



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPER-IORES CUATITLÁN**

---

---

**Determinación del periodo crítico de  
competencia con maleza del cultivo de  
amaranto en Cuautitlán Izcalli, Estado de  
México**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
INGENIERO AGRÍCOLA**

**P R E S E N T A:**  
**MARIO LONGINOS JUÁREZ**  
**ASESOR: M. en C. SELENE MARIANA  
SANCHEZ MENDOZA**

**CUAUTITLÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO, 2019**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN  
SECRETARÍA GENERAL  
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES CUAUTITLÁN

ASUNTO: VOTO APROBATORIO

M. en C. JORGE ALFREDO CUÉLLAR ORDAZ  
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN  
PRESENTE

ATN: I.A. LAURA MARGARITA CORTAZAR FIGUEROA  
Jefa del Departamento de Exámenes Profesionales  
de la FES Cuautitlán.

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el: Trabajo de Tesis

Determinación del periodo crítico de competencia con maleza del cultivo de amaranto en Cuautitlán Izcalli, Estado de México

Que presenta el pasante: MARIO LONGINOS JUÁREZ

Con número de cuenta: 30929082-5 para obtener el Título de la carrera: Ingeniería Agrícola

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE

“POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU”

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 04 de abril de 2019.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	Dr. Joob Anastacio Zaragoza Esparza	
VOCAL	M.C. Oscar Horacio Guillén Ayala	
SECRETARIO	M.C. Selene Mariana Sánchez Mendoza	
1er. SUPLENTE	Ing. Asunción Martínez Vázquez	
2do. SUPLENTE	M.I. Martha Elena Domínguez Hernández	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 127).

LMCF/ntm\*

## **Agradecimientos**

*A Dios Mi Patria La Universidad y Mi Familia.*

## **Dedicatoria**

A Dios sin el nada con el todo.

A mis padres que son mi motor y apoyo en esta vida.

A la Universidad Nacional Autónoma de México que me dio los conocimientos y herramientas para afrontar la vida adulta.

A mis profesores, sinodales y mi asesora por el tiempo y el aprendizaje obtenido a lo largo de esta carrera.

**“Alguien sin sueño propios no tiene derecho a burlarse de los sueños ajenos”**

**-Eiichiro Oda**

## Contenido

Índice de figuras.....	i
Índice de tablas.....	ii
Resumen .....	1
I. Introducción.....	2
II. Objetivo e Hipótesis.....	4
2.1. Objetivo .....	4
2.2. Hipótesis.....	4
III. Revisión de literatura.....	5
3.1. Importancia de la maleza en la agricultura .....	5
3.2. Competencia cultivo-maleza .....	8
3.3. Periodo crítico de competencia con maleza y su importancia en la agricultura .....	10
3.3.1. Cultivo de amaranto.....	11
3.3.2. Importancia económica y regional del Amaranto .....	15
3.3.3. Importancia cultural .....	19
3.3.4. Importancia nutrimental .....	21
3.3.5. Características generales del cultivo .....	23
IV. Materiales y Métodos .....	33
4.1. Descripción de la zona de estudio .....	33
4.2. Tipo de clima y variables meteorológicas .....	33
4.3. Geología y tipos de suelo .....	34
4.4. Vegetación.....	34
4.5. Preparación del terreno .....	34
4.6. Diseño experimental .....	34

4.7. Manejo de Cultivo .....	35
4.8. Toma y análisis de los datos.....	37
V. Resultados y Discusión.....	38
5.1. Manejo agronomico .....	38
5.2. Comunidad de arvenses .....	39
5.3. Altura de la planta.....	40
5.4. Diámetros de la planta .....	41
5.5. Biomasa Total.....	43
5.5. Periodo crítico de competencia en el cultivo de amaranto .....	45
V. Conclusiones .....	47
VI. Bibliografía.....	48



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Factores determinantes de la competencia Arvenses-Cultivo. ....	9
Figura 2. Rendimiento de frijol en relación con el periodo crítico de competencia. ....	11
Figura 3. Distribución geográfica del género <i>Amaranthus</i> en México. ....	13
Figura 4. Distribución geográfica de <i>A. hypochondriacus</i> en México. ....	15
Figura 5. Superficie sembrada vs Producción de amaranto entre 1990 y 2015. ....	17
Figura 6. Superficie sembrada vs Valor Producción de amaranto entre 1990 y 2015. ....	18
Figura 7. Rendimiento medio por hectárea anual del cultivo de amaranto entre 1990 y 2015. ....	19
Figura 8. Cultivo de amaranto en la época prehispánica. ....	20
Figura 9. Plantas de <i>Amaranthus hypochondriacus</i> . ....	24
Figura 10. Diversidad de formas en el tallo de amaranto. ....	25
Figura 11. Disposición de las hojas de amaranto. ....	26
Figura 12. Inflorescencia de amaranto. ....	27
Figura 13. Pixidio unilocular de amaranto. ....	27
Figura 14. Micrografía del grano de amaranto. ....	28
Figura 15. Ubicación espacial del Municipio de Cuautitlán Izcalli. ....	33
Figura 16. Lote experimental a los 18 días de iniciado el ensayo. ....	36
Figura 17. Lote experimental a los 34 días de iniciado el ensayo. ....	36
Figura 18. Primeras plantas emergidas (izquierda). Vista parcial del periodo de emergencia (derecha). ....	38
Figura 19. Cosecha y toma de datos. ....	38
Figura 20. Diferencia de medias por tratamiento para la variable altura de planta de amaranto. ....	41
Figura 21. Diferencia de medias por tratamiento para las variables diámetro de tallo basal y medio. ....	42
Figura 22. Diferencia de medias entre tratamientos sin maleza para la variable biomasa total. ....	44
Figura 23. Periodo crítico de competencia en el cultivo de amaranto. ....	45

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Razones por las cuales llamar maleza a una planta. ....	6
Tabla 2. Usos del amaranto y sus especies. ....	13
Tabla 3. Quelites del género <i>Amaranthus</i> reportados en México. ....	14
Tabla 4. Valor nacional de la producción de amaranto entre 1990 y 2015. ....	16
Tabla 5. Rendimiento promedio decenal nacional del cultivo de amaranto entre 1990 y 2016. ....	19
Tabla 6. Rendimiento promedio decenal por estado del cultivo de amaranto entre 1990 y 2016. ....	19
Tabla 7. Comparación nutricional del amaranto con respecto a otros cereales. ...	21
Tabla 8. Composición química de la semilla de amaranto. ....	22
Tabla 9. Contenido nutricional en amaranto. ....	23
Tabla 10. Clasificación taxonómica del amaranto. ....	24
Tabla 11. Diseño de tratamientos para la determinación del PCC con maleza del cultivo de amaranto en Cuautitlán Izcalli, Estado de México. ....	35
Tabla 12. Especies de arvenses registradas en el cultivo de amaranto en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán Izcalli. ....	39
Tabla 13. ANOVA, altura de amaranto. ....	40
Tabla 14. ANOVA, diámetros de amaranto. ....	41
Tabla 15. ANOVA, biomasa total de amaranto. ....	43
Tabla 16. Periodo máximo y mínimo de competencia con maleza que causan reducción en la biomasa del cultivo de amaranto calculados a partir de las ecuaciones de regresión generadas. ....	47

## RESUMEN

En este trabajo se presenta un informe analítico del periodo crítico de competencia con maleza en el cultivo de amaranto, cuyo ensayo experimental se realizó en una parcela experimental de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, campo 4, UNAM, en el municipio de Cuautitlán Izcalli, Estado de México. El cultivar Cuapiaxtla de la especie de *Amaranthus hypochondriacus* L. se sometió a diferentes periodos de competencia con maleza —desde cero hasta 126 días— después de la siembra. Las variables estudiadas fueron diámetro basal, diámetro medio, altura y biomasa total. En la variable altura, no se registraron diferencias estadísticas significativas ( $P= 0.067$ ) por efecto de los tratamientos estudiados. Para las variables diamétricas y biomasa total, el análisis de varianza registró diferencias significativas ( $P=0.0003$ ) y ( $P<.0001$ ) por efecto de los tratamientos; el mayor diámetro se registró cuando el cultivo estuvo libre de competencia durante 108 días. La acumulación de biomasa disminuyó conforme aumentó el periodo de competencia con maleza, hasta llegar a una reducción del 82% al sostener la competencia durante 126 días. El periodo crítico de competencia del amaranto es en las primeras 7 semanas o de los 0 a los 50 días después de la siembra.

## I. INTRODUCCIÓN

El periodo crítico de competencia (PCC) ha sido definido por diferentes autores como el lapso donde es crucial mantener al cultivo de interés libre de competencia para evitar reducciones significativas en el rendimiento (Barreyro y Sánchez-Vallduvi, 2002; Robles *et al.*, 2005; Blanco-Valdés y Leyva-Galán, 2011). Generalmente se tolera un 5% de pérdidas en el rendimiento (Knezevic, *et al.*, 2002) por lo que su determinación se ha propuesto como la única vía eficiente para establecer métodos de manejo de arvenses durante el tiempo que requiera el cultivo.

El PCC es una de las estrategias dentro del manejo integrado de malezas (MIM); de acuerdo con la FAO (2004) el uso del término “manejo” es más vigente que el término “control”. El MIM se divide en tres principales grupos de estudio: Eco-biología, Interferencia y Desarrollo de los métodos de control o manejo; el área de estudio perteneciente al PCC se encuentra dentro del grupo de Interferencia (FAO, 2004). La importancia de su estudio reside en la generación de datos propios de cada ambiente agroecológico, que permiten la planificación del manejo de malezas en el “cultivo” (Barreyro y Sánchez-Vallduvi, 2002).

El cultivo sobre el que se ha desarrollado mayor cantidad de investigaciones sobre el PCC es el maíz (Hall *et al.*, 1992; Ghosheh *et al.*, 1996; Blanco-Valdés *et al.*, 2014). También existe información documental sobre el frijol (Blanco-Valdés y Leyva-Galán, 2011), lenteja (Smitchge *et al.*, 2012), soya (Acker *et al.*, 1993), alfalfa (Dillehay *et al.*, 2011), zanahoria (Swanton *et al.*, 2010) y lechuga (Odero y Wright, 2013). No obstante, a la fecha se carecen de registros referentes a PCC en el cultivo de amaranto, aún cuando, en los últimos años, éste ha experimentado un crecimiento importante en términos de superficie sembrada y penetración en el mercado de la región del Valle de México; además de que se cultiva en siete de las 32 entidades federativas del país (Domínguez, 2014).

De acuerdo con el SIAP (2016), en el ciclo agrícola de 2016 se obtuvo una producción nacional de 6,052.41 t de amaranto en una superficie total de 4,544.70 ha, con un rendimiento promedio de 1.33 t ha<sup>-1</sup>, lo cual es una muestra de la

relevancia económica y comercial para la región, sin soslayar la importancia cultural y alimenticia de este cultivo desde época prehispánica. Con base en lo previamente expuesto, se considera necesario la determinación del PCC en amaranto en la región del Valle de México, tanto para un mayor entendimiento de los procesos biológicos implícitos en su rendimiento, como para con base en éstos proponer esquemas para el manejo de este cultivo de importancia histórica y económica en el país.

## **II. OBJETIVO E HIPÓTESIS**

### **2.1. Objetivo**

- Determinar el periodo crítico de competencia con maleza en el cultivo de amaranto (*Amaranthus hypochondriacus* L.).

### **2.2. Hipótesis**

- La biomasa acumulada por el cultivo de amaranto será menor conforme aumente el tiempo de competencia con maleza.

### III. REVISIÓN DE LITERATURA

#### 3.1. Importancia de la maleza en la agricultura

La FAO (1996) considera como una maleza a cualquier planta que crece en un lugar y momento en el que no es deseable.

No existe una definición estricta y precisa de lo que se entiende por malezas, ya que una planta puede ser perjudicial en un lugar y beneficiosa en otro. Las plantas arvenses causan un impacto negativo directo a la producción agrícola, que varía según la región y el cultivo donde se encuentren. En México las pérdidas causadas por malezas son difíciles de estimar por la falta de estadísticas, pero se acepta que es uno de los principales factores en las pérdidas agrícolas (Zita, 2012). La dificultad en la estimación probablemente radique en que el daño causado por la maleza al cultivo no puede ser cuantificado a simple vista, ni durante el desarrollo fenológico del cultivo, sino hasta el momento de la cosecha; además de que es necesaria una superficie cultivada libre de malezas para poder comparar la biomasa y el rendimiento producidos, y determinar así los efectos.

El Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agropecuaria (SENASICA), indica que por causa de las malezas se pueden observar pérdidas de un 50% del rendimiento en algunas zonas de México (SENASICA, 2015). Los daños causados por la maleza en la producción agrícola pueden ocasionarse por diferentes vías, no sólo la interferencia directa como se suele asociar; esto se debe a que las malas hierbas pueden adaptarse a un entorno competitivo y desarrollar características que le permiten especializarse, siendo relativamente superiores para competir por uno (o varios) de los recursos (Booth *et al.*, 2003).

Los daños directos por maleza se observan cuando éstas atacan directamente al cultivo. Por ejemplo, la competencia por nutrientes, agua y espacio físico de la raíz es considerada competencia directa por debajo del suelo; mientras que la competencia por cantidad de luz, espacio físico como la altura de la planta y posición de las hojas es considerada competencia directa por encima del suelo. Los daños causados por interferencia también pueden ser por la liberación de sustancias

toxicas para el cultivo como para otras malezas, fenómeno conocido como alelopatía (Booth *et al.* 2003).

En el otro extremo, como daños indirectos se puede ejemplificar su función como hospedantes alternos o reservorios de plagas y enfermedades propios del cultivo de interés, los cuales no afectan a la especie hospedante ni influyen en la liberación de olores y sustancias atrayentes para que especies herbívoras consuman a los competidores directos de la planta liberadora (Booth *et al.* 2003). Independientemente de tipo de daño (directo o indirecto) que tienen la maleza sobre el cultivo, a continuación, se enlistan y ejemplifican detalladamente las razones por las cuales llamar maleza a una planta, con base en las recomendaciones de Liebman citado por Zita, (2012) (Cuadro 1).

*Tabla 1. Razones por las cuales llamar maleza a una planta.*

Justificación	Mecanismos	Ejemplos
<b>Reducen el rendimiento de los cultivos</b>	Interfieren con la planta por la obtención de recursos como agua, luz y nutrientes.	<i>Avena fatua</i> y <i>Galium aparine</i> en cereales y <i>Poa annua</i> en pastizales.
<b>Reducen la calidad de las cosechas</b>	Contaminación de semillas para siembra y otros productos de cosecha.	<i>Sinapis arvensis</i> en canola, bayas de <i>Solanum nigrum</i> en chícharo.
<b>Retrasan la cosecha</b>	La conservación de la humedad puede retrasar la maduración e incrementar los niveles de humedad del cultivo cuando éste es cosechado.	<i>Sorghum halepense</i> en trigo.
<b>Interfieren con la cosecha</b>	Las plantas trepadoras, pueden dificultar las operaciones de cosecha. Las malezas tardías de crecimiento vigoroso, pueden interferir con la cosecha de papas y camote.	<i>Sycios deppei</i> en maíz  <i>Chenopodium álbum</i>

Fuente: Zita (2012)



Continuación Tabla 1. Razones por las cuales llamar maleza a una planta.

Justificación	Mecanismos	Ejemplos
<b>Interfieren con la alimentación animal</b>	Las plantas espinosas inhiben la alimentación animal.	<b><i>Cirsium arvense</i></b>
<b>Causan envenenamiento</b>		<b><i>Senecio jacobaea</i> <i>Digitalis purpurea</i> <i>Rhododendron ponticum</i></b>
<b>Contaminan los productos animales</b>	Les confiere sabores desagradables.	<b><i>Allium ursinum</i> <i>Ranunculus spp.</i></b>
<b>Pueden comportarse como parásitas</b>		<b><i>Cuscuta spp.</i></b>
<b>Reducen la sanidad de los cultivos</b>	Funcionan como hospedantes alternos o reservorios de plagas y enfermedades de cultivo. Al aumentar la humedad relativa del microambiente, pueden elevar la incidencia y severidad de algunas enfermedades.	<b><i>Oxalis spp.</i> es hospedante alternativo de <i>Puccinia sorghi</i>, que provoca la roya del maíz. El chayotillo es hospedante del VMP (virus del mosaico del pepino).</b>
<b>Reducen la salud de animales y humanos</b>	Actúan como hospedantes intermediarios o vehículos para la ingestión de parásitos. Provocan fotosensibilidad o efectos teratogénicos.	<b>Pastos <i>Hypericum perforatum</i> <i>Pteridium aquilinum</i></b>
<b>Son una amenaza para la seguridad</b>	Reducen la visibilidad en los caminos. Son un riesgo de incendio debajo de las líneas eléctricas.	<b>Plantas altas. Cualquier planta, pero especialmente los arbustos. <i>Schinus molle</i> <i>Cupressus sempervirens</i></b>
<b>Reducen la calidad de la lana</b>	Semillas ganchudas reducen el valor de la lana y el vellón.	<b><i>Bidens spp.</i></b>
<b>Impiden el adecuado flujo de agua</b>	Masas de plantas bloquean canales y drenes.	<b><i>Elodea canadensis</i></b>
<b>Algunas son alelopáticas</b>	Liberan sustancias tóxicas para plantas de cultivo.	<b><i>Artemisia absinthium</i></b>
<b>Impacto sobre el establecimiento del cultivo.</b>	La vegetación impide el establecimiento de árboles jóvenes.	

### 3.2. Competencia cultivo-maleza

La competencia en un sistema de producción agrícola es un fenómeno complejo que se define como la interacción directa entre individuos, la cual se produce por la demanda de un recurso limitado que conduce a la reducción en la sobrevivencia, crecimiento, desarrollo y/o reproducción de, por lo menos, uno de ellos. Tanto en los sistemas naturales como en los agro-ecosistemas, esta competencia es establecida principalmente por luz, agua y nutrientes (FAO, 2004).

Aramendiz-Tatis *et al.* (2010) afirman que el grado de interferencia de las arvenses en los cultivos depende de factores ligados al propio cultivo (especie cultivada, genotipo y densidad de población), a la comunidad de arvenses (composición específica, densidad y distribución), al ambiente (clima, suelo y manejo agronómico) y al periodo en que éstas compiten (figura 1). De los factores anteriores, los más fáciles de controlar en la práctica corresponden a la época y la extensión del periodo de competencia de las arvenses con el cultivo (Aramendiz-Tatis *et al.*, 2010).

La presencia de malezas en un cultivo lleva a un aumento del número total de plantas dentro de cierta área. De acuerdo con la FAO (2004), en un campo infestado es posible identificar diferentes componentes de efectos competitivos generales:

- Competencia intraespecífica entre plantas de la especie cultivada.
- Competencia interespecífica entre plantas de la especie cultivada y las especies de malezas.
- Competencia interespecífica entre plantas de las diferentes especies de malezas.
- Competencia intraespecífica entre plantas de la misma especie de malezas.

Dado que la densidad del cultivo está establecida a un nivel que optimiza el rendimiento de un cultivar específico en un ambiente determinado, la competencia intraespecífica entre plantas de la especie cultivada no es determinante en los grados de competencia (FAO, 2004). No obstante, la presencia de malezas podría llevar a una reducción del rendimiento medio del cultivo, lo cual se explica por los

tres tipos de competencia restantes (agua, luz y nutrientes) regidos por la competencia del cultivo vs maleza y maleza vs maleza (FAO, 2004).

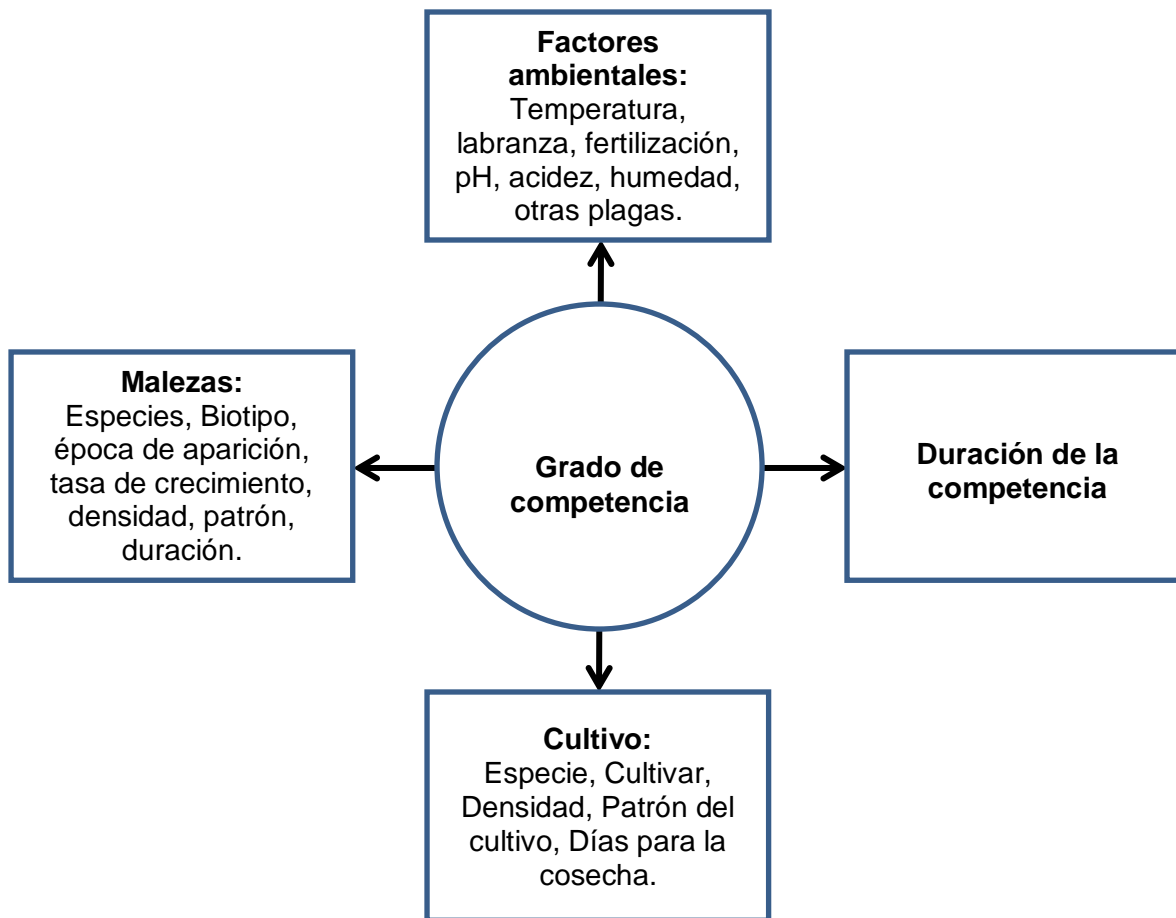


Figura 1. Factores determinantes de la competencia Arvenses-Cultivo.

Fuente: Elaboración propia (2017)

### **3.3. Periodo crítico de competencia con maleza y su importancia en la agricultura**

En términos generales y como previamente se indicó, el PCC se define como el tiempo mínimo necesario para mantener al cultivo de interés libre de competencia y así evitar reducciones significativas en su rendimiento. De acuerdo con (Robles *et al.*, 2005), este período representa el tiempo entre dos componentes: i) el período máximo de presencia de maleza, es decir, el tiempo que puede permanecer la maleza antes de afectar significativamente el rendimiento del cultivo; y ii) el período mínimo de ausencia de maleza, esto es, el tiempo que el cultivo debe permanecer sin la presencia de malas hierbas para prevenir pérdidas significativas de su rendimiento.

Para conocer el PCC es necesario permitir que la comunidad de malezas crezca durante periodos variables en todas las etapas de desarrollo del cultivo; ya que entonces se pueden medir las pérdidas en el rendimiento. La duración y momento del PCC de un cultivo varía en función de la composición y densidad de la población de malezas, así como de la emergencia relativa del cultivo y la maleza (Knezevic, *et al.*, 2002).

La delimitación del período crítico de competencia es un dato propio de cada ambiente agroecológico que permite la planificación del manejo de malezas en el cultivo (Barreyro y Sánchez-Vallduvi, 2002).

Para el análisis de datos resultantes de un ensayo de PCC, se han determinado diferentes modelos de análisis de datos, incluidas técnicas de comparación múltiple (Kalahar *et al.*, 1997) y modelos de regresión no lineal (Van Acker *et al.*, 1993; Evans *et al.*, 2003). El enfoque funcional clásico para determinar el PCC en un cultivo es el que se presenta en la Figura 2; el cual se integra de dos componentes medidos por separado, que representan el tiempo de competencia entre el cultivo y la maleza. El primero se conoce como el tiempo crítico para la eliminación de malezas, y está basado en la llamada curva de malezas (línea descendente), la cual indica la cantidad máxima de tiempo que el cultivo puede tolerar la competencia con malezas en el inicio de temporada sin sufrir una reducción irreversible en el rendimiento. El

segundo es conocido como el periodo libre de malezas, representado por la curva libre de malezas (línea ascendente), que simboliza el periodo mínimo libre de malezas requerido desde el momento de la siembra para evitar pérdidas de rendimiento inaceptables (Knezevic y Datta, 2015).

La determinación del período crítico de competencia en el cultivo de amaranto podría constituir una herramienta para disminuir los daños por malezas, lo que aportaría elementos tanto para evaluar la conveniencia de utilizar diferentes alternativas de manejo y control, como para elaborar modelos de competencia.

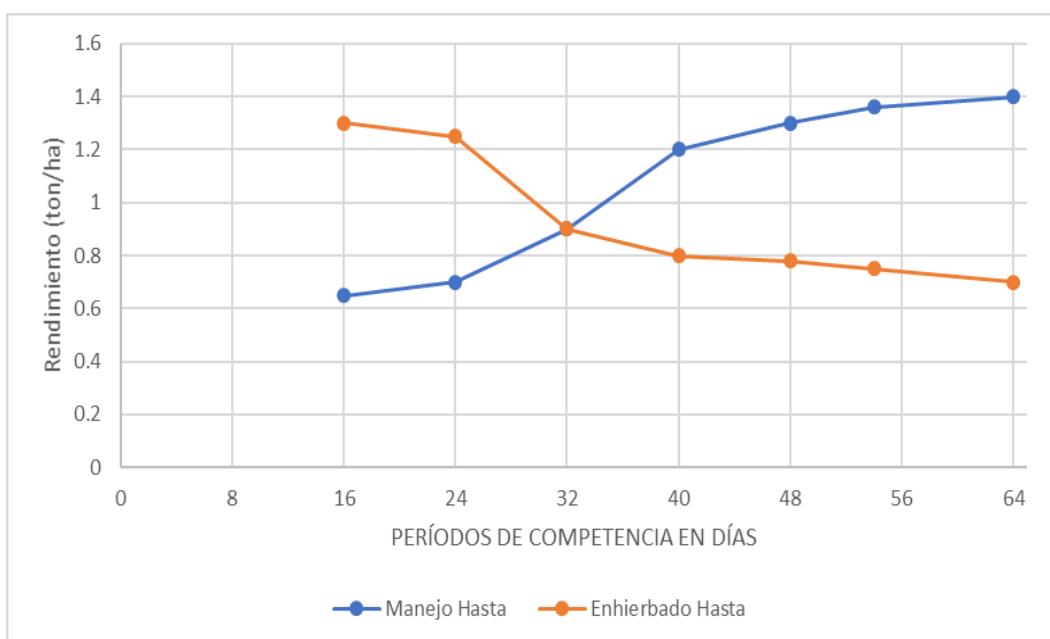


Figura 2. Rendimiento de frijol en relación con el periodo crítico de competencia.

Fuente: Elaboración Propia con datos de Blanco-Valdés y Leyva-Galán (2011).

### 3.3.1. Cultivo de amaranto

Dentro del territorio que comprende los Estados Unidos Mexicanos, el amaranto se ha cultivado y aprovechado desde hace 6,000 años aproximadamente (Mapes y Espitia-Rangel, 2010). Esta especie pertenece a la familia Amaranthaceae, y comprende 60 géneros y cerca de 800 especies, de las cuales 40 (60%) son originarias del Continente Americano; varias de ellas son de importancia económica al ser cultivadas como verduras, cereales o plantas ornamentales (Mapes y Espitia-

Rangel, 2010). Una de las especies utilizadas desde época prehispánica y sometida actualmente a cultivo comercial en México es *Amaranthus hypochondriacus* L., cuyas sinonimias científicas son *Amaranthus hybridus* L. y *Amaranthus hybridus* L. var. *hybridus* (Missouri Botanical Garden, 2019).

El amaranto (*A. hypochondriacus*) ha demostrado un alto grado de adaptabilidad a las diferentes regiones climáticas del país, distribuyéndose entre los 16° y los 28° de latitud Norte. Las zonas de México donde se cultiva son: Sierra Madre Occidental, Llanura Costera del Golfo de California y del Pacífico, Altiplanicie Mexicana y Sierra Madre del Sur. El cultivo de esta especie generalmente se desarrolla en condiciones de temporal, prosperando desde los 100 hasta los 2,800 msnm, en temperaturas medias anuales que van de los 8 a los 29°C, con una precipitación media anual menor a los 400 mm; aunque también se encuentra en sitios que superan los 1,300 mm. También se ha registrado a nivel nacional en parcelas con riego, aunque no son muy comunes (Mapes y Espitia-Rangel, 2010).

El cultivo de amaranto se caracteriza por un uso integral de toda la planta, en distintas fases fenológicas. Sólo tres especies de amaranto en México se utilizan para la producción de grano: *A. hypochondriacus*, *Amaranthus caudatus* L. y *Amaranthus cruentus* L. En México, el uso de la semilla tiene diversas finalidades y productos, los más comunes son: germinados, cereal, harina, pinole y dulces (Mapes y Espitia-Rangel, 2010).

En la Tabla 2 se presentan las especies del género *Amaranthus* empleadas para la elaboración de diferentes productos, así como los órganos de la planta que son aprovechados.

Tabla 2. Usos del amaranto y sus especies.

Uso	Producto	Especie
Semilla	Germinados, cereal, harina, pinole y alegrías	<i>A. hypochondriacus</i> , <i>A. caudatus</i> , <i>A. hybridus</i> y <i>A. cruentus</i> .
Verdura	Hortalizas de hoja	<i>A. hypochondriacus</i> , <i>A. caudatus</i> y <i>A. cruentus</i> .
Forraje	Silo	<i>A. hybridus</i> , <i>A. quitensis</i> , <i>A. tricolor</i> , <i>A. viridis</i> , <i>A. oleraceus</i> , <i>A. palmeri</i> , <i>A. paniculatus</i> , <i>A. dubius</i> y <i>A. retroflexus</i> .
Ornamental	Planta y tintes naturales	<i>A. tricolor</i> , <i>A. caudatus</i> y <i>A. cruentus</i> .
Medicinal	Infusión	<i>A. hybridus</i> , <i>A. spinosus</i> y <i>A. paniculatus</i> .

Fuente: Elaboración propia con datos de Carmona (1994) y Reyna (1988).

En todo México, la distribución del género *Amaranthus* es muy amplia (Figura 3), ya que cuenta con representantes en cada uno de los estados del país. Se registra una mayor concentración en el denominado Eje Volcánico Transmexicano, que comprende los estados de: Ciudad de México (CDMX), Nayarit, Jalisco, Colima, Michoacán, Guanajuato, Querétaro, México, Hidalgo, Morelos, Tlaxcala, Puebla y Veracruz (Mapes y Espitia-Rangel, 2010).

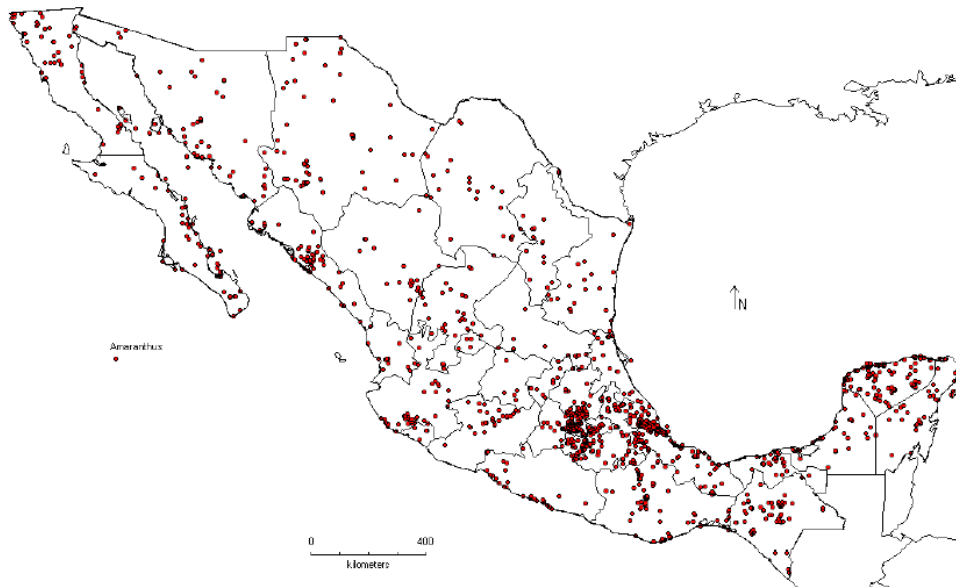


Figura 3. Distribución geográfica del género *Amaranthus* en México.

Fuente: Mapes y Espitia-Rangel (2010).

Esta amplia distribución del género *Amaranthus* no sólo obedece a factores naturales sino también a su cultivo para grano y a su aprovechamiento como quelite en la dieta prehispánica, colonial y contemporánea. Quelite es un término utilizado en México para referirse a aquellas plantas herbáceas cuyas hojas y tallos tiernos son consumidos como verdura. El vocablo deriva del náhuatl *quilitl*, que se usa para designar a las hierbas comestibles, las cuales se encuentran distribuidas en todo el país (SINAREFI, s/f). Desde la época prehispánica, se les consideraba un alimento con alto aporte nutricional, cuya producción era espontánea dado que no había necesidad de cultivarlos. Del mismo modo, los quelites fueron un símbolo de riqueza y fertilidad, pues su comercio se consolidó como parte de la economía de ese entonces. Se dice que estas hierbas llegaron a ser un alimento de lo más cotidiano en Tenochtitlán (Alonso, 2013).

Dentro del numeroso grupo que integra a los quelites, existen diversos representantes del género *Amaranthus*, como se puede observar en el cuadro 4.

Tabla 3. Quelites del género *Amaranthus* reportados en México.

Nombre científico	Nombre Regional
<b><i>Amaranthus crassipes</i></b> <b>Schldl.</b>	Quintonil
<b><i>A. cruentus</i> L.</b>	Quintonil blanco
<b><i>A. hybridus</i> L.</b>	Quintonil
<b><i>A. hypochondriacus</i> L.</b>	Quintonil rojo
<b><i>A. leucocarpus</i> S.</b>	Quintonil giági
<b>Watson</b>	
<b><i>A. palmeri</i> S. Watson</b>	Quintonil
<b><i>A. retroflexus</i> L.</b>	Quelite
<b><i>A. powellii</i> S. Watson</b>	Momomai
<b><i>A. scariosus</i> Benth.</b>	<i>Batz'í tz'ul itaj</i>
<b><i>A. spinosus</i> L.</b>	Quelite de burro/ de pájaro

Fuente: SINAREFI (s/f).



Actualmente en México el cultivo de amaranto (principalmente *A. hypochondriacus*) se localiza en áreas específicas. Las más importantes son: Tulyehualco (CDMX), Amilcingo y Huazulco (Morelos), y San Miguel del Milagro (Tlaxcala), y algunas localidades de los estados de Puebla y Oaxaca (SINAREFI, s/f) como se observa en la Figura 4.



Figura 4. Distribución geográfica de *A. hypochondriacus* en México.

Fuente: Mapes y Espitia-Rangel (2010).

### 3.3.2. Importancia económica y regional del Amaranto

Por sus características agronómicas, el amaranto representa un cultivo con un gran potencial agronómico e industrial, tanto así que ha sido comparado con la soya (Ayala-Garay *et al.*, 2014). De tal manera que se considera el nuevo cultivo con mayor potencial para explotación económica. En las últimas décadas, ha sido adoptado por diferentes países, entre ellos la India. También China ha impulsado el cultivo de este producto en los últimos 15 años; en América es cultivado desde Arizona, Estados Unidos, hasta Perú y Bolivia. Pese a esta importancia mundial, es

en México donde el amaranto tiene su mayor producción y tecnología asociada (Orozco-Nagore, 2009).

Se estima que el amaranto es cultivado solamente en el 0.031% de la superficie agrícola nacional, aunque, como se mencionó previamente, tiene potencial para ser cultivado en varias zonas agroecológicas (Domínguez, 2014). Los estados con una producción constante de amaranto son: CDMX, Tlaxcala, Puebla, Morelos, Oaxaca y México. Sin embargo, también se ha reportado su producción en menores superficies y de manera esporádica, en estados como: San Luis Potosí, Querétaro, Aguascalientes, Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, Michoacán, Nayarit, Veracruz y en huertos familiares en la zona serrana de Sinaloa, Sonora, Chihuahua y Durango (Ayala-Garay *et al.*, 2014).

Con base en los datos reportados por el SIAP (2016), el amaranto es un cultivo que ha generado gran interés entre los agricultores puesto que, durante los últimos 25 años (1990-2015) (Tabla 4), se observa que la superficie nacional sembrada con este cultivo se incrementó a una tasa media anual (TMA) de 8.35%, lo que se traduce en 5,684.96 nuevas ha de amaranto aproximadamente.

*Tabla 4. Valor nacional de la producción de amaranto entre 1990 y 2015.*

<b>Año</b>	<b>Superficie Sembrada (ha)</b>	<b>Producción (t)</b>	<b>Valor Producción (miles de pesos)</b>
<b>1990</b>	805	671	\$ 1,651.32
<b>2015</b>	6,489.96	8,551.02	\$ 95,040.55
<b>Incremento (%)</b>	706%	1174%	5,655%
<b>TMA</b>	8.35%	9.88%	16.19%

Fuente: Elaboración propia con datos del SIAP (2016).

Se estima que el cultivo de amaranto a partir del año 2003 ha mantenido un incremento constante en sus niveles de producción. En el periodo 2003-2015 (figura 5) este cultivo incrementó de 2,321.93 t a 6,489.96 t producidas.

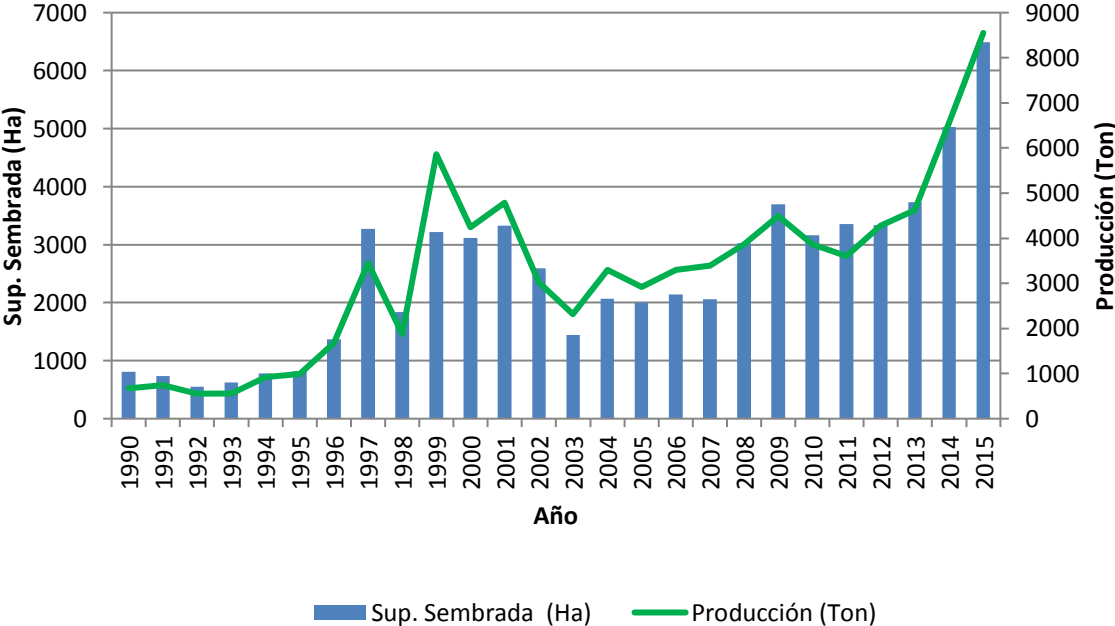


Figura 5. Superficie sembrada vs Producción de amaranto entre 1990 y 2015.

Fuente: Elaboración propia con datos del SIAP (2016).

En el periodo (2003-2015) el valor de la producción ha incrementado a un ritmo constante, comparado con los años anteriores. En la Figura 6 se aprecia que las mejores ganancias económicas derivadas de una mayor superficie sembrada con amaranto se obtuvieron durante el periodo 2013-2015.

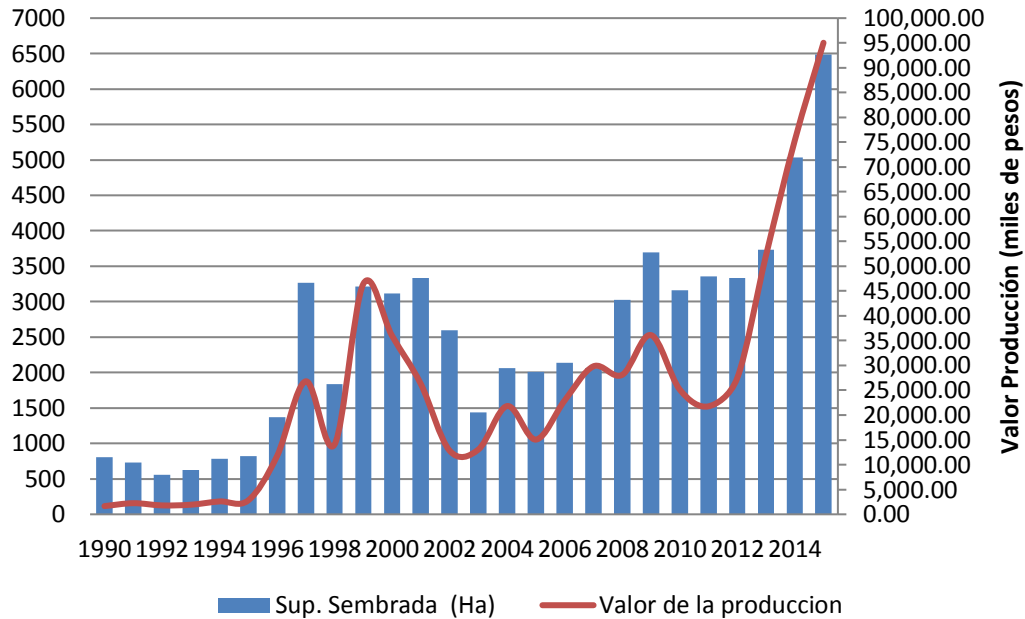


Figura 6. Superficie sembrada vs Valor Producción de amaranto entre 1990 y 2015.

Fuente: Elaboración propia con datos del SIAP (2016).

Durante el periodo 1990-2015, el rendimiento medio por hectárea nacional se ha mantenido estable. Como se aprecia en la Figura 7, 1990 fue el año con el menor rendimiento medio por hectárea ( $0.84 \text{ t ha}^{-1}$ ), el año con mayor rendimiento medio por hectárea fue 1999, con  $1.83 \text{ t ha}^{-1}$ .

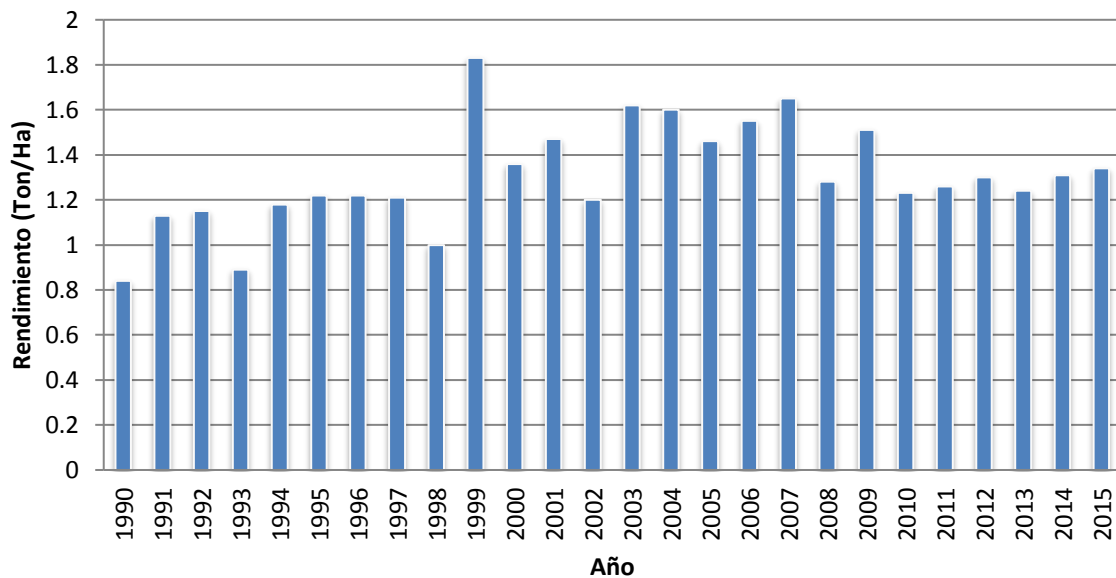


Figura 7. Rendimiento medio por hectárea anual del cultivo de amaranto entre 1990 y 2015.

Fuente: Elaboración propia con datos del SIAP (2016).

Dentro del mismo periodo, los estados con mayor participación reportada de acuerdo con el SIAP (2016) fueron: CDMX, Edo. México, Morelos, Oaxaca, Puebla y Tlaxcala. En la tabla 5 se especifica el rendimiento promedio decenal nacional; mientras que en la tabla 6, el rendimiento promedio decenal estatal durante el periodo 1990-2017.

Tabla 5. Rendimiento promedio decenal nacional del cultivo de amaranto entre 1990 y 2016.

Año	Rendimiento (t ha <sup>-1</sup> )
<b>1990-2000</b>	1.15
<b>2000-2009</b>	1.44
<b>2010-2016</b>	1.29

Fuente: Elaboración propia con datos del SIAP (2016).

Tabla 6. Rendimiento promedio decenal por estado del cultivo de amaranto entre 1990 y 2016.

Año	Rendimiento (t ha <sup>-1</sup> )					
	<b>CDMX</b>	<b>México</b>	<b>Morelos</b>	<b>Oaxaca</b>	<b>Puebla</b>	<b>Tlaxcala</b>
<b>1990- 2000</b>	0.90	1.23	1.12	0.05	1.11	1.42
<b>2000-2009</b>	1.13	2.03	1.30	0.77	1.56	1.17
<b>2010-2016</b>	1.17	2.04	1.26	0.93	1.17	1.38

Fuente: Elaboración propia con datos del SIAP (2016).

### 3.3.3. Importancia cultural

El origen de la planta de amaranto (*A. hypochondriacus* L.) se ubica en Centro y Norteamérica (México y Guatemala), mientras que *A. caudatus* tiene su origen en Sudamérica (Perú y Ecuador) (Kauffman y Weber, 1990; Mapes y Espitia-Rangel, 2010). El *hauhtli* en náhuatl, *ahparie* en purépecha, *tez* o *xtes* en maya, *wa've* para los wixáricas o *guegui* en rarámuri, que es como se le conocía en los diferentes pueblos originarios a la planta de amaranto, por generaciones, fue un elemento básico en la dieta prehispánica, junto con la calabaza, maíz, frijol, chile y chía (Velasco y Villela, 2016).

La producción y consumo del amaranto llegó a ser incluso más importante que el maíz durante la época prehispánica. Esta valía se debió a la presencia constante de heladas, pues el maíz era una planta que no las resistía; en cambio, el amaranto era fácil de cultivar y resistente a las sequías (INAH, 2008). Otra de las características que favorecieron el cultivo del amaranto fue su capacidad para almacenarse sin descomponerse, en ollas de barro por largos periodos (INAH, 2008) (Figura 8). Se estima que a Tenochtitlan ingresaban como tributo alrededor de 20 mil toneladas de amaranto anuales (Ramírez Vázquez *et al.*, 2011; Asociación Mexicana del Amaranto, 2003).

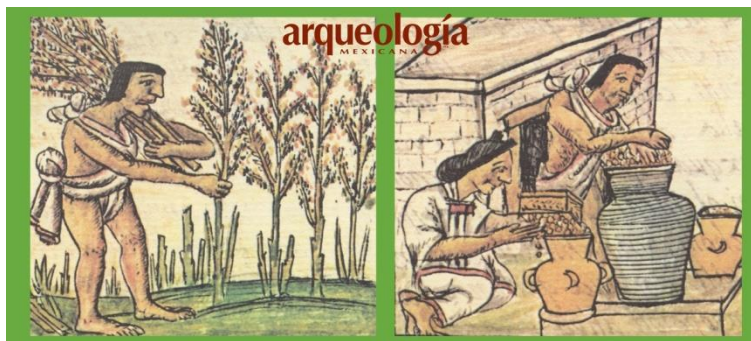


Figura 8. Cultivo de amaranto en la época prehispánica.

Fuente: Velasco y Villela (2016).

La importancia del amaranto también fue de tipo religioso; éste era ocupado en rituales y ofrendas, donde se usaban figurillas hechas de amaranto aglutinado. Éstas eran realizadas con la misma técnica con la que hoy se realizan las “alegrías”: el amaranto era tostado, posteriormente se mezclaba con miel de agave para obtener una masa moldeable con la que se formaban las figurillas de sus diferentes dioses, las cuales eran utilizadas en rituales, y después consumidas por el pueblo como alimento (INAH, 2008). Durante el periodo colonial el cultivo del amaranto fue prohibido, sobre todo debido a la gran carga religiosa prehispánica y su gran similitud con el uso de la ostia cristiana. Su prohibición fue el principal motivo por el cual tuvo una disminución en la producción, al punto de casi desaparecer, manteniéndose sólo en algunas regiones muy específicas, donde se ha cultivado desde la Colonia hasta la actualidad (Mapes y Espitia-Rangel, 2010).

### 3.3.4. Importancia nutrimental

En México, los principales problemas de alimentación son la obesidad y la desnutrición (UNICEF-MÉXICO, s/f). Particularmente la desnutrición afecta de un modo más significativo a la región sur del país, mientras que la obesidad se registra con mayor detalle en el norte. Sin embargo, ambos problemas están presentes en todo el territorio mexicano (UNICEF-MÉXICO, s/f). La importancia de los súper alimentos, como el amaranto, reside en su aporte de energía, como los cereales, proteínas, vitaminas y minerales. Es fuente de vitaminas A, B, C y D, así como de Potasio, Calcio, Hierro y Fósforo. Contiene lisina, un aminoácido raro en cereales que ayuda al crecimiento, formación de enzimas, anticuerpos, obtención de energía y síntesis de proteínas (INDESOL, 2014). Por lo que se considera de alta importancia a nivel nacional para contribuir a una mejora en la dieta alimentaria y disminuir los problemas de malnutrición (INDESOL, 2014).

El interés nutricional que se tiene en el cultivo de amaranto está fundamentado en el alto valor nutritivo que tienen sus hojas y sus granos. Este alto valor nutricional es tanto en calidad como en cantidad en comparación con otros cereales y leguminosas (Carmona Jiménez, 1994) (Tabla 3).

*Tabla 7. Comparación nutricional del amaranto con respecto a otros cereales.*

<b>Comparación 100 g</b>	<b>Calorías</b>	<b>Proteínas (g)</b>	<b>Grasas (g)</b>	<b>Carbohidrato (g)</b>	<b>Calcio (mg)</b>	<b>Fósforo (mg)</b>
<b>Amaranto</b>	391	15.8	7.12	63.1	490	455
<b>Maíz</b>	355	9.2	3.9	73.7	2	256
<b>Centeno</b>	334	12.1	1.7	73.4	38	376
<b>Soya</b>	356	43.4	6.7	36.6	263	634
<b>Trigo</b>	333	13.3	2	71	41	372

Fuente: Mijares-Fernández (1991).

En general, el amaranto tiene adecuados niveles de aminoácidos azufrados y de lisina. Esta última corresponde a casi el doble de lo que contiene el maíz y el trigo, y algo menos que lo encontrado en el frijol. La digestibilidad de semillas de amaranto varía de 77.6% a 88.5%. Sin embargo, el amaranto tostado alcanza niveles de 90% de digestibilidad. (Mapes y Espitia-Rangel, 2010). Es pertinente mencionar la presencia de nitratos y oxalatos en el follaje, que en niveles altos son tóxicos

(Jiménez, 1994). Si es usado como verdura es necesario hervirlo. Las hojas tienen más hierro que las espinacas; contienen mucha fibra, vitamina A y C, así como calcio y magnesio (Orozco-Nagore, 2009).

El nivel de proteínas en el amaranto se ha reportado de entre el 15 al 18%, mientras que el contenido de proteínas en maíz, trigo y el arroz oscila entre el 10 y el 13%. Además, las proteínas del amaranto contienen aminoácidos esenciales como son la valina, metionina, fenilalanina, treonina y lisina; básicos en la dieta humana y que no es común encontrarlo (o se encuentra en poca cantidad) en la mayoría de los cereales (Orozco-Nagore, 2009) (Tablas 8 y 9).

Además, como lo sugiere Carmona-Jiménez (1994) el amaranto posee altos niveles de minerales como el calcio, fósforo y potasio. También tiene alto contenido en fibra, esto puede deberse a que el grano, una vez cosechado, sigue manteniendo la cascarilla, lo que aumenta la cantidad de fibra insoluble, por lo que la fibra dietética también aumenta. La principal función de ésta es la del barrido intestinal, además de reducir la cantidad de colesterol en la sangre (Robledo, 2014).

De acuerdo con Mapes y Espitia-Rangel (2010), el almidón es el principal componente en la semilla de amaranto. Se han publicado valores que oscilan de 52.4 a 70% de almidón, y se han encontrado pequeñas cantidades de sacarosa y rafinosa. Los contenidos de grasa de las diferentes especies de amaranto van de 6.1 a 10.9%. Aproximadamente del 72 al 84% de los ácidos grasos de las diversas especies de amaranto son insaturados. El ácido linoleico se encuentra en la mayor proporción (49.4-58.2%), seguido por el oleico (19.4-26.7%). La principal fracción de ácidos grasos saturados es el ácido palmítico (Mapes y Espitia-Rangel, 2010).

*Tabla 8. Composición química de la semilla de amaranto.*

<b>Constituyente</b>	<b>Contenido (g/100g de muestra)</b>
Proteína	12.0 - 19.0
Lípidos	6.1 - 8.1
Fibra	3.5 – 5.0
Cenizas	3.0 - 3.3
Carbohidratos	64.1 - 71.8

Fuente: Torres-Robledo (2014).



Tabla 9. Contenido nutricional en amaranto.

Nutrimento	Semilla	Forraje, Tallo y Hojas
Proteína (%)	12.0 - 19.0	14.0 - 33.0
Carbohidratos (%)	50.0 - 71.8	19.4 - 55.3
Lípidos (%)	4.0 - 10.0	1.0 - 4.7
Fibra (%)	3.2 - 10.7	5.3 - 17.0
Humedad (%)	6.2 - 10.7	4.5 - 6.6
Calcio (mg/100g)	130.0 - 154.0	1042.0 - 2776.0
Fósforo (mg/100g)	530	497.0 - 760.0
Hierro (mg/100g)	6.3 - 12.8	7.0 - 57.1
Ac. Ascórbico (mg/100g)	1.5 - 4.9	64.0 - 693.0
Tiamina (mg/100g)	0.09 - 0.90	-
Carotenos (mg/100g)	0.07 - 0.10	18.3 - 33.7
Niacina (mg/100g)	1.0 - 2.1	-
Riboflavina (mg/100g)	0.03 - 0.32	-

Fuente: Carmona-Jiménez (1994).

Entonces el amaranto es un alimento de buen sabor ya sea tostado o molido, debido a que el grano tiene altas cantidades de proteína, así como un alto contenido de grasa. Existe la posibilidad de utilizarlo como un alimento energético, ya que la digestión y absorción resultó ser alta en estudios de nutrición humana (Morales *et al.*, 1988).

### 3.3.5. Características generales del cultivo

Como se ha mencionado, el amaranto es un cultivo casi olvidado que ha generado nuevamente gran interés en la comunidad científica y empresarial para cubrir necesidades de la población y de mercado. Por tal motivo, en México los estudios morfológicos, anatómicos y fisiológicos de la especie son escasos y regionales (Mapes y Espitia-Rangel, 2010).

#### 3.3.5.1. Descripción botánica de *Amaranthus hypochondriacus* L.

*Amaranthus hypochondriacus* L. es la especie más utilizada en México para la producción de granos dentro del género *Amaranthus* spp. Las semillas son de color blanco, dorado, café y negro; las de coloración clara son las que más comúnmente

se utilizan para producción de granos (Mora-Mata, 2008). Son plantas generalmente matizadas con el pigmento rojizo llamado “amarantina”; el color se manifiesta desde las primeras etapas de crecimiento de las plántulas y va desde las tonalidades verdes hasta las púrpuras, con una gama de varios colores intermedios que abarcan el rojo, rosado y café (Olvera-Zapata, 2006). Son plantas herbáceas que alcanzan alturas de 1 hasta los 2 m.

### 3.3.5.2. Clasificación taxonómica de *Amaranthus hypochondriacus* L.

De acuerdo con el SINAREFI (s/f), la clasificación taxonómica del amaranto (*Amaranthus hypochondriacus* L. (Figura 9)) se muestra en la tabla 10.

Tabla 10. Clasificación taxonómica del amaranto.

<b>Reino</b>	<i>Plantae</i>
<b>División</b>	<i>Magnoliophyta</i>
<b>Clase</b>	<i>Magnoliopsida</i>
<b>Orden</b>	<i>Caryophyllales</i>
<b>Familia</b>	<i>Amaranthaceae</i>
<b>Género</b>	<i>Amaranthus</i>
<b>Especie</b>	<i>A. hypochondriacus</i>

Fuente: SINAREFI (s/f).



Figura 9. Plantas de *Amaranthus hypochondriacus*.

Fuente: Longinos-Juárez (2016).

### 3.3.5.3. Descripción morfológica de *Amaranthus hypochondriacus*

**Raíz.** Posee una raíz pivotante con un buen número de ramificaciones y múltiples raicillas delgadas, que se extienden rápidamente después de que el tallo empieza

a ramificarse, lo que facilita la absorción de agua y nutrientes. Las raíces primarias llegan a tomar consistencia leñosa que anclan la planta firmemente al suelo (Mora-Mata, 2008).

**Tallo.** El tallo es suculento y algo fibroso, cilíndrico y deformado 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 ramificaciones que, en muchos casos, comienzan desde la base o a media altura originadas en las axilas de las hojas. El color del tallo es variable, va desde un color blanco amarillento hasta verde claro, inclusive rojo vinoso que, generalmente, coinciden con el color de las hojas. Aunque a veces se observan estrías de diferentes colores (Figura 10) (Olvera-Zapata, 2006; Araiza-Mendoza, 2013).



*Figura 10. Diversidad de formas en el tallo de amaranto.*

Fuente: Ruíz (2013).

**Hojas.** Las hojas están generalmente dispuestas en forma alterna y opuesta, tanto en el tallo principal como en los secundarios y terciarios. Las hojas completamente desarrolladas son de 6-20 cm de longitud y 2-8 cm de ancho. Las hojas son pecioladas, sin estípulas, de forma romboidea, elíptica u ovalada, lisas y de escasa o nula pubescencia con nervaduras pinnadas y pronunciadas en su envés; presentan diversos colores, desde el verde amarillento hasta el rojo encarnado cuyo tamaño disminuye de la base al ápice (Figura 11) (Olvera-Zapata, 2006; Araiza-Mendoza, 2013).



*Figura 11. Disposición de las hojas de amaranto.*

Fuente: Google Imágenes (2017).

**Inflorescencia.** Las flores están dispuestas en una inflorescencia en panícula (Figura 12), la cual, en su madurez, presenta una coloración bastante vistosa de amarillo, verde, rosado, rojo y púrpura; mide hasta 90 cm de altura, lo que da a la planta un aspecto ornamental. La unidad básica de la inflorescencia son los llamados glomérulos; cada uno consiste en una flor estaminada inicial y un número indefinido de flores femeninas. Los glomérulos están agrupados en un eje sin hojas para formar complejas inflorescencias llamadas espigas o panojas. Hay inflorescencias semierectas y erectas que adoptan formas glomeruladas o amarantiformes típicas y densas o laxas. El eje central de la inflorescencia lleva grupos de flores llamadas dicasios; el número de flores de cada uno de estos dicasios es variable; las flores masculinas y femeninas están dispuestas en forma sésil o ligeramente pedunculadas (Olvera-Zapata, 2006).

**Flor.** Las flores son unisexuales, muy pequeñas de color carmesí, estaminada y pistiladas. Al estar las estaminada en el ápice del glomérulo y las pistiladas lo completan. Se presentan en espigas muy apretadas o panículas; son escariosas, es decir sin corola; presentan 5 estambres de color morado que sostienen a las anteras por un punto cercano a la base; el gineceo presenta ovario esférico, supero coronado por tres estigmas filiformes y pilosos, que aloja a una sola semilla y toda la inflorescencia aparece en colores rojizos (Olvera-Zapata, 2006; Araiza Mendoza, 2013).

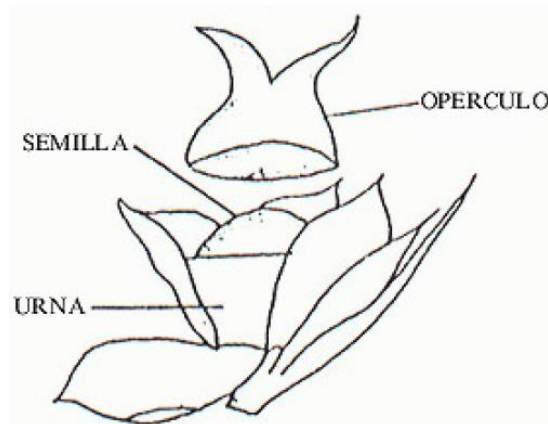
**Panoja.** La longitud de la panoja es de 50-100 cm. El número de granos o de semillas puede aumentar hasta 80 -100 mil por panoja y hasta sobrepasar los 150 mil. En cuanto a panoja, ésta toma 35 días para lograr su crecimiento pleno desde la floración hasta la producción máxima de semillas, el tiempo de crecimiento vegetativo cobra el 50% del crecimiento total si se cuenta desde la floración (Ornelas, 1983).



*Figura 12. Inflorescencia de amaranto.*

Fuente: Google Imágenes, 2017.

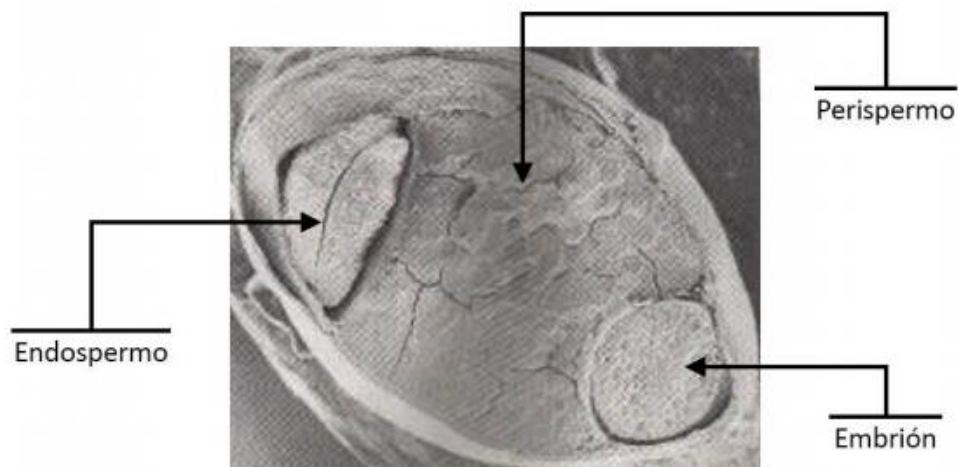
**Fruto.** El fruto es un pixidio unilocular (Figura 13); es decir, una cápsula que cuando madura presenta dehiscencia transversal, lo que deja caer la parte superior (llamada opérculo) para poner al descubierto la inferior (llamada urna) donde se encuentra la semilla. Al ser dehiscente, facilita la caída de la semilla (Mora-Mata, 2008).



*Figura 13. Pixidio unilocular de amaranto.*

Fuente: Mora-Mata (2008).

**Semilla.** La semilla es muy pequeña, mide de 1 a 1,5 mm de diámetro; su número por gramo oscila entre 1.000 y 3.000. Son de forma circular y de colores variados, así: existen granos blancos, blanco amarillentos, dorados, rosados, rojos y negros. Todas las especies silvestres presentan granos negros y de cubiertas muy duras. Anatómicamente, en el grano se distinguen tres partes principales: la cubierta, que es una capa de células muy fina conocida como episperma; una segunda capa formada por los cotiledones y es la parte más rica en proteína y una capa interna, rica en almidones conocida como perisperma (Figura 14) (Nieto, 1990).



*Figura 14. Micrografía del grano de amaranto.*

Fuente: Torres-Robledo (2014).

#### **3.3.5.4. Manejo Agronómico del amaranto**

**Preparación del terreno:** De acuerdo con las recomendaciones de Olvera-Zapata (2006) y Araiza-Mendoza (2013), es necesario preparar el suelo hasta quedar completamente mullido (libre de terrones, palos, piedras o restos de cosecha anterior). Se procede a realizar el trazo de surcos con las siguientes características:

- Profundidad del surco de 15 a 20 cm.
- Distancia entre surcos de 80 a 90 cm.

**Época de siembra:** Es determinante sembrar al inicio de la época de lluvias, para lograr la cosecha antes de la ocurrencia de heladas en los sitios en los que se presentan. En localidades con riego, se puede sembrar en otras épocas, pero con cuidado de no hacer coincidir la cosecha con las épocas lluviosas (Olvera-Zapata, 2006).

**Método y densidad de siembra:** Araiza-Mendoza (2013) sugiere que se pueden hacer siembras directas o por trasplante de plántulas germinadas previamente en semilleros; esto dependerá de la zona y las labores de cultivo propias de cada región. La siembra directa puede adoptar dos modalidades.

- Manual: Dentro del surco se puede sembrar a chorro continuo o en golpes separados a 30 cm; o bien, se pueden colocar entre 10 y 20 semillas por golpe y luego tapar con 1 a 2 cm de suelo suelto (Nieto, 1990).
- Mecánica: Por el tamaño de la semilla (1.3 x 8 mm) la siembra se puede hacer mecanizada utilizando una sembradora para hortalizas con el “plato o disco” para sembrar apio o de pastos como alfalfa o trébol (Araiza-Mendoza, 2013; SAGARPA, 2015). Se debe tener cuidado de no tapar la semilla con capas de suelo superiores a los 2 cm.
- Trasplante: Para realizar este sistema de siembra, primero se procede a sembrar las semillas en camas del almácigo, o charolas de germinación, donde se las mantiene hasta que alcanzan una altura entre 15 a 20 cm para, posteriormente, ser trasplantadas al terreno definitivo. Se pone de 3-6 plántulas cada 30-40 cm en los surcos; luego se las cubre de tierra y se compacta alrededor de ellas (Olvera-Zapata, 2006).

En las zonas productoras de Puebla, Tlaxcala y Ciudad de México, normalmente se utilizan densidades que van desde 60,000 a 140,000 plantas ha<sup>-1</sup>, con rendimientos de 1 a 1.5 t ha<sup>-1</sup> con variedades de *A. hypochondriacus* (Ramírez-Vazquez *et al.*, 2011).

**Eliminación de plántulas:** Es conveniente realizar raleos cuando las plantas alcanzan una altura de 15 a 20 cm (aproximadamente 30 días después de la siembra), para dejar el número adecuado de plantas por unidad de superficie. Se recomienda dejar entre 20 y 30 plantas por m<sup>2</sup> cuando el cultivo es para cosechar su grano, y hasta 80 o 100 m<sup>2</sup> cuando es para verdura (Araiza-Mendoza, 2013).

**Fertilización:** Para una adecuada fertilización es necesario contar con el análisis químico del suelo. Diversos autores (Olvera-Zapata, 2006; Ramírez-Vazquez *et al.*, 2011; Araiza-Mendoza, 2013) afirman que la dosis de nitrógeno recomendada es de 80 kg ha<sup>-1</sup>, 40 kg ha<sup>-1</sup> de potasio y entre 40 y 60 kg ha<sup>-1</sup> de fósforo; en una concentración de 80-40-40 u 80-60-40 de N-P-K, respectivamente. El cálculo dependerá del análisis químico del suelo. Se recomienda realizar la aplicación de fertilizante en dos momentos: i) al sembrar y ii) cuando la planta alcance una altura de 40 a 50 cm aproximadamente.

**Eliminación de malezas:** A la fecha no se cuenta con un herbicida específico para el control de malas hierbas en el cultivo de amaranto, por lo que la eliminación de malezas debe hacerse de manera mecánica por medio de escardas con tractor o yunta, o bien manualmente con el azadón (Olvera-Zapata, 2006).

La primera escarda se debe realizar cuando la planta de amaranto alcance entre 15 y 20 cm, procurando que la maleza no supere la altura del amaranto. La segunda, se debe realizar después de la aplicación complementaria de fertilizante químico, cuando la planta alcance 40 cm aproximadamente. Es importante cuidar este aspecto, al menos los dos primeros meses de desarrollo, ya que con ello se evitará la competencia del cultivo con plantas invasoras. Dependiendo si hay muchas malezas se deshierba; de no ser así, se pasará la cultivadora con el objeto de arrimar poco de tierra y quitar las pocas malezas que pudiera haber, esto a los 15 o 20 días de nacerencia (Olvera-Zapata, 2006).

**Plagas y enfermedades:** Por ser un cultivo poco promocionado, no se conocen o no se han observado plagas de importancia económica para este cultivo; sin embargo, Olvera-Zapata (2006) y Araiza-Mendoza (2013) han sugerido la presencia de las siguientes plagas y enfermedades:



- Gusano verde o telarañero (*Pachyzancla aegratalis*).
- Barrenador del tallo (*Lixus truncatulus*).
- Chinche (*Lygus lineolaris* Palisot de Beauvois).
- Pulgón negro (*Aphis fabae*).
- Pulga saltona: (*Disonycha melanocephala* Jacoby).
- Tizón del amaranto (*Alternaria spp.*).
- Mancha negra del tallo (*Phomopsis amaranticola*).
- *Esclerotinia spp.*
- Cercosporiosis del amaranto (*Cercospora spp.*).
- Pudriciones o “Damping off” (*Pithyium spp.*).
- Pudriciones en la base del tallo y raíz (*Fusarium spp.*).
- *Rhizoctonia spp.*
- Roya blanca (*Albugo bliti*).
- Pudrición húmeda (*Choanephora cucurbitarum*).
- Oidium (*Erysiphe spp.*).
- *Curvularia spp.*
- *Volutella spp.*

**Cosecha:** Para el productor el mejor indicador de maduración para la cosecha es cuando toda la plantación tira las hojas, por lo que quedan únicamente las panojas y tallos desnudos; ahí es el momento cuando adquieren una peculiar coloración pardo-dorado. Al examinar al tacto el grano y aplastarlo, éste tiene una consistencia dura. Hay dos vías fundamentales de corte: a mano o mecanizada. Se utiliza la cosecha a mano de acuerdo con las posibilidades tecnológicas del lugar de cosecha (Olvera-Zapata, 2006).

El corte manual se hace con machete o con hoz, en las primeras horas del día para evitar la caída de semillas. Se corta la planta completa la cual se extiende en una lona o plástico y se deja secar al sol por espacio de 10 días para que el grano quede con un 12% de humedad (SAGARPA, 2015).

La cosecha mecanizada se recomienda con una combinada (trilladora a la que se le aplicaron ajustes), que puede realizarse al momento de la madurez fisiológica (90 días); es decir, el corte se hará aproximadamente a los 145 días para evitar pérdida de grano por efecto del corte (Olvera-Zapata, 2006).

**Trilla:** El desgrane manual se efectúa apisonando con garrotes, con equipo móvil o animales para desprender los granos de las panojas, pero se aconseja usar carpas o tendales para evitar la contaminación de los granos con el polvo, tierra o piedras y así conseguir un producto de calidad. La semilla se limpia venteándola y se vierten a un tamiz de malla metálica, el cual está montado en un marco de madera, sostenido por cuatro postes. Las semillas se vierten a través de la malla con la ayuda del viento, y abanicando con un soplador éstas son separadas del tamo (Olvera-Zapata, 2006).

Si se dispone de equipo, se puede utilizar una trilladora “combinada” a la que se le deben hacer ajustes (SAGARPA, 2015):

- Cerrar la criba superior igual que para trigo
- Cerrar la criba inferior a 1/10”, igual que para alfalfa.
- La velocidad del abanico debe ser de 540 rpm.
- La velocidad del cilindro de 800 a 900 rpm.
- La separación entre el cilindro y el cóncavo casi completamente abierta.

La trilla es más eficiente si las plantas están completamente secas. Se necesita mano de obra para cortar y alimentar la máquina. Se recomienda cortar las plantas cerca de la panoja para evitar daños en la trilladora por exceso de material leñoso. Cabe señalar que la semilla no queda completamente limpia, por lo cual se deben separar basura y restos de la planta (Olvera-Zapata, 2006).

## IV. MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.1. Descripción de la zona de estudio

El estudio se realizó en el segundo semestre del año 2016 en el área experimental de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán (FES-C) Campo 4, de la Universidad Nacional Autónoma de México, ubicada en el municipio de Cuautitlán Izcalli.

El municipio de Cuautitlán Izcalli se localiza en la parte noroeste de la cuenca de México. Tiene una extensión territorial de 109.54 km<sup>2</sup>; representa el 0.5% de la superficie del Estado de México. Colinda al norte con los municipios de Tepotzotlán y Cuautitlán; al este con Cuautitlán y Tultitlán; al sur con Tlalnepantla de Baz y Atizapán de Zaragoza; al oeste con Villa Nicolás Romero y Tepotzotlán (Figura 15). Tiene una altura promedio de 2,252 msnm (INEGI, 2009).

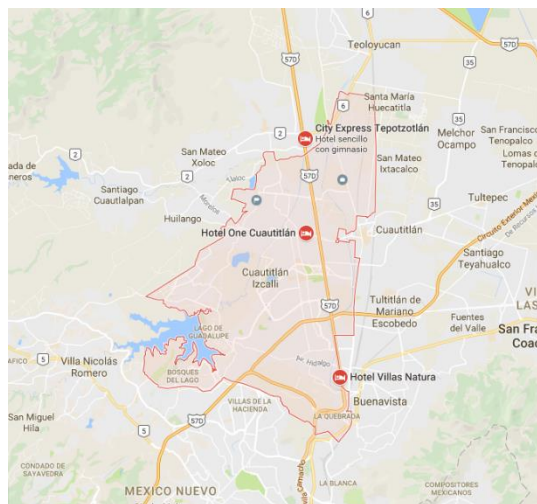


Figura 15. Ubicación espacial del Municipio de Cuautitlán Izcalli.

Fuente: Google-INEGI (2018).

### 4.2. Tipo de clima y variables meteorológicas

De acuerdo con la clasificación climática de Köppen modificada por García (2004), el municipio de Cuautitlán Izcalli cuenta con un clima C<sub>(wo)(w)</sub> b<sub>(i)</sub>: templado subhúmedo con lluvias de verano, el más secos de los subhúmedos, con verano

fresco, sin sequía estival, régimen de lluvias de verano e invierno seco y con un porcentaje de lluvia invernal menor al 5% del total anual. La temperatura media anual es de 14.8°C, con una oscilación media mensual de 5.8°C. Enero es el mes más frío con una temperatura promedio de 11.6°C y junio el más caliente, con 17.4°C. Cuenta con una precipitación promedio anual de 612.1 mm, con un periodo de bajo riesgo de helada de 208 días; se acumulan en promedio 600 horas frío; y con una temperatura base de 8°C se acumulan 2,621.5 unidades térmicas (Ramírez, 2014).

#### **4.3. Geología y tipos de suelo**

En el municipio dominan las rocas ígneas extrusivas del periodo cuaternario y del neógeno (INEGI, 2009). Los suelos predominantes en la FES-C quedan definidos como vertisol pélico, de acuerdo con el INEGI (2009). Son suelos pesados, difíciles de labrar debido a su adhesividad y plasticidad cuando se humedecen y por su dureza cuando permanecen secos; de drenaje interno con tendencia a deficiencia (Ramírez, 2014).

#### **4.4. Vegetación**

Con base en la Serie VI de las Cartas de Uso y Vegetación del INEGI (INEGI, 2016), en la FES-C no existe vegetación forestal, ya todo el predio está dominado por zonas agrícolas y áreas urbano construidas.

#### **4.5. Preparación del terreno**

El lote experimental se preparó mecánicamente con dos pases de rastra en cruz, seguido de surcado con una separación de 0.80 m entre crestas.

#### **4.6. Diseño experimental**

El diseño experimental fue de bloques completos al azar con 14 tratamientos (Tabla 11) y tres repeticiones. Con un total de 42 unidades experimentales.

La unidad experimental (UE) estuvo constituida por: 3 surcos de 3 m de largo a una equidistancia de 0.80 m. Como parcela útil se consideraron los surcos centrales de cada unidad experimental, a los cuales les fue eliminado 0.5 m de cada extremo para evitar el efecto de orilla, por lo que quedaron 2 m lineales para realizar el

registro de las variables. Las UE se delimitaron en campo con ayuda de rafia y estacas para facilitar su ubicación y manejo.

Tabla 11. Diseño de tratamientos para la determinación del PCC con maleza del cultivo de amaranto en Cuautitlán Izcalli, Estado de México.

<b>Tratamientos</b>	
1	Con maleza los primeros 18 días y después limpio
2	Con maleza los primeros 36 días y después limpio
3	Con maleza los primeros 54 días y después limpio
4	Con maleza los primeros 72 días y después limpio
5	Con maleza los primeros 90 días y después limpio
6	Con maleza los primeros 108 días y después limpio
7	Con maleza todo el ciclo
8	Limpio los primeros 18 días y después enmalezado
9	Limpio los primeros 36 días y después enmalezado
10	Limpio los primeros 54 días y después enmalezado
11	Limpio los primeros 72 días y después enmalezado
12	Limpio los primeros 90 días y después enmalezado
13	Limpio los primeros 108 días y después enmalezado
14	Limpio todo el ciclo

#### **4.7. Manejo de Cultivo**

Se utilizó un cultivar nativo de amaranto (*Amaranthus hypochondriacus* L.) procedente de productores de Cuapiaxtla, Tlaxcala, México.

- El manejo agronómico se hizo de acuerdo con las recomendaciones de los productores de amaranto de Cuapiaxtla:
- La siembra se realizó el día 8 de junio del año 2016 de manera manual con ayuda de un bote de aluminio con orificios en el fondo, lo que permitió la siembra directa en matas cada 0.30 m.
- Limpieza de matas. Para tener una densidad de población óptima, se realizó un aclareo que dejó únicamente 4 plantas por mata. Una población total de 5,040 plantas en una superficie de 302.4 m<sup>2</sup> (Figura 16).
- El manejo de arvenses se llevó a cabo conforme a la estructura de tratamientos, en forma manual con un azadón y o machete (Figura 17 y 18).

- La cosecha se realizó 110 días después de la siembra.



*Figura 16. Matas aclareadas de amaranto.*

Fuente: Longinos Juárez (2016).



*Figura 16. Lote experimental a los 18 días de iniciado el ensayo.*

Fuente: Longinos Juárez (2016).



*Figura 17. Lote experimental a los 34 días de iniciado el ensayo.*

Fuente: Longinos Juárez (2016).

#### 4.8. Toma y análisis de los datos

Con base en las recomendaciones de Escalante y Kohashi (1993), como variables de respuesta se registraron tres de carácter morfológico:

- Altura de planta (cm)
- Diámetro basal y medio (cm)
- Peso seco (g) de las plantas

; así como una de tipo fisiológico:

- Biomasa total ( $\text{g m}^{-2}$ ).

Se probó la normalidad (Shapiro Wilk) y homogeneidad de varianzas (prueba de Levene) de todos los datos por variable, evidenciando un comportamiento de distribución normal ( $p \geq 0.001$ ), por lo que se procedió a su análisis mediante pruebas paramétricas.

A las variables morfológicas y fisiológica en estudio, se les aplicó un análisis de varianza, y posteriormente la prueba de comparación de medias de Tukey al 5% de probabilidad. Los análisis se llevaron a cabo con el paquete estadístico SAS® versión 9.0.

La determinación del periodo crítico de competencia se hizo de acuerdo a lo propuesto por (Ghosseh, *et al.*, 1996). El método consiste en someter a un análisis de regresión no lineal a los datos de rendimiento o biomasa total del cultivo en función de la duración y temporalidad del periodo de competencia con maleza.

Los datos de biomasa de amaranto obtenidos en función de los diferentes tratamientos con y sin maleza durante diferentes periodos de competencia, fueron sometidos a un análisis de regresión no lineal. Las ecuaciones para cada modelo fueron generadas con ayuda del software Curve Expert.

Para determinar, de acuerdo a los modelos generados, el número de días necesarios para dar lugar a una pérdida de la biomasa de 2.5, 5 y 10% y con esto determinar el PCC, se interpolaron los valores en las curvas de los modelos correspondientes.

## V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1. Manejo agronomico

La emergencia de las primeras plantas se registró el 13 de junio de 2016 y finalizó el 17 de junio de 2016 (Figura 19).



*Figura 18. Primeras plantas emergidas (izquierda). Vista parcial del periodo de emergencia (derecha).*

Fuente: Longinos-Juárez (2016).

La cosecha (Figura 20) se realizó a los 110 días por que existía un porcentaje mayor al 50% de plantas con índices fisiológicos propios de una planta lista para la cosecha.



*Figura 19. Cosecha y toma de datos.*

Fuente: Longinos Juárez (2016).



La toma de datos (altura y diámetro basal y medio) se realizó en campo al momento de la cosecha. El tallo de la especie de amaranto utilizada tiene forma de tipo cónico; en su base se encuentra la zona más ancha mientras que en la zona de diferenciación de la inflorescencia se encuentra la más delgada. Por tal motivo, se hicieron dos mediciones del diámetro: diámetros basales y medios.

## 5.2. Comunidad de arvenses

Las especies de maleza registradas durante el periodo acotado al desarrollo del experimento se consignan en el cuadro 6. Como se aprecia, dentro del sistema agrícola se encontraron 3 familias y 10 especies, la familia *Asteraceae* fue la que mayor número de miembros reporto con un 70% del total, mientras que de la familia *Malvaceae* y *Cucurbitaceae* apenas representaron un 30% del total entre las dos. Las especies que presentaron mayor abundancia durante el experimento fueron: *Bidens alba* (DC.) L., *Tithonia tubiformis* (Jacq.) Cass., *Galinsoga* sp. y *Sicyos deppei* G. Don.

Tabla 12. Especies de arvenses registradas en el cultivo de amaranto en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán Izcalli.

Familia	Especie	Nombre vulgar	Ciclo de vida
Asteraceae	<i>Bidens aurea</i> (Ait.) Sherff	Té de milpa	Perenne
Asteraceae	<i>Bidens alba</i> (DC.) L.	Aceitilla tropical	Anual o perenne de vida corta
Asteraceae	<i>Galinsoga</i> sp.	Estrellita	Anual
Asteraceae	<i>Picris echioides</i> L.	Lengua de gato	Anual
Asteraceae	<i>Simsia amplexicaulis</i> (Cav.) Pers.	Acahualillo	Anual
Asteraceae	<i>Tithonia tubiformis</i> (Jacq.) Cass.	Gigantón	Anual
Asteraceae	<i>Taraxacum officinale</i> G. H. Weber ex Wigg.	Diente de león	Bianual o perenne
Cucurbitaceae	<i>Sicyos deppei</i> G. Don	Chayotillo	Anual
Malvaceae	<i>Malva nicaeensis</i> All.	Malva	Anual
Malvaceae	<i>Malva parviflora</i> L.	Malva de quesitos	Anual

### 5.3. Altura de la planta

De acuerdo con el Análisis de Varianza (ANOVA), la variable altura de planta no mostró diferencias estadísticas significativas por efecto de los tratamientos estudiados ( $P=0.067$ ) (Tabla 13).

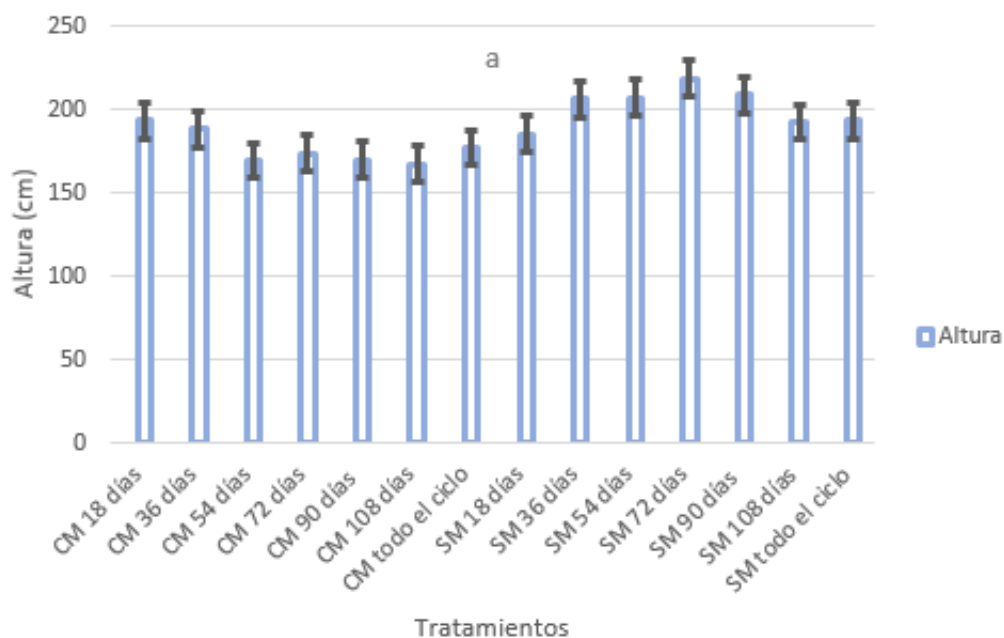
Tabla 13. ANOVA, altura de amaranto.

Fuentes de variación	GL	SC	CM	Fc	P <sub>0.05</sub>
Altura	13	10697.13051	822.85619	1.98	0.0669 <sub>NS</sub>
Bloque	2	845.73728	422.86864	1.02	0.3753 <sub>NS</sub>
Error	26	10800.47406	415.40285		
Total	41	22343.34184			

\* =  $P \leq 0.05$ ; NS = no significativo

En la siguiente figura (22) se evidencia la ausencia de significancia de la variable altura en relación con los tratamientos evaluados, dado que el comportamiento de todas las medias es estadísticamente igual. Pese a ello, se aprecia una ligera tendencia de mayor crecimiento vertical en los tratamientos libres de competencia, particularmente a los 54, 72 y 90 días libres de maleza. La similitud entre tratamientos (con malezas vs sin maleza) se puede explicar debido a que el amaranto no ha sido sometido a un proceso de mejoramiento genético formal que estabilice todos los caracteres. Por lo que se asume que la variación de la altura no fue originada por efecto de los tratamientos.

El intervalo de las alturas de este experimento osciló entre los 150 cm y los 220 cm, dato similar al que registró Torres-Saldaña (2006) en cultivares de amaranto sometidos a diferentes densidades de población, los cuales tuvieron un intervalo de altura de entre 150-250 cm.



SM= Sin maleza; CM= Con maleza

Figura 20. Diferencia de medias por tratamiento para la variable altura de planta de amaranto.

#### 5.4. Diámetros de la planta

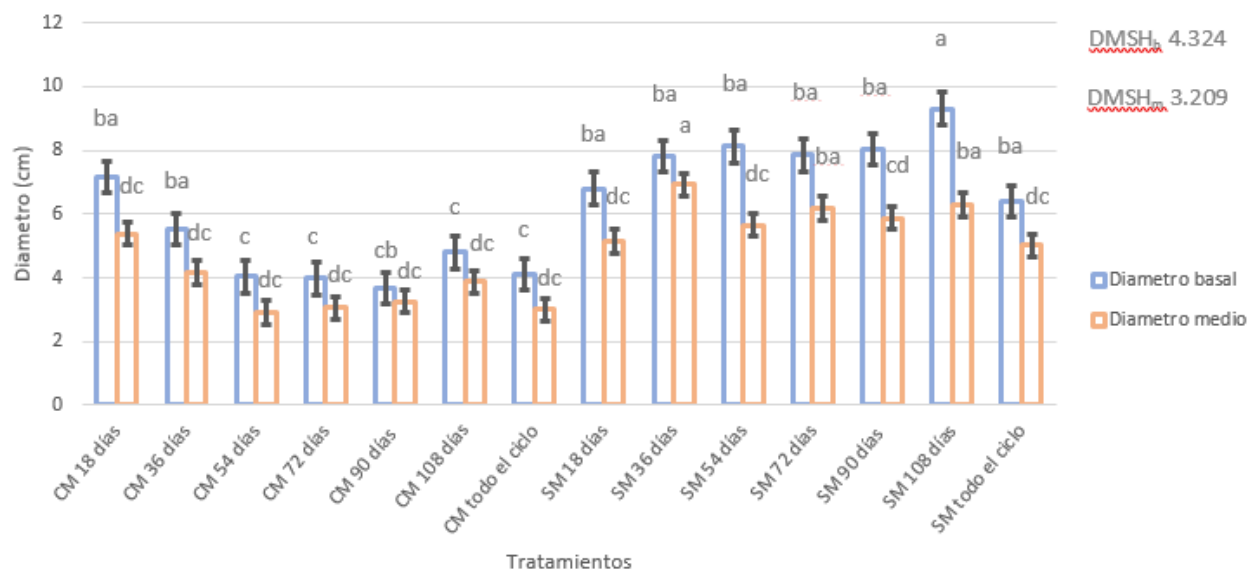
En los diámetros basales y medios, se detectaron diferencias significativas mediante el análisis de varianza por efecto del periodo de competencia con maleza ( $P=0.0003$ ), lo que sugiere que existe un efecto causado por las plantas arvenses sobre el diámetro del tallo en el amaranto (Tabla 14).

Tabla 14. ANOVA, diámetros de amaranto.

Fuentes de variación	GL	SC	CM	Fc	P <sub>0.05</sub>
<b>Diámetro Basal</b>	13	138.3015452	10.6385804	4.9	0.0003*
<b>Bloque</b>	2	2.7781762	1.3890881	0.64	0.5354 <sub>NS</sub>
<b>Error</b>	26	56.4322905	2.1704727		
<b>Total</b>	41	197.5120119			
<b>Diámetro Medio</b>	13	73.61704048	5.66284927	4.98	0.0003*
<b>Bloque</b>	2	0.07898571	0.03949286	0.03	0.9659 <sub>NS</sub>
<b>Error</b>	26	29.594081	1.1382339		
<b>Total</b>	41	103.2901071			

\* =  $P \leq 0.05$ ; NS = no significativo

Con respecto a los diámetros (basales y medios) del amaranto, como se observa en la figura 22, el tratamiento 13 (108 días sin competencia) tuvo el mayor diámetro basal y el segundo mayor diámetro medio, con 9.3 cm y 6.28 cm, respectivamente; esto comparado con los tratamientos 5 (90 días con competencia) y 3 (54 días con competencia), los cuales mostraron un diámetro considerablemente menor (3.66 cm y 2.90 cm, respectivamente).



SM= Sin maleza; CM= Con maleza; DMSH<sub>b</sub>=Diferencia mínima significativa honesta basal; DMSH<sub>m</sub>=Diferencia mínima significativa honesta media.

Figura 21. Diferencia de medias por tratamiento para las variables diámetro de tallo basal y medio.

En el trabajo de Torres-Saldaña (2006) se indica que el diámetro de tallo basal en amaranto tiene un intervalo de longitud de entre 1.40-2.10 cm, dato notablemente inferior con respecto a la información generada en la presente investigación, incluso al compararlo con los resultados del tratamiento 5, en el cual el diámetro basal tuvo un valor de 3.66 cm aproximadamente 174% mayor. El tratamiento 13 registró un diámetro basal 5 veces mayor que el sugerido por Torres-Saldaña (2006) lo cual sugiere que el aumento de la densidad poblacional del cultivo de amaranto afecta negativamente el diámetro del tallo, pero en menor magnitud que la competencia con maleza.

## 5.5. Biomasa Total

Para la biomasa total, el análisis de varianza presentó diferencias altamente significativas al interior de cada grupo de tratamientos ( $P < 0.0001$ ). El efecto de la competencia cultivo vs maleza expuso una reducción notoria en la acumulación de biomasa del 82%, resultado del periodo de competencia registrado en el tratamiento 7 (todo el ciclo en competencia), en comparación con el testigo libre de malezas o todo el ciclo limpio (tratamiento 14).

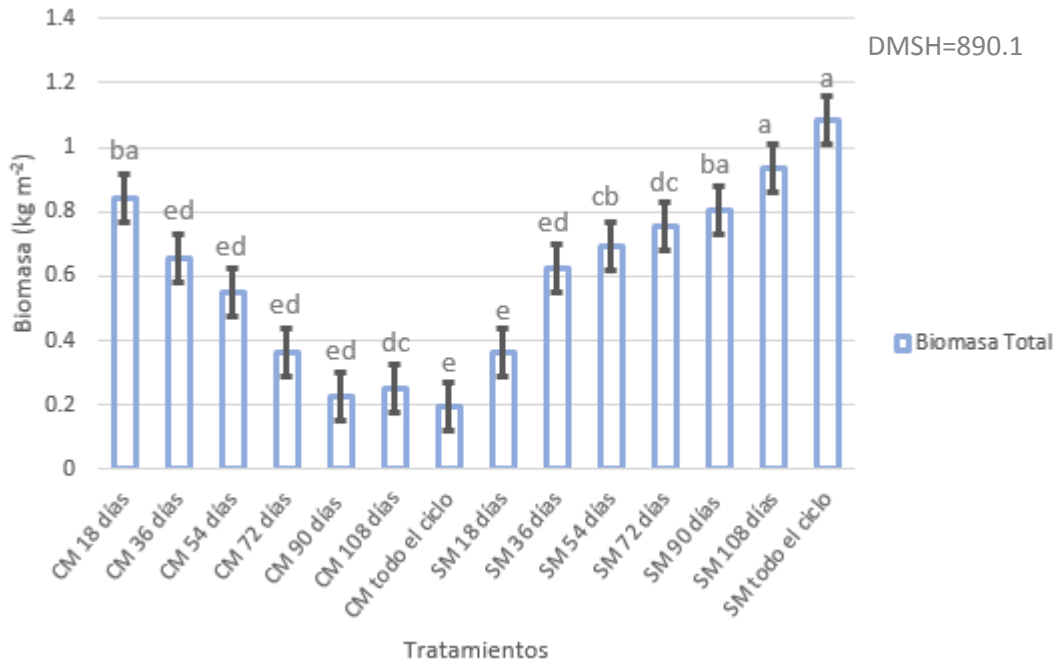
Tabla 15. ANOVA, biomasa total de amaranto.

Fuentes de variación	GL	SC	CM	Fc	P <sub>0.001</sub>
<b>Biomasa Total</b>	13	7817268.112	601328.316	6.87	<0.0001**
<b>Bloque</b>	2	1464212.536	732106.268	8.36	0.0016 <sub>NS</sub>
<b>Error</b>	26	2275764.22	87529.39		
<b>Total</b>	41	11557244.87			

\*\* =  $P \leq 0.001$ ; NS = no significativo

La prueba de medias de Tukey señala que el tratamiento libre de arvenses durante todo el ciclo del cultivo (tratamiento 14), permite alcanzar una mayor ganancia de biomasa, con 1,083.4 g m<sup>-2</sup>. Sin embargo, estadísticamente no existe diferencia con el tratamiento que permaneció limpio por los primeros 18 días (tratamiento 1) cuya ganancia de biomasa fue de 840.9 g m<sup>-2</sup> (Figura 23).

Torres-Saldaña (2006) reporta que las biomásas obtenidas en su ensayo experimental fueron las siguientes: 0.6847, 1.3933, 2.6482 y 5.7053 kg m<sup>-2</sup>; contrastando con los resultados obtenidos en el presente estudio, ya que el tratamiento con mayor acumulación de biomasa (tratamiento 14) sólo acumuló una biomasa de 1.1 kg m<sup>-2</sup>, teniendo una acumulación de biomasa 37% mayor al peor tratamiento de Torres-Saldaña, no obstante comparado con los tres tratamientos restantes de Torres-Saldaña, la acumulación de biomasa del tratamiento 14 fue menor en un 35%, 141% y 419% respectivamente. El tratamiento (7) con 0.19 kg m<sup>-2</sup> de biomasa acumulada representa el 4% del mejor tratamiento de Torres-Saldaña.



SM= Sin maleza; CM= Con maleza; DMSH=Diferencia mínima significativa honesta.

*Figura 22. Diferencia de medias entre tratamientos sin maleza para la variable biomasa total.*

Estas diferencias se pueden explicar por dos factores principales: el primero es la densidad de plantas, puesto que en el ensayo de Torres-Saldaña (2006) se manejaron dos densidades diferentes, 62,500 y 375,000 plantas ha<sup>-1</sup>, mientras que la densidad del presente ensayo fue de 124,875 plantas ha<sup>-1</sup>; esto es, casi el doble del primer tratamiento empleado por Torres-Saldaña (2006). El segundo factor que puede explicar la baja acumulación de biomasa es la competencia; dado que mientras que en el ensayo experimental de Torres-Saldaña (2006) sólo existió competencia intraespecífica entre individuos de amaranto, en el presente estudio se presentaron los cuatro componentes de efectos competitivos.

- Competencia intraespecífica (cultivo vs cultivo)
- Competencia interespecífica (cultivo vs malezas)
- Competencia interespecífica (maleza A vs maleza B vs maleza C, etc.)
- Competencia intraespecífica (maleza A vs Maleza A)

A diferentes periodos de competencia.

### 5.5. Periodo crítico de competencia en el cultivo de amaranto

La acumulación de biomasa de los tratamientos limpios de maleza fue descrita adecuadamente por el modelo:

$$Y = A * e^{(B * X)}$$

Donde: Y= biomasa acumulada; A y B= constantes positivas que decrecen exponencialmente; X= días en competencia.

Mientras que la acumulación de biomasa de los tratamientos en competencia con maleza tuvo un buen ajuste con el modelo de regresión:

$$Y = A * (B - e^{(-C * X)})$$

Donde: Y= biomasa acumulada; A=constante de la biomasa del amaranto sin competencia; B= constante del aumento de la biomasa entre el valor máximo y la asíntota inferior; C= coeficiente de duración de la competencia; X= días en competencia.

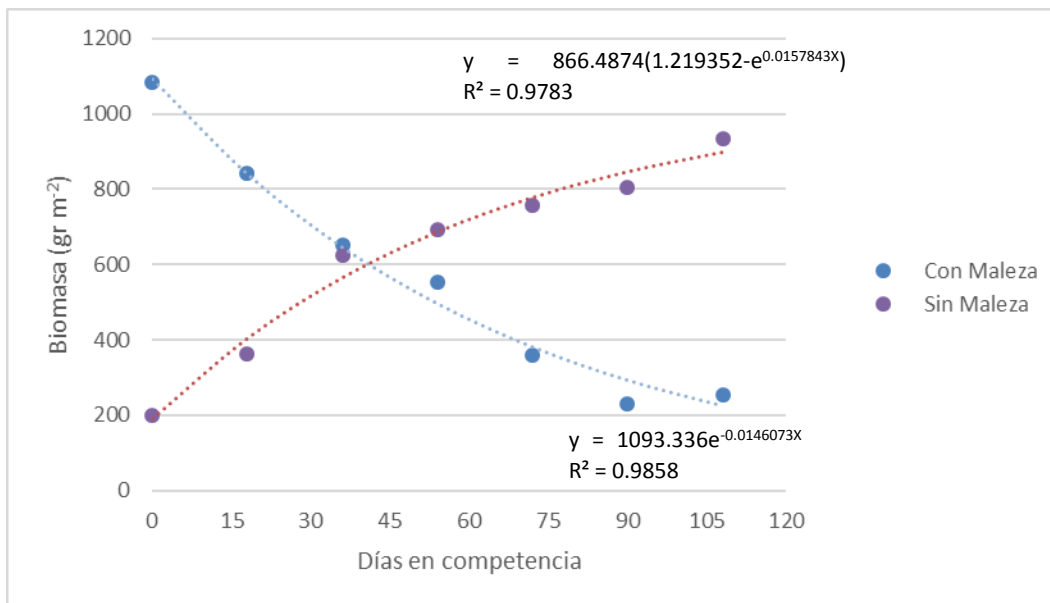


Figura 23. Periodo crítico de competencia en el cultivo de amaranto.

La competencia con maleza durante 18, 36 y 54 días redujo la acumulación de biomasa en un 22, 40 y 49%, en relación con el tratamiento sin presencia de maleza. De igual forma, se estimó una reducción máxima en la acumulación de biomasa del

82% al permitir la competencia con maleza durante todo el ciclo del cultivo de amaranto.

Se confirma que la competencia de las malezas con el amaranto se establece en las primeras etapas de desarrollo del cultivo, ya que la reducción del 5% en la acumulación de biomasa se alcanza permitiendo la competencia con maleza los primeros cuatro días del cultivo; una pérdida del 10% de la biomasa ocurre con 7 días de competencia con maleza.

Estos resultados permiten plantear la necesidad de mantener libre al amaranto de la competencia con maleza en los primeros 70 días de su desarrollo, para así evitar reducciones en su rendimiento mayores al 10%. Las medidas de control de malezas deben comprender, al menos, 63 días adicionales a los primeros 7 después de la siembra del amaranto.

El PCC puede determinarse a través de las interpolaciones en los modelos generados, cuando se tiene una pérdida de la biomasa de 10 % (Knezevic y Datta, 2015), lo cual corresponde al periodo comprendido del día 7 al día 79 del ciclo de cultivo del amaranto. Lo cual indica un PCC largo en comparación al de otros cultivos como el maíz, en donde se ha encontrado un PCC de alrededor de 42 días después de la siembra. Algunos autores como indican que PCC largos son indicadores de cultivos de baja competitividad, por lo que se podría inferir que el amaranto es uno de ellos (Ghosheh, *et al.*, 1996).



## V. CONCLUSIONES

En Cuautitlán Izcalli, Estado de México, el periodo crítico de competencia del amaranto son las primeras 9 semanas o de los 0 a los 80 días después de la siembra. Por lo anterior, las medidas de control de malezas deben extenderse durante este lapso para evitar pérdidas en la acumulación de biomasa superiores al 5%.

Los datos de la Tabla 13 confirman la hipótesis de que la biomasa acumulada por el cultivo de amaranto decrece conforme aumenta el periodo de competencia con la maleza.

*Tabla 16. Periodo máximo y mínimo de competencia con maleza que causan reducción en la biomasa del cultivo de amaranto calculados a partir de las ecuaciones de regresión generadas.*

<b>% Pérdida de biomasa</b>	<b>Máximo periodo con maleza (días)</b>	<b>Mínimo periodo libre de malezas (días)</b>
<b>2.5</b>	2	100
<b>5</b>	4	92
<b>10</b>	7	79

## VI. BIBLIOGRAFÍA

- Acker, R. C., Swanton, C. J. y Weise, S. F. (1993). The critical period of weed control in soybean (*Glycine max* L. Merr.). *Weed science* 41(2): 194-200.
- Alonso, E. O. (2013). Entre chiles y flores: quelites. Recuperado de <http://elclaustru.edu.mx/clastronomia/index.php/investigacion/64-entre-chiles-y-flores-quelites>, el 5 de Julio de 2017.
- Araiza-Mendoza, A. (2013). *Rendimiento de grano y forraje en variedades de amaranto bajo dos densidades de poblacion en San Luis Potosí*. (Tesis Licenciatura). Facultad de Agronomía y Veterinaria. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. San Luis Potosí, México.
- Aramendiz-Tatis, H., Cardona-Ayala, C., y De Oro, R. (2010). Periodo de interferencia de arvenses en el cultivo de berenjena (*Solanum melongena* L.). *Agronomía Colombiana* 28(1): 81-88.
- Asociación Mexicana del Amaranto. (2003). *Centro de información al consumidor de amaranto*. "Historia del amaranto": Recuperado de <http://www.amaranto.com.mx/elamaranto/historia/historia.htm>, el 09 de Febrero de 2019.
- Ayala-Garay, A. V., Rivas-Valencia, P., Cortés-Espinoza, L., de la O Olán, M., Escobedo-López, D. y Espitia-Rangel, E. (2014). La rentabilidad del cultivo de amaranto (*Amaranthus* spp.) en la región centro de México. *Ciencia Ergo Sum* 21(1): 47-54.
- Barreyro, R., y Sánchez-Vallduvi, G. (2002). Delimitacion del periodo critico de competencia de malezas en el cultivo de lino (*Linum usitatissimum*). *Planta Daninha* 20(3): 399-403.
- Blanco-Valdés, Y. y Leyva-Galán, Á. (2011). Determinación del periodo crítico de competencia de las arvenses con el cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris*, L.). *Cultivos Tropicales* 32(2): 143-153.

- Blanco-Valdés, Y., Leyva-Galán, Á. y Castro-Lizazo, I. (2014). Determinación del periodo crítico de competencia de arvenses en el cultivo de maíz (*Zea mays L.*). *Cultivos Tropicales* 35(3) 62-69.
- Booth, B., Murphy, S., y Swanton, C. (2003). *Weed Ecology in Natural and Agricultural Systems*. CABI Publishing. Londres, U.K.
- Carmona Jiménez, María Estela (1994). *Condiciones edafoclimáticas observadas durante el desarrollo del cultivo de amaranto en Chalco, Edo. de México (Tesis de maestría)*, UNAM, México.
- Dillehay, B. L., Curran, W. S. y Mortensen, D. A. (2011). Critical Period for weed Control in Alfalfa. *Weed Science* 59(1): 68-75.
- Domínguez, S. B. (2014). El Cultivo del Amaranto en México. Grupo de Enlace para la Promoción del Amaranto en México. *Boletín II*. Recuperado de: <https://grupoamarantomexicano.wordpress.com/2014/08/07/boletin-numero-ii-agosto-2014-el-cultivo-del-amaranto-en-mexico/>, el 5 de Julio de 2017.
- Escalante, E., y Kohashi, J. S. (1993). *El rendimiento y crecimiento del frijol. Manual para la toma de datos*. Colegio de Posgraduados. Estado de México. México,
- Evans, S.P., Knezevic S.Z., Shapiro C.A., Lindquist J.L (2002). *Nitrogen application influences the critical period for weed control in corn*. *Weed Science* 51(3):408-417.
- FAO. (2004). *Recomendaciones para el manejo de malezas*, Recuperado de: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/a0884s/a0884s.pdf>, el 19 de Mayo de 2017.
- Fernández, O. A. (1982). Manejo integral de malezas. *Planta Daninha* V(2): 69-79.
- García, E. 2004. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. Serie Libros. Núm. 6. Recuperado de: [http://www.igeograf.unam.mx/sigg/utilidades/docs/pdfs/publicaciones/geo\\_si\\_glo21/serie\\_lib/modific\\_al\\_sis.pdf](http://www.igeograf.unam.mx/sigg/utilidades/docs/pdfs/publicaciones/geo_si_glo21/serie_lib/modific_al_sis.pdf), el 13 de mayo del 2017.

- Ghosheh, H. Z., Holshouser, D. L., y Chandler, J. M. (1996). The Critical Period of Johnsongrass (*Sorghum halepense*) Control in Field Corn (*Zea mays*). *Weed science* 44(4): 944-947.
- Hall, M. R., Swanton, C. J. y Anderson, G. W. (1992). The Critical Period of Weed Control in Grain Corn (*Zea mays*). *Weed Science* 40(3): 441-447.
- INAH. (2008). El Huautli alimento de toltecas, Recuperado de: <http://www.inah.mx/es/boletines/2263-el-huautli-alimento-de-toltecas>, el 4 de Julio de 2017.
- INDESOL. (2014). *Manual para la producción de amaranto, cultivo, cosecha y post cosecha*. Programa Eco-Amaranto. Instituto Nacional de Desarrollo Social, Puente a la Salud Comunitaria, A.C.. México. Recuperado de: [https://www.puentemexico.org/sites/default/files/puente/attachments/manual\\_ecoamarantofinal.pdf](https://www.puentemexico.org/sites/default/files/puente/attachments/manual_ecoamarantofinal.pdf), el 15 de Septiembre de 2017.
- INEGI. (2009). Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Cuautitlán. Clave geoestadística 15024. Recuperado de: [http://www3.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos\\_geograficos/15/15024.pdf](http://www3.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/15/15024.pdf), el día 20 de octubre del 2017.
- INEGI, 2016. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Conjunto de datos vectoriales de uso del suelo y vegetación Escala 1:250 000: Serie VI/ Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México.
- Jiménez, M. E. (1994). *Condiciones edafoclimaticas observadas durante el desarrollo del cultivo de amaranto en Chalco, Edo. de México*. (Tesis de Maestria), México.
- Kalaher, C. J., H. D. Coble, and A. C. York. (1997). *Morphological effects of Roundup application timings on Roundup Ready cotton*. *Proc. Beltwide Cotton Conf* 1997:780.
- Kauffman C. S. y Weber, L. F. (1990). Grain amaranth. In: Janick, J. y Simon, J. E. (ed.). *Advanced in new crops*. Timber Press, Portland, USA. p. 127-139.

- Knezevic, S. Z., Evans, S.P., Blankenship, E.E., Van Acker R.C. y Lindquist J.L. (2002). Critical Period of weed control: the concept and data analysis. *Weed Science* 50:773-786.
- Knezevic, S. Z., y Datta, A. (2015). The Critical Period for Weed Control: Revisiting Data Analysis. *Weed Science* 63(1): 188-202.
- Mapes, E.C, y Espitia-Rangel, E. (2010). Recopilación y análisis de la información existente de las especies del género *Amaranthus* cultivadas y de sus posibles parientes silvestres en México (informe final). Instituto de Biología- UNAM, Campo Experimental Bajío-INIFAP. Mexico.
- Mijares Fernández, Mario Alberto. (1991). *Procesador térmico del amaranto (Tesis de licenciatura)*, UNAM, México.
- Missouri Botanical Garden. (2019). Base de datos Tropicos.org del Missouri Botanical Garden, Recuperado de: <http://www.tropicos.org/Name/1100009>, el 28 de Agosto de 2017.
- Mora-Mata, E. (2008). *Evaluación de etapas fenológicas en el cultivo de amaranto (Amaranthus hypochondriacus) para su comercialización y producción.* (Tesis de Licenciatura), UAAAN, Saltillo, México.
- Morales, E., J. Lembcke and G. G. Grahan. (1988). Nutritional value for young children of grain amaranth and maize-amaranth mixtures: Effect of processing, *The Journal of nutrition*, American Institute of Nutrition, 118 (1), 78-85.
- Nieto C., Carlos. (1990). *El cultivo de amaranto Amaranthus spp una alternativa agronómica para Ecuador*, Boletín (52), Ecuador.
- Odero, D. C. y Wright, A. L. (2013). Phosphorus Application influences the critical period of weed control in lettuce. *Weed Science* 61(3): 410-414.
- Olvera-Zapata, L. (2006). *Análisis Técnico – Financiero en la Producción de Amaranto (Amaranthus hypochondriacus L.) en el Municipio de Temoac*,

- Morelos (Tesis de Licenciatura). Universidad Autónoma del Estado de Morelo. Morelos, México,
- Ornelas, U.R. (1983). "El género *Amarantus*" en *Ciencias medicobiológicas*, Universidad de Guadalajara (13), pp. 1-25.
- Orozco-Nagore, S. (2009). *Determinación de costos en productos de amaranto, para fijar precios, caso amarantel*. (Tesis de maestría). Instituto Politécnico Nacional. CDMX. México.
- Ramírez, M. R. (2014). *Normal Climática de la estación meteorológica Almaraz, Cuautitlán Izcalli, México (1987-2013)*. (Tesis de Licenciatura). Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM. México.
- Ramírez-Vázquez, M., Espitia-Rangel, E., Carballo-Carballo, A., Zepeda-Bautista, R., Vaquera-Huerta, H., y Córdova-Téllez, L. (2011). Fertilización y densidad de plantas en variedades de amaranto (*Amaranthus hypochondriacus* L.). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 6(2): 855-866.
- Robles, E. R., Cruz, R. S. y García., J. R. (2005). Periodo crítico de competencia del polocote (*Helianthus annuus* L.) en sorgo para grano. *Agrociencia* 39(2): 205-210.
- SAGARPA. (2015). *Guía para la asistencia Técnica Agrícola de Nayarit. Amaranto*. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Gobierno de Nayarit. Recuperado de: <http://www.cesix.inifap.gob.mx/guias/AMARANTO.pdf>, el 24 de Marzo del 2017.
- SENASICA. (2015). *Campaña contra malezas reglamentadas*. México, SAGARPA. Recuperado de: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/260760/FEBRERO\\_2015.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/260760/FEBRERO_2015.pdf), el 12 de Noviembre de 2017.

- SIAP. (2016). *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola*. Recuperado de: [http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola\\_siap\\_gb/ientidad/index.jsp](http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola_siap_gb/ientidad/index.jsp), el 19 de Mayo de 2017.
- SINAREFI. (s/f). *Red amaranto*. Recuperado de: [http://www.sinarefi.org.mx/redes/red\\_amaranto.html](http://www.sinarefi.org.mx/redes/red_amaranto.html), el 5 de Julio de 2017.
- SINAREFI. (s/f). *Red quelite*. Recuperado de: [http://www.sinarefi.org.mx/redes/red\\_quelite.html](http://www.sinarefi.org.mx/redes/red_quelite.html), el 5 de Julio de 2017.
- Smitchge, J. A., Burke, I. C. y Yenish, J. P. (2012). The Critical Period of Weed Control in Lentil (*Lens culinaris*) in the Pacific Northwest. *Weed Science* 60(1): 81-85.
- Swanton, C. J., O'Sullivan, J. y Robinson, D. E. 2010. The critical weed-free period in carrot. *Weed science* 58(3): 229-233.
- Torres Robledo, Karen. (2014). *Desarrollo de una formulación de pasta para lasaña a base de harina de amaranto para mejorar su calidad nutrimental (Tesis de ingeniería)*, FES Cuautitlán, UNAM, México.
- Torres-Saldaña, G. (2006). Respuesta de genotipos de amaranto a densidades de población. *Revista Fitotecnia Mexicana* 29(4): 307-312.
- UNICEF-MEXICO. (s/f). El doble reto de la malnutrición y la obesidad. Recuperado de: <https://www.unicef.org/mexico/spanish/17047.htm>, el 5 de Septiembre de 2017.
- Velasco, A. M. y Villela, S. (2016). El amaranto. *Arqueología Mexicana* 128: 21-22.
- Van Acker, C. R., C. J. Swanton, and S. F. Weise. 1993. The critical period of weed control in soybean. *Glycine max* 41: 194–200.
- Zita, P. G. (2012). *Resistencia de malas hierbas a herbicidas inhibidores de la enzima ACCasa*. Tesis Doctoral, Universidad de Córdoba, Córdoba, España.