	65.20		B

Tabla 11. ANOVA para diámetro de la panoja de amaranto.

FUENTE	GL	SC AJUST.	MC AJUST.	VALOR F	VALOR P
<b>FACTOR</b>	4	142.3	35.57	2.06	0.102
<b>ERROR</b>	45	777.0	17.27		
<b>TOTAL</b>	49	919.3			

Tabla 12. Prueba Tukey para diámetro de la panoja de amaranto.

FACTOR	N	MEDIA	AGRUPACIÓN
TERRAZA 4	10	38.80	A
TERRAZA 1	10	36.700	A
TERRAZA 2	10	36.20	A
TERRAZA 5	10	35.20	A
TERRAZA 3	10	33.70	A

Tabla 14. ANOVA para la altura de la planta de chíá.

FUENTE	GL	SC AJUST.	MC AJUST.	VALOR F	VALOR P
FACTOR	4	4282	1070.6	3.43	0.016
ERROR	45	14026	311.7		
TOTAL	49	18308			

Tabla 15. Prueba Tukey para altura de la planta de chíá.

FACTOR	N	MEDIA	AGRUPACIÓN	
TERRAZA 1	10	168.50	A	
TERRAZA 3	10	167.00	A	
TERRAZA 4	10	155.40	A	B
TERRAZA 2	10	153.10	A	B
TERRAZA 5	10	143.60		B

Tabla 16. ANOVA para la longitud de espiga de chíá.

FUENTE	GL	SC AJUST.	MC AJUST.	VALOR F	VALOR P
FACTOR	4	36.51	9.1281	12.13	0.000
ERROR	45	33.86	0.7525		
TOTAL	49	70.38			

Tabla 17. Prueba Tukey para la longitud de espiga de chíá.

FACTOR	N	MEDIA	AGRUPACIÓN		
TERRAZA 2	10	8.240	A		
TERRAZA 3	10	8.055	A	B	
TERRAZA 4	10	7.120		B	C
TERRAZA 1	10	6.260			C
TERRAZA 5	10	6.225			C

Tabla 18. ANOVA para el diámetro de la espiga de chíá.

<b>FUENTE</b>	<b>GL</b>	<b>SC AJUST.</b>	<b>MC AJUST.</b>	<b>VALOR F</b>	<b>VALOR P</b>
<b>FACTOR</b>	4	0.6423	0.16058	5.88	0.001
<b>ERROR</b>	45	1.2285	0.02730		
<b>TOTAL</b>	49	1.8708			

Tabla 19. Prueba Tukey para el diámetro de la espiga de chíá.

<b>FACTOR</b>	<b>N</b>	<b>MEDIA</b>	<b>AGRUPACIÓN</b>	
<b>TERRAZA 3</b>	10	1.4950	A	
<b>TERRAZA 4</b>	10	1.47000	A	
<b>TERRAZA 5</b>	10	1.4100	A	
<b>TERRAZA 2</b>	10	1.2900	A	B
<b>TERRAZA 1</b>	10	1.1950		B

Tabla 20. ANOVA para el número de espigas por mata de chíá.

<b>FUENTE</b>	<b>GL</b>	<b>SC AJUST.</b>	<b>MC AJUST.</b>	<b>VALOR F</b>	<b>VALOR P</b>
<b>FACTOR</b>	4	203945	50986	8.87	0.000
<b>ERROR</b>	45	258644	5748		
<b>TOTAL</b>	49	462589			

Tabla 21. Prueba Tukey para el número de espigas por mata de chíá.

<b>FACTOR</b>	<b>N</b>	<b>MEDIA</b>	<b>AGRUPACIÓN</b>	
<b>TERRAZA 1</b>	10	265.0	A	
<b>TERRAZA 2</b>	10	153.2		B
<b>TERRAZA 4</b>	10	118.8		B
<b>TERRAZA 3</b>	10	99.00		B
<b>TERRAZA 5</b>	10	89.1		B

Tabla 22. ANOVA para el número de ramas por mata de chíá.

<b>FUENTE</b>	<b>GL</b>	<b>SC AJUST.</b>	<b>MC AJUST.</b>	<b>VALOR F</b>	<b>VALOR P</b>
<b>FACTOR</b>	4	4212	1053.1	4.57	0.003
<b>ERROR</b>	45	10364	230.3		
<b>TOTAL</b>	49	14576			

Tabla 23. Prueba Tukey para el número de ramas por mata de chía.

<b>FACTOR</b>	<b>N</b>	<b>MEDIA</b>	<b>AGRUPACIÓN</b>	
<b>TERRAZA 1</b>	10	79.50	A	
<b>TERRAZA 4</b>	10	59.20		B
<b>TERRAZA 2</b>	10	57.60		B
<b>TERRAZA 3</b>	10	56.10		B
<b>TERRAZA 5</b>	10	54.60		B

## REFERENCIAS

- Almendáriz, P. E. (2012). *Evaluación agronómica del cultivo de Chía (Salvia Hispánica L.) con dos densidades de siembra y tres tipos de fertilizante orgánico, en San Pablo de Atenas, provincia Bolívar*. (Tesis de pregrado). Universidad Estatal de Bolívar. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Escuela de Ingeniería Agronómica. Guaranda, Ecuador. 85 p.
- Altieri, M. A. (1983). *The question of small development: who teaches whom?* Agric. Ecosyst. Environ. 9: pp. 40-405.
- Barrales, D. J. S. y Torres H. L. (1998). *Capacidad de reventado del grano de amaranto (Amaranthus hypochondriacus L.) producido en dos ambientes de temporal*. Rev. Chapingo Serie Horticultura 4 (1). pp. 63-66.
- Beltrán, S. J.A. (2005). *Producción de amaranto Amaranthus hypochondriacus L. fertilizado con gallinaza en Huazulco, Morelos*. (Tesis de pregrado). Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Cuernavaca, Morelos, México. 48 p.
- Bouwman, A. y Langdon, R. (1984). *Manual of soil conservation practices*. Recuperado de: <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=XF19850057836>
- Brandán, J. P., Curti, R. N., y Acreche, M. M. (2019). *Phenological growth stages in chia (Salvia hispanica L.) according to the BBCH scale*. Scientia Horticulturae 255: pp. 292-297.
- Campos, I. L. (1999). *Perfil bromatológico de semilla de Amaranthus hypochondriacus bajo diferentes tipos de fertilización orgánica*. (Tesis de pregrado). Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Cuernavaca, Morelos, México. 48 p.
- Chagaray, A. (2005). *Estudio de factibilidad del cultivo de amaranto*. Dirección Provincial de Programación del Desarrollo. Ministerio de Producción y Desarrollo. Gobierno de la Provincia de Catamarca. pp. 1-28.

- CONABIO. (2019). *Chía*. Biodiversidad mexicana. Recuperado de: <https://www.biodiversidad.gob.mx/usos/alimentacion/chia.html>
- Corona, G. N. A. y Jaramillo, V. J. L. (2018). *Rentabilidad económica y agregación de valor del cultivo de amaranto (Amaranthus spp.) en Tochimilco, Puebla, México*. *Agroproductividad*, 11(7). pp. 94-96.
- Cruz, V. L., Ocampo, I. F., Juárez, J. P., Argumedo, A., y Castañeda, E. (2018). *Modo de apropiación de la naturaleza en las unidades de producción campesinas de amaranto y maíz en Tochimilco, Puebla, México*. *Nova scientia*, 10(20), pp. 727-753.
- De Tapia, E. M. (2016). *El origen de la agricultura*. *Arqueología Mexicana* núm. 120. pp. 36-41.
- DOF. (2001). NOM-021-RECNAT-2000. Estados Unidos Mexicanos.
- FAO. (1994). ECOCROP 1. *The adaptability level of the FAO crop environmental requirements database*. Versión 1.0. AGLS. United Nations Food and Agriculture Organization (FAO). Rome, Italy
- Félix, H. J. A., Sanduño, T. R. R., Rojo, M. G. E., Martínez, R. R. y Olalde, P. V. (2008). *Importancia de los abonos orgánicos*. *Ra Ximhai* Vol. 4. Número 1. pp. 57-67.
- FIDA, RUTA, CATIE, FAO. (2003). *Memoria del Taller Agricultura Orgánica: una herramienta para el desarrollo rural sostenible y la reducción de la pobreza*. Turrialba, Costa Rica. pp. 12-60.
- Francis, C. A. (1986). *Multiple Cropping Systems*. New York: MacMillan. 383 p.
- Francis, C. A., C. A. Flor, y S. R. Temple. (1976). *Adapting varieties for intercropped systems in the tropics* In: *Multiple Cropping*. R. I. Papendick, P. A. Sanchez, and G. B. Triplett, eds. Wisconsin: Publ. 27. Amer. Soc. Agron. pp. 235-254.
- Fuentes, J. L. Y. (1998). *Botánica agrícola*. 5a ed. Madrid, España. Mundi-prensa. 315 p.
- García, A. J. M. y De La Cruz, T. E. (2016). *Las chías de México*. ININ. Contacto nuclear, pp. 14-18.

- Gómez, J. A. H., y Colín, S. M. (2008). *Caracterización morfológica de chía (Salvia hispanica)*. Revista Fitotecnia Mexicana, 31(2). pp. 105-113.
- Gómez, M. Á. C., Schwentesius, R. R., Ortigoza, J. R., y Gómez, L. T. (2010). *Situación y desafíos del sector orgánico de México*. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 1(4). pp. 593-608.
- Harwood, R. R. (1979). *Small Farm Development Understanding and Improving Farming Systems in the Humid Tropics*. Boulder: Westview Press. 160 p.
- Henderson, T. L. (1993). *Agronomic evaluation of grain amaranth in North Dakota* (Thesis Ph. D.). North Dakota State, USA. p. 23.
- IFA. (1992). *World Fertilizer use Manual*. París. 632 p. Recuperado de: <http://www.fertilizer.org>
- INAFED. (2019). *Enciclopedia de los municipios y delegaciones de México*. Recuperado de: <http://siglo.inafed.gob.mx/enciclopedia/EMM21puebla/municipios/21188a.html>
- INDESOL. (2014). *Manual para la producción de amaranto, cultivo, cosecha y post cosecha*. Programa eco-amaranto. Oaxaca, México. p. 12.
- INEGI. (2009). *Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos Tochimilco*. Puebla. 9 p.
- Jamboonsri, W.; T. Phillips; R. Geneve; J. Cahill and D. Hildebrand. (2012). *Extending the range of an ancient crop, Salvia hispanica L. a new w3 source*. Genet. Resour.Crop.Evol. 59: pp. 171 – 178.
- Jamshidi, A. M., Amato, M., Ahmadi, A., Bochicchio, R., & Rossi, R. (2019). *Chia (Salvia hispanica L.) as a novel forage and feed source: A review*. Italian Journal of Agronomy, 14(1).
- Jaramillo, S. F. (2005). *Estudio energético de la producción de amaranto (Amaranthus hypochondriacus L.) con la aplicación de gallinaza como fuente de nitrógeno en Amilcingo, Morelos*. (Tesis de pregrado). Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Cuernavaca, Morelos, México. 49 p.

- Jordán, V. L. M. (2015). *Alimentos orgánicos certificados en la ciudad de La Paz, Baja California Sur: estudio de caso*. (Tesis de pregrado). Universidad Autónoma De Baja California Sur. La Paz, Baja California Sur. pp. 1-17.
- Kolmans, E. y Vásquez, D. (1999). *Manual de Agricultura Ecológica. Una introducción a los principios básicos y su aplicación*. Grupo de Agricultura Orgánica Asociación Cubana de Técnicos Agrícolas y Forestales. pp. 4-136.
- López, A. J. (2005). *Manual de edafología*. Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química. Agrícola de la Universidad de Sevilla. pp 91-124.
- López, A. L, y Alonso, J. A. A. (2019). *El resurgimiento de la planta Amaranthus spp. como cultivo potencial para la nutrición humana*. RD- ICUAP: Compartiendo ciencia. Año 5, N° 1. 16 p.
- Mapes, C., Caballero, J., Espitia, E. y Bye, R. (1996). *Morphophysiological variation in some Mexican species of vegetable Amaranthus: Evolutionary tendencies under domestication*. Journal of Genetic Resources and Crop Evolution, 43. pp. 283-290.
- Morales, O. E. (2000). *Evaluación de la fertilización orgánica e inorgánica en el cultivo del amaranto en dos fechas de siembra en Cuernavaca, Morelos*. (Tesis de pregrado). Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Cuernavaca, Morelos, México. 49 p.
- Moreno, V. M.; Yáñez, M. M. J.; Rojas, M. M. J.; Zavala, M. R. I.; Trinidad, A. E. S. y Arellano, V. J. L. (2005). *Diversidad de hongos en la semilla de amaranto (Amaranthus hypochondriacus L.) y su caracterización molecular*. Rev. Mex. Fitopatol, 23. pp.111-118.
- Oliver, R. G. M.; Taboada, S. E., Morales, M.; Rojas, M. (2000). *Producción de amaranto con fertilización orgánica en Axochiapan, Morelos*. México 30° Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Veracruz, Veracruz. pp 25-29.
- Olufolaji, A.O., F.O. Odeleye, and O.D. Ojo. (2010). *Effect of soil moisture stress on the emergence, establishment and productivity of Amaranthus (Amaranthus cruentus L.)*. Agriculture and Biology of North America, 1(6): pp. 1169-1181.

- OMS. (1999). *El Codex Alimentarius*. Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación. Roma. 38 p.
- Palerm, Á. (1992). *Sistemas agrícolas en Mesoamérica contemporánea. Guía y lecturas para una primera práctica de campo*. México. Universidad Autónoma de Querétaro. pp 241-281.
- Pérez, J. M. S., y Juan, I. P. (2013). *Caracterización y análisis de los sistemas de terrazas agrícolas en el Valle de Toluca, México*. Agricultura, sociedad y desarrollo, 10(4). pp. 397-418.
- Pérez, L. J. C., Tornero, M. A. C., Escobedo, J. S. G., y Sandoval, E. C. (2017). *El chile poblano criollo en la cultura alimentaria del Alto Atoyac*. Estudios sociales (Hermosillo, Son.), 27(49), pp. 47-66.
- Pérez, T. B. C., Aragón, G. A., Pérez, A. R., Hernández, L. R., y López, O. J. F. (2011). *Estudio entomofaunístico del cultivo de amaranto (*Amaranthus hypochondriacus* L.) en Puebla México*. Revista mexicana de ciencias agrícolas, 2(3). pp. 359-371.
- Porta, C. J., López, R. M. A., y Roquero, D. L. C. (2003). *Edafología: Para la agricultura y el medio ambiente* (3a. ed.). Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 960 p.
- Reyna T., T. (1986). *Requerimientos climáticos para el cultivo del amaranto en México*. Memorias del primer seminario Nacional del amaranto. Colegio de postgraduados. Chapingo, México. pp. 81-89.
- Rojas, M. M. (2000). *Efecto de la fertilización orgánica en el rendimiento del cultivo de amaranto *Amaranthus hypochondriacus* L. en el campo experimental de la UAEM*. (Tesis de pregrado). Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Facultad de Ciencias Biológicas. Cuernavaca, Morelos. 45 p.
- Román, P., Martínez, M. M. y Pantoja, A. (2013). *Manual de compostaje del agricultor*. Experiencias en América Latina. Chile: FAO. pp. 13-67.
- Romero, R. C. O.; Ocampo, M. J.; Navarro, G. H.; Sandoval, C. E.; Calderón, S. F.; Franco, M. O. (2018). *Amaranto y el uso de pesticidas: caso Tochimilco, Puebla*. Memorias del primer congreso mundial de amaranto. Cholula, Puebla, México. pp 243-246.

- Ruthenberg, H. (1971). *Systems with perennial crops. his Farming Systems in the Tropics* (New York: diarendon Press).
- SAGARPA. (2017). *Planeación Agrícola Nacional 2017-2030*. pp. 32-39.
- SIAP. (2017). *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola*. Recuperado de: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- SIAP. (2018). *Atlas Agroalimentario 2012-2018*. Ciudad de México: SIAP. 206 p.
- Taboada, M.A. y Álvarez, C.R. (2008). *Introducción a la fertilidad física*. En: MA Taboada, CR Álvarez (Eds). *Fertilidad física de los suelos*. Editorial Facultad de Agronomía: pp. 1-8.
- Téllez, C., J. M., Aragón, A. G., Pérez, B. C. T., Nava, C. D., y Molina, A. M. (2018). *Entomofauna asociada al cultivo de chía (Salvia Hispanica L.) en San Lucas Tulcingo, Tochimilco, Puebla, México*. *Entomología mexicana*, 5: pp. 358-361.
- Thompson, L. M. y Troeh, F. R. (2002). *Los suelos y su fertilidad*. Editorial Reverté S.A. Cuarta Edición. pp. 75-85.
- Trinidad, S. A.; Gómez, L. F. y Suárez, R. G. (1990). *El amaranto (Amaranthus spp.) su cultivo y aprovechamiento*. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. México. 577 p.
- Xingú, A. L., González, A. H., Cruz, E. D. L. T., Sangerman, D. M. J., Orozco, G. de R., y Rubí, M. A. (2017). *Chía (Salvia hispanica L.) situación actual y tendencias futuras*. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 8(7), pp. 1619-1631.



FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

Licenciatura en Biología

Programa Educativo de Calidad Acreditado por el CACEB 2018-2023

Cuernavaca, Morelos a 25 de enero de 2021

**DRA. DULCE MARÍA ARIAS ATAIDE**  
**DIRECTORA GENERAL DE SERVICIOS ESCOLARES**  
**P R E S E N T E.**

Por este conducto, los catedráticos suscritos comunicamos a Usted, que hemos revisado el documento que presenta la Pasante de Biólogo: **Karen Piñón Acosta**, con el título del trabajo: **EVALUACIÓN DEL EFECTO DE COMPOSTA SOBRE EL RENDIMIENTO DEL POLICULTIVO AMARANTO (*Amaranthus hypochondriacus* L.)-CHÍA (*Salvia hispanica* L.) BAJO SISTEMA DE TERRAZAS EN TOCHIMILCO, PUEBLA, MÉXICO.**

En calidad de miembros de la comisión revisora, consideramos que el trabajo reúne los requisitos para optar por la Modalidad de Titulación de **Trabajo de Desarrollo Profesional por Etapas**, como lo marca el artículo 33º del Reglamento de Titulación Profesional vigente de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos.

**ATENTAMENTE**  
*Por una humanidad culta*

**JURADO REVISOR**

**FIRMA**

PRESIDENTE: M. EN M. R. N. DENISSE ACOSTA PEÑALOZA

\_\_\_\_\_

SECRETARIO: DR. ISAAC TELLO SALGADO

\_\_\_\_\_

VOCAL: DR. ROGELIO OLIVER GUADARRAMA

\_\_\_\_\_

SUPLENTE: M. EN C. MARÍA IDALIA CUEVAS SALGADO

\_\_\_\_\_

SUPLENTE: M. EN C. MARÍA EUGENIA BAHENA GALINDO

\_\_\_\_\_

