



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO FACULTAD DE INGENIERÍA



Respuesta de la aplicación de peróxido de hidrogeno como elicitor en hojas de amaranto
(*Amaranthus hypochondriacus* L.)

Tesis Individual.

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de

Ingeniero Agroindustrial

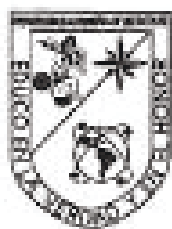
Presenta:

Jorge Alberto García Anaya

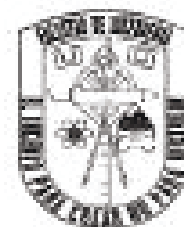
Dirigido por:

Dr. Jorge Luis Chávez Servín

Centro Universitario. Querétaro, Qro. México.
Noviembre 2019



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE
QUERÉTARO
FACULTAD DE INGENIERÍA**



**Respuesta de la aplicación de peróxido de
hidrógeno como elicitador en hojas de amaranto
(*Amaranthus hypochondriacus* L.)**

Tesis Individual.

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de
Ingeniero Agroindustrial

Presenta:
Jorge Alberto García Anaya

Dirigido por:
Dr. Jorge Luis Chávez Servín

SINODALES

Dr. Jorge Luis Chávez Servín
Presidente

M. en C. Adán Mercado Luna
Secretario

Dr. Enrique Rico García
Vocal

Dr. M. Angélica Feregrino Pérez
Suplente

Firma

Firma

Firma

Firma

Centro Universitario, Querétaro, Qro. México.
Octubre 2019

Dedicatoria

A mis padres.

Dirección General de Bibliotecas UAQ

Agradecimientos

Primero que nada, agradezco a Dios por permitirme llegar hasta este momento tan importante en la vida, y por permitirme conocer a tantas personas, que en gran medida contribuyeron para ser de mi la persona que soy hoy en día.

Quisiera agradecer al Doctor Jorge Luis Chávez Servín por haberme dado la oportunidad de trabajar en el proyecto con el cual realice esta tesis como requisito de titulación, por su gran disposición y paciencia en tiempo para atender las dudas y las necesidades que se tuvieron durante el proyecto.

Al Maestro Adán Mercado Luna por la ayuda que me brindo desde que lo conozco, durante el servicio social, prácticas profesionales, proyecto de tesis, dudas durante la carrera y ser mi sinodal.

A la Doctora A. Angélica Feregrino Pérez por su ayuda y apoyo incondicional durante la carrera, y por ser mi sinodal para concluir este proyecto de tesis

Al Doctor Enrique Rico García por su ayuda durante la carrera y por ser mi sinodal para concluir el proyecto de tesis.

Al Doctor Irineo Torres Pacheco por la orientación desde la primera clase que tome con él, por el apoyo durante la carrera.

Al Doctor Ramón Gerardo Guevara González por su interés durante el desarrollo de la carrera, por el esfuerzo y tiempo que me brindo.

A La Maestra Carmen Sosa Garza por facilitarme el poder terminar todos los procesos administrativos y por escuchar y atender las diversas dudas y necesidades durante la carrera.

A todos mis profesores sin los cuales no hubiera podido llevar a cabo estos estudios.

A la Universidad Autónoma de Querétaro y en especial a la Facultad de Ingeniería por haberme permitido ser parte ellas.

Jorge Alberto García Anaya

Resumen

El amaranto es una planta de gran importancia ya que posee características nutricias muy interesantes. Una de las más importantes es su contenido y calidad de proteína, por su aporte de aminoácidos, así como la gran cantidad de antioxidantes contenidos en sus hojas. Además, es una especie anual de crecimiento rápido y de gran adaptación con alta resistencia a la sequía.

El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la aplicación foliar del peróxido de hidrógeno sobre la capacidad antioxidante de amaranto (*Amaranthus hipocondriacus*) de la variedad revancha bajo condiciones de invernadero. El experimento se llevó a cabo en un invernadero con un área de 88 m². La solución nutritiva fue la de Steiner (1984). Se utilizó un diseño experimental de bloques completamente al azar con cuatro niveles de peróxido de hidrógeno: 0, 125, 250 y 400 Mm, con seis repeticiones. Es decir, la unidad experimental fue de seis plantas, dando un total de 144 plantas. Se evaluaron las siguientes variables: altura de planta, diámetro en la base del tallo, tamaño de panoja de amaranto, número de hojas, longitud de raíz, análisis químico proximal de hoja y semilla, clorofila, contenido de fenoles totales, taninos, antocianinas y capacidad antioxidante. Los resultados se analizaron estadísticamente con el paquete InfoStat versión 2019 mediante un análisis ANOVA, seguido de una prueba *pos hoc* de Tukey utilizando un intervalo de confianza del 95% y una significancia ($p < 0.05$).

Como resultados se encontraron diferencias significativas en el rendimiento con la concentración 125 mM, incrementando algunas variables como la altura de la planta, el contenido de fenoles totales y de antocianinas en las hojas; la concentración de 250 mM no tuvo efectos significativo sobre las variables de rendimiento, pero incrementó el contenido de fenoles totales en semilla; por el contrario la concentración 400 mM afecto negativamente el contenido de clorofila, el diámetro del tallo, pero incremento el contenido de antocianinas en semilla.

PALABRAS CLAVE: *Amaranto, Invernadero, capacidad antioxidante.*

Abstract

Amaranth is a plant with a big importance, it has very interesting nutritional characteristics; one of the most important is its content and quality of protein, its contribution of amino acids as well as the large amount of antioxidants contained in its leaves. It is also an annual fast growing and highly adaptable species with high resistance to drought.

The objective of this research was to evaluate the effect of foliar application of hydrogen peroxide on the antioxidant capacity of amaranth (*Amaranthus hypocondriacus*) of the revancha variety under greenhouse conditions. The experiment was carried out in a greenhouse with an area of 88 m². The nutrient solution was Steiner's solution (1984), a completely randomized experimental block design with four levels of hydrogen peroxide: 0, 125, 250 and 400 mM; With six replications, the experimental unit was six plants, giving a total of 144 plants. The following variables were evaluated: plant height, diameter at the base of the stem, size of amaranth panicle, number of leaves, root length, proximal chemical analysis of leaves and seeds chlorophyll, phenolic compound contents, tannins content, anthocyanin content and Antioxidant Ability Results were analyzed statistically with InfoStat version 2019 Windows by means of Tukey's test with ($p < 0.05$).

As results, significant differences were found in yield with the 125 mM contraction, increasing some variables such as the height of the plant, the content of total phenols and anthocyanin in the leaves. The concentration of 250 mM had no significant effect on the yield variables, but increased the content of total phenols in seed; in other way, the 400 mM concentration negatively affected the chlorophyll content, the stem diameter, but increased the anthocyanin content in seed.

KEY WORDS: *Amaranth, Greenhouse, antioxidant capacity.*

Índice

Dedicatoria	i
Agradecimientos.....	ii
Resumen	iii
Abstract	iv
Índice.....	v
Índice de figuras	ix
Índice de Cuadros	x
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO II. ANTECEDENTES.....	3
2.1 Características generales del amaranto (<i>Amarantus hipocondriacus</i> L.).....	3
2.1.1 Taxonomía del amaranto.....	3
2.1.2 Morfología del amaranto.....	4
2.1.3 Metabolismo Especializado.....	10
2.1.4 Compuestos Fenólicos.....	10
2.2 Elicitores.....	12
2.2.1 Peróxido de hidrógeno (H ₂ O ₂).....	13
2.3 Requerimientos agrícolas del cultivo de amaranto.....	14
2.3.1Clima.....	14
2.2.2 Ciclo de cultivo.....	14
2.2.3 Importancia del uso de invernaderos.....	15
2.4 Cultivo del amaranto en el mundo	16
2.4.1. Historia del amaranto.....	16
2.4.2 Cultivo del amaranto en México.....	18
CAPÍTULO III. DESCRICPCIÓN DELPROBLEMA.....	20

CAPÍTULO IV. JUSTIFICACIÓN.	21
CAPÍTULO V. HIPÓTESIS.	21
CAPÍTULO VI. OBJETIVOS.	22
CAPÍTULO VII. MATERIALES Y MÉTODOS.	23
7.1 Implementación del cultivo de amaranto bajo condiciones de invernadero. ...	23
7.1.1 Localización geográfica del sitio experimental.	23
7.1.2 Características del invernadero.	23
7.1.3 Acondicionamiento del invernadero.	24
7.1.4 Establecimiento del cultivo.	24
7.1.4.1 Sistema de riego.	24
7.1.4.2 Contenedores y sustratos.	24
7.1.4.3 Material Vegetal.	25
7.1.4.4 Manejo sanitario.	25
7.1.5 Manejo del cultivo.	26
7.1.5.1 Siembra.	26
7.1.5.2 Producción de plántula.	26
7.1.5.3 Trasplante.	26
7.1.5.4 Poda.	27
7.1.5.5 Tutorado.	27
7.2 Evaluación del efecto de diferentes concentraciones de peróxido de Hidrógeno sobre el rendimiento del cultivo.	27
7.2.1 Arreglo de tratamientos	27
7.2.3 Diseño de tratamientos	27
7.2.3 Aplicación de peróxido de hidrogeno	28
7.2.4 Determinación del rendimiento del cultivo.	28

7.2.4.1 Determinación de la altura de la planta.	28
7.2.4.2 Determinación del diámetro de tallo.	29
7.2.4.3 Conteo de Hojas.	30
7.2.4.4 Longitud de panoja.	30
7.2.4.5 Longitud de raíz.	30
7.2.4.6 Análisis químico proximal (AQP)	30
7.3 Evaluación del efecto de peróxido de Hidrógeno sobre el contenido de bioactivos presentes en las hojas de amaranto.	31
7.3.1 Concentración de clorofila.	31
7.4 Evaluación del efecto de diferentes concentraciones de peróxido de Hidrógeno sobre la capacidad antioxidante de extractos de las hojas de amaranto.	32
7.4.1 Colecta de muestra de hoja.	32
7.4.2 Manejo de la muestra.	32
7.4.3 Capacidad antioxidante.	32
7.5 Análisis de datos.	33
CAPÍTULO VIII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.	34
8.2 Evaluación del efecto de diferentes concentraciones de peróxido de Hidrógeno sobre el rendimiento del cultivo.	34
8.2.1 Rendimiento del cultivo.	¡Error! Marcador no definido.
8.2.1.1 Altura de la planta.	¡Error! Marcador no definido.
8.2.1.2 Diámetro de tallo.	36
Cuadro 10. Diámetro de planta. El resultado se muestra en cm. Letras diferentes indican diferencia significativa ($p < 0.05$).	36
8.2.1.3 Número de Hojas.	37
8.2.1.4 Longitud de panoja.	38
8.2.1.5 Longitud de raíz.	39

8.2.1.6 Análisis químico proximal (AQP).....	39
8.2.1.7 Rendimiento.....	41
8.3 Evaluación del efecto de peróxido de Hidrógeno sobre el contenido de bioactivos presentes en las hojas de amaranto.....	42
8.3.1 Concentración de clorofila.....	42
8.3.2 Fenoles totales.....	43
8.3.3 Taninos.....	44
8.3.4 Antocianinas.....	46
8.4 Evaluación del efecto de diferentes concentraciones de peróxido de Hidrógeno sobre la capacidad antioxidante de extractos de las hojas de amaranto.....	47
8.4.1 Capacidad antioxidante.....	47
CAPITULO IX. CONCLUSIONES.....	49
CAPITULO X. PERSPECTIVAS.....	50
REFERENCIAS.....	51

Índice de figuras

Figura 1. Raíz de Amaranto.....	4
Figura 2. Tallo de Amaranto.....	5
Figura 3. Hojas de Amaranto.....	5
Figura 4. Panoja de Amaranto.....	6
Figura 5. Flores de Amaranto.....	7
Figura 6. Semilla de Amaranto	7
Figura 7. Clasificación de los compuestos fenólicos	11
Figura 8. Invernadero de 88m ²	23
Figura 9. Plántula Trasplantada	26
Figura 10. Tutorado del Amaranto	27
Figura 11. Determinación de la altura de la planta.....	29
Figura 12. Medición de diámetro de tallo de la planta	29
Figura 13. Panícula de Amaranto.....	30
Figura 14. Determinación de clorofila.....	32

Índice de Cuadros

Cuadro 1. Clasificación taxonómica Amaranto.....	3
Cuadro 2. Composición química de la semilla de <i>A. hipocondriacus</i>	8
Cuadro 3. Contenido de proteína en amaranto comparado con algunos cereales.....	9
Cuadro 4. Composición de las hojas del amaranto.....	9
Cuadro 5. Producción anual de amaranto 2018 (SIAP, 2018).....	18
Cuadro 6. Características de la variedad Revancha.....	25
Cuadro 7. Manejo sanitario del cultivo de <i>Amaranthus hipocondriacus</i>	25
Cuadro 8. Tratamientos.....	28
Cuadro 9. Altura de la planta.....	34
Cuadro 10. Diámetro de planta.....	35
Cuadro 11. Número de hojas.....	37
Cuadro 12. Longitud de panícula.....	38
Cuadro 13. Longitud de raíz.....	38
Cuadro 14. Análisis químico proximal.....	39
Cuadro 15. Medición de clorofila.....	41
Cuadro 16. Contenido de compuestos fenólicos totales.....	43
Cuadro 17. Contenido de taninos condensados.....	44
Cuadro 18. Contenido de antocianinas.....	45
Cuadro 19. Capacidad antioxidante.....	46

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.

El cultivo del amaranto en México involucra no sólo aspectos económicos y productivos, sino también está ligado a la riqueza cultural, histórica y social de nuestra identidad nacional; ya que era producido y consumido desde épocas prehispánicas, hace aproximadamente unos 7,000 años. Su consumo giraba en torno a muchas ceremonias y rituales religiosos. Toneladas de grano eran enviadas como tributo al emperador azteca, su uso en la elaboración de figuras representativas del cuerpo de Huitzilopochtli y otras deidades, así como en la elaboración de bebidas ceremoniales resultaban indispensables en diversas festividades (Alexandre, 2008). Lamentablemente tras la llegada de los españoles, se prohibió su consumo y cultivo, por ello fue un alimento olvidado por algunos siglos. Actualmente ha recobrado auge, ya que se han demostrado varias propiedades nutricias y medicinales que este alimento posee, tanto en la semilla como en la hoja. Entre éstas destacan, su alto contenido proteico (de 16 a 18%), así como un balance adecuado de aminoácidos esenciales entre ellos destacan metionina, lisina y triptófano, que son usualmente escasos en los cereales comunes. Posee también ácidos grasos insaturados, escualeno, tocoferoles y carece de gluteninas y gliadinas (gluten), lo que lo convierte en un alimento seguro de consumir para las personas intolerantes al gluten (Caselato y Amaya, 2012).

Si bien es una planta cuyo metabolismo C4 eficiente su crecimiento en zonas semiáridas y de baja precipitación; que además se ha domesticado para la producción de grano, su cultivo a cielo abierto presenta dos grandes desventajas: el rendimiento por hectárea es bajo (de 1 a 1.5 ton/ha) y además se favorece la diseminación de la semilla en otros cultivos, donde puede convertirse en maleza y competir por el espacio y nutrimentos, afectando las labores culturales de otros cultivos (SIAP, 2012). El cultivo de amaranto bajo condiciones de invernadero ha demostrado aumentar el rendimiento del cultivo más del 20% en grano y hasta un 60% en follaje (Cabrera, 2012). Sin embargo su calidad nutricia y contenido de compuestos bioactivos se ven disminuidos significativamente (Fuentes, 2015). Por lo anterior, es de suma importancia implementar alternativas que eleven el

rendimiento del cultivo, sin afectar propiedades nutraceuticas de éste alimento, e incluso en el mejor de los casos, potenciarlas.

Una de las alternativas propuestas por algunos investigadores es el uso de elicitores, cuyos efectos reportados en muchas especies de plantas incluyen el aumento de metabolitos especializados de gran interés por su actividad antioxidante y antiinflamatoria (Chen y Chen, 2000; Gadzovska *et al.*, 2007; Kirakosyan *et al.*, 2006). Entre los elicitores estudiados encontramos peróxido de Hidrógeno (H₂O₂), el ácido jasmónico, el ácido salicílico, el quitosan, entre otros. En este estudio revisaremos el efecto del peróxido de Hidrógeno sobre plantas de amaranto (*Amaranthus hypochondriacus*) cultivadas bajo condiciones de invernadero.

CAPÍTULO II. ANTECEDENTES

2.1 Características generales del amaranto (*Amarantus hypocondriacus* L.).

El *Amarantus hypocondriacus* pertenece al género *Amaranthus* que incluye cerca de 70 especies, de las cuales 40 (casi el 60%) son nativas del Continente Americano. Las especies domesticadas para la producción de grano son principalmente 4: *A. hypochondriacus*, *A. cruentus*, *A. caudatus* y *A. hybridus* (Pal y Khoshoo, 1974). En México existen cerca de 20 especies que crecen de forma silvestre (Legaria, 2010), siendo la especie *A. hypochondriacus* la más robusta y de mayor rendimiento comparada con otras especies.

2.1.1 Taxonomía del amaranto.

La clasificación taxonómica del Amaranto es complicada debido a la dificultad de diferenciación entre especies, ya que existe una gran diversidad. El **cuadro 1** muestra su clasificación taxonómica. Pertenece a la familia de las amarantáceas, la cual posee 70 géneros y más de 850 especies.

Cuadro 1. Clasificación taxonómica Amaranto (Belton and Taylor, 2002)

Clasificación	Amaranto
Reino	Vegetal
Clase	<i>Dicotyledoneae</i>
Subclase	<i>Caryophyllidae</i>
Orden	<i>Caryophyllales</i>
Familia	<i>Amaranthaceae</i>
Genero	<i>Amaranthus</i>
	<i>A Hypochondriacus</i>
Especie	<i>A Caudatus</i>
	<i>A Cruentus</i>

2.1.2 Morfología del amaranto.

Es una especie anual de crecimiento rápido, herbácea o arbustiva de diversos colores, tiene grandes cualidades de adaptación y de resistencia a sequías.

Las estructuras morfológicas que la componen son: raíz, tallo, hojas, inflorescencia, flores y fruto.

a) **Raíz:** Pivotante con abundante ramificación y múltiples raicillas delgadas, que se extienden rápidamente después que el tallo comienza a ramificarse. Las raíces primarias llegan a tomar consistencia leñosa que anclan a la planta firmemente y que en muchos casos sobre todo cuando crece algo separado de otras, alcanza dimensiones considerables (**Figura 1**).



Figura 1. Raíz de Amaranto

b) **Tallo:** 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, presenta ramificaciones que en muchos casos empiezan desde la base o a media altura y que se originan de las axilas de las hojas (**Figura 2**).



Figura 2. Tallo de Amaranto

c) **Hojas:** Las hojas son pecioladas, sin estípulas de formas ovales, elípticas, 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 (**Figura 3**).



Figura 3. Hojas de Amaranto

d) Inflorescencia: La inflorescencia del amaranto corresponde a panojas amarantiformes o glomeruladas muy vistosas, terminales o axilares, 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 0.5-0.9 m pudiendo presentar diversas formas. Las plantas por el tipo de polinización son predominantemente autógamas, variando el porcentaje de polinización cruzada con los cultivares, (**Figura 4**).



Figura 4. Panoja de Amaranto

e) Flores: Unisexuales pequeñas, estaminadas y pistiladas (**Figura 5**). El glomérulo es una ramificación dicasial cuya primera flor es terminal y siempre masculina, en cuya base nacen 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.



Figura 5. Flores de Amaranto

f) Fruto: 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, púrpuras y negros, (**Figura 6**); el número de semillas varía de 1000 a 3000 por gramo. Las especies silvestres presentan granos de color negro con el episperma muy duro. En el grano se distinguen cuatro partes importantes: episperma que viene a ser la cubierta seminal, constituida por una capa de células muy finas, endosperma que viene a ser la segunda capa, embrión formado por los cotiledones que es la más rica en proteínas y una interna llamada perisperma rica en almidones.



Figura 6. Semilla de Amaranto

2.1.3 Contenido nutrimental del amaranto.

El **cuadro 2**, muestra la composición química de la semilla de amaranto. El almidón es el componente principal del grano de amaranto, representando el 72% en peso seco (Becker *et al.*, 1981), seguido del porcentaje de contenido proteico en un rango de 12 - 19%, su contenido de lípidos se encuentra en un rango entre 6 – 8.1% (Gamel *et al.*, 2007). También tiene minerales como Calcio, Fósforo y Potasio.

La semilla ha destacado como alimento importante debido al adecuado balance de los aminoácidos esenciales que sus proteínas poseen, así como la actividad antihipertensiva, preventiva contra cáncer y anti-diabética de algunos péptidos presentes en el amaranto (Velarde-Salcedo *et al.*, 2012). Tiene también un alto contenido de tiamina, riboflavina, niacina y vitamina C.

Cuadro 2. Composición química de la semilla de *A. hypochondriacus* (por 100 g de parte comestible y en base seca) (FAO, 1990).

Característica	Contenido
Proteína (g)	12-19
Carbohidratos (g)	71,8
Lípidos (g)	6,1 - 8,1
Fibra (g)	3,5 - 5,0
Cenizas (g)	3,0 - 3,3
Energía (kcal)	391
Calcio (mg)	130 - 164
Fósforo (mg)	530
Potasio (mg)	800
Vitamina C (mg)	1,5

En el **cuadro 3** vemos una comparación de contenido proteico del amaranto respecto a otros cereales consumidos en nuestro país como el arroz, trigo y maíz y así como su contenido proteico es menor, también carecen de algunos aminoácidos esenciales.

Cuadro 3. Contenido de proteína del amaranto comparado a los principales cereales (g/100 g pasta comestible)

Cultivo	Proteína
Amaranto	13,6 - 18,0
Cebada	9,5 - 17,0
Maíz	9,4 - 14,2
Arroz	7,5
Trigo	14,0 - 17,0
Centeno	9,4 - 14,0

En las hojas, se ha reportado un contenido de vitamina A en un rango de 0.83 ± 0.02 mg/kg y de ácido ascórbico (vitamina C) un rango de 112.33 ± 5 mg/kg (Shukla *et al.*, 2006), además de un alto contenido de compuestos antioxidantes producto del metabolismo especializado, mucho mayor que en la semilla o el tallo. En el cuadro 4 se muestra la composición química de las hojas de amaranto.

Cuadro 4. Composición de las hojas del amaranto (nutrimentos seleccionados en 100 g)

Componente	Amaranto
Materia seca (g)	13,1
Energía (cal)	36
Proteína (g)	3,5
Grasa (g)	0,5
Carbohidratos	
Total (g)	6,5
Fibra (g)	1,3
Cenizas (g)	2,6
Calcio (mg)	267
Fósforo (mg)	67
Fierro (mg)	3,9
Sodio (mg)	---
Potasio (mg)	411
Vitamina A (IU)	6100
Tiamina (mg)	0,08
Riboflavina (mg)	0,16
Niacina (mg)	1,4
Vitamina C (mg)	80

2.1.3 Metabolismo Especializado.

Las plantas producen una gran cantidad y diversidad de compuestos orgánicos que cumplen funciones distintas a las relacionadas con el crecimiento y desarrollo, estas sustancias se conocen con el nombre de metabolitos secundarios. Los metabolitos secundarios difieren de los metabolitos primarios (aminoácidos, nucleótidos, azúcares y lípidos) en que estos se sintetizan de manera diferencial en relación a diferentes factores bióticos y abióticos. Estos compuestos, de naturaleza fenólica en su mayoría, han cobrado importancia en los últimos años, ya que están relacionados a un gran número de beneficios en la salud humana, a nivel preventivo y en algunos casos dependiendo del compuesto, tienen potencial como tratamiento directo de ciertas enfermedades, gracias a su actividad antioxidante, antiinflamatoria y en algunos casos antitumoral.

2.1.4 Compuestos Fenólicos.

Son sustancias con uno o más anillos aromáticos y, al menos, un grupo hidroxilo. Se dividen en dos grandes subgrupos: taninos y los flavonoides (Astiasaran y Martínez, 1999), y estos a su vez se subdividen en grupos como se puede observar en la figura 7. Los compuestos fenólicos se sintetizan a partir de 2 vías, la vía del ácido malónico y la vía del ácido shikímico. La primera vía mencionada es específica en hongos y la segunda vía es específica en plantas. La vía del ácido shikímico a partir de dos sustratos, eritrosa 4 fosfato y fosfoenol-piruvato, se desencadenan una serie de reacciones, donde participa el ácido shikímico, el cual tiene un control alostérico, los productos son la tirosina, fenilalanina y triptófano. La mayoría de los compuestos fenólicos son derivados de la fenilalanina (Ghosh *et al.*, 2012).

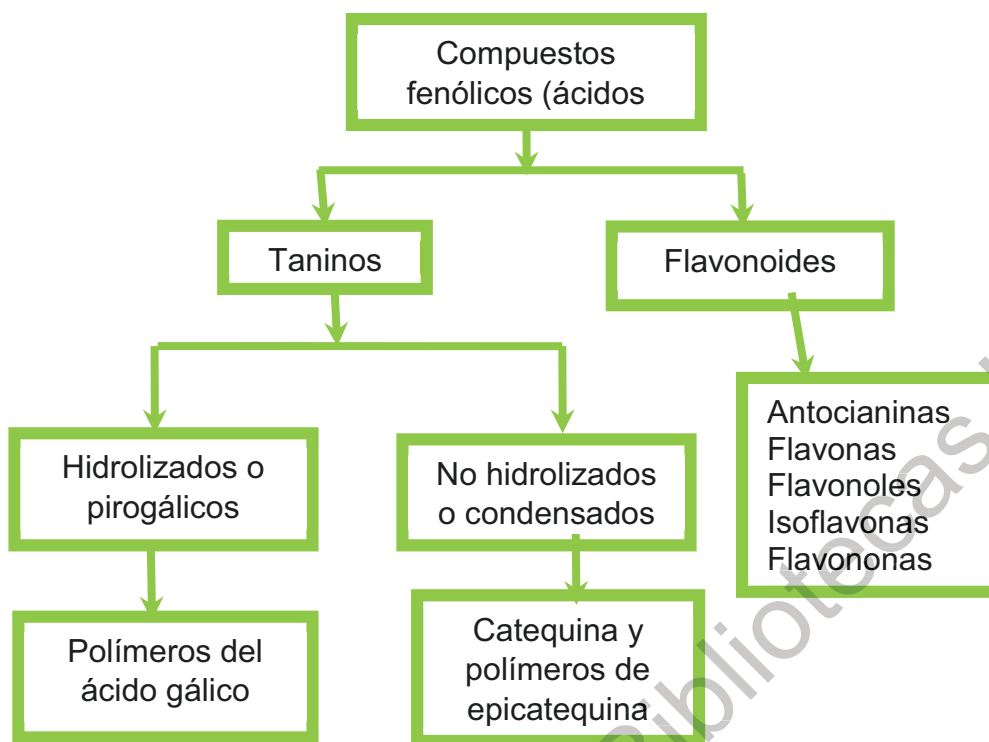


Figura 7. Clasificación de los compuestos fenólicos

a) Antocianinas. Se consideran sustancias que aportan pigmentos de los tonos rojos, azules y violeta sobretodo en la parte carnosa de los frutos y dan tonalidades crema-amarillenta en la parte externa (Murcia and Pilar, 2003). La presencia de estos compuestos también es considerada con un potencial antioxidante por su capacidad de neutralizar radicales libres, así como absorber radiación, y disminuir el daño oxidativo en los lípidos plasmáticos (Cheng and Breen, 1991).

b) Taninos.

Los compuestos que tienen 3 o más subunidades fenólicas se les denomina taninos (Robbins, 2003). Son relativamente de alto peso molecular (>500 uma) y se subdividen en hidrolizables y condensados.

Los taninos hidrolizables son compuestos fenólicos caracterizados por su facilidad para unirse a proteínas, esto se debe a su gran número de grupos hidroxilo (Cheynier, 2005). Por otro lado, los condensados o no hidrolizables, su núcleo central es un alcohol poli hídrico como la glucosa, y grupos hidroxilo que se encuentran

esterificados parcial o completamente, donde se pueden encontrar por ejemplo los galotaninos y elagitaninos (Pérez *et al.*, 2002).

La producción, acumulación y excreción de los metabolitos secundarios pueden ser inducidas tanto por elicitores bióticos y abióticos (Braz *et al.*, 1990; Endress, 1994).

2.2 Elicitores.

El término inductor (elicitador en inglés) se asigna a los factores capaces de activar respuestas o mecanismos bioquímicos en las plantas que las inducen a producir metabolitos secundarios y compuestos activos en su defensa. En la década de 1970, el concepto elicitador se utilizó para denominar a aquellos factores estresantes capaces de activar la síntesis de fitoalexinas en la planta (Riveros, 2010). Se pueden clasificar en dos grandes categorías bióticos y abióticos.

Dentro de los elicitores bióticos se encuentran el quitosano, micelios de hongos, bacterias, levaduras, además de algunos microorganismos y extractos de los mismos empleados comúnmente. Es posible considerar moléculas que actúan como señales endógenas en los mecanismos de defensa de las plantas (Zhao *et al.*, 2005).

Dentro de los elicitores abióticos encontramos la temperatura, luz UV, sales de metales pesados, pH, H₂O₂, etc. Entre éstos, se encuentran sustancias que pueden ocasionar cambios osmóticos al cultivo como lo hacen los iones metálicos, dando lugar a uniones indiscriminadas con algunos constituyentes biológicos de las células que alteran el funcionamiento de las mismas y favorecen la liberación de los metabolitos secundarios al medio de cultivo (Bhuiyan and Adachi, 2003).

Las aplicaciones exógenas de elicitores como H₂O₂, ácido jasmónico y compuestos relacionados (como el metil jasmonato, MeJA) se han utilizado para estudiar los efectos inductores en la producción de metabolitos en las plantas (Chen and Chen, 2000; Gadzovska *et al.*, 2007; Hayashi *et al.*, 2003; Kirakosyan *et al.*, 2006; Modolo, 2002).

Con el estrés abiótico, tal como el incremento de H₂O₂ inicia la señalización de respuestas que incluyen, activación enzimática, expresión génica, muerte celular programada y daño celular.

2.2.1 Peróxido de hidrógeno (H₂O₂).

El H₂O₂, es un compuesto oxidante relativamente estable y puede atravesar la capa de lípidos de las membranas celulares debido a la ausencia de carga eléctrica en su molécula (García *et al.*, 2004). Hasta hace relativamente poco tiempo, el H₂O₂ fue visto principalmente como un metabolito celular tóxico. Sin embargo, actualmente está claro que es mucho más que eso, y funciona como una molécula de señalización que media la respuesta a varios estímulos, tanto en la planta como en células de origen animal (Dröge, 2002; Ermak and Davies, 2002; Finkel, 2000; Neill *et al.*, 2002). En respuesta a diversas tensiones, se aumenta la generación de H₂O₂ como un factor de la mediación de los fenómenos de aclimatación y la tolerancia cruzada, en los que la exposición previa a un estrés puede inducir la tolerancia de la exposición posterior a la misma o a diferentes tensiones (Neill *et al.*, 2002).

Se ha demostrado que el H₂O₂ formado durante el estrés abiótico, es parte de la señalización en cascada que permite la protección generalizada (Chen *et al.*, 1997; Neill *et al.*, 2002) al inducir la expresión de genes relacionados con la defensa.

Se ha reportado que el H₂O₂ modula la expresión de varios genes relacionados con la defensa de la planta. Además, a través de las reacciones de lignificación (cambio de consistencia) participa en el reforzamiento de la pared celular de células vegetales que han sido atacadas por patógenos o sufrido alguna herida (Arreola, 2002).

2.3 Requerimientos agrícolas del cultivo de amaranto.

El cultivo de amaranto se caracteriza por los siguientes requerimientos:

2.3.1 Clima.

a) Temperatura. El cultivo del amaranto se desarrolla cuando la temperatura está por encima de 21°C, las temperaturas óptimas de germinación están entre los 6 y 35°C, sin embargo, *Amaranthus hypochondriacus* y *Amaranthus cruentus* no se desarrollan a temperaturas bajas, su crecimiento se detiene a los 8 grados Celsius y las plantas se dañan cuando se alcanza una temperatura de 4 grados Celsius (Silva, 2007).

b) Precipitación. Se desarrolla en forma adecuada con precipitaciones anuales de 469 a 1347 mm, distribuidos principalmente de junio a octubre (Reyna, 1986). Sin embargo, se ha reportado en regiones con precipitación anual de hasta 200 mm (FAO, 1994).

Se considera una especie tolerante a la sequía. Durante los períodos de sequía intraestival (canícula), puede tolerar una sequía relativa de 5 a 30% (Reyna, 1986)

c) Altitud. El amaranto es una especie versátil en cuanto a su adaptación a diferentes altitudes ya que se puede encontrar desde 100 hasta 2842 msnm (metros sobre el nivel del mar), (Reyna, 1986).

2.2.2 Ciclo de cultivo.

Existen dos ciclos de cultivo, invierno-primavera que es de riego y verano-otoño que es de temporal.

a) Ciclo invierno-primavera, La siembra bajo el sistema de riego, se recomienda para zonas libres de heladas y debe establecerse a finales de diciembre y principios de febrero según el clima, para cosechar antes de que inicien las lluvias. Deben utilizarse variedades de ciclo corto (90 a 110 días).

- b) **Ciclo verano-otoño**, Para el sistema de temporal, la recomendación es sembrar con el inicio de las lluvias, entre mediados de mayo y finales de junio, en las zonas templadas y cuando la región es de clima cálido, es preferible esperar a que las lluvias estén bien establecidas y sembrar a partir de finales de junio hasta mediados de agosto variedades de (150 a 180) días.

2.2.3 Importancia del uso de invernaderos.

Se denomina invernadero a aquella estructura provista de una cubierta transparente a la luz solar que permita modificar el ambiente interno (Alvarado and Urrutia, 2003). Pueden permitir mayor cantidad de producción biomasa por unidad de superficie cultivada en comparación con la que se puede obtener en cultivos en campo abierto, sobre todo si poseen un sistema de control climático, temperatura, iluminación y humedad relativa de acuerdo con las condiciones que requiera cada especie a cultivar (Pacheco, 2010).

Asimismo, los invernaderos construidos y equipados considerando las condiciones ambientales del lugar donde se ubican, de acuerdo a las necesidades de los cultivos, y con un adecuado manejo, permiten el desarrollo de dichos cultivos en cualquier época del año, dependiendo de la especie y de las condiciones climáticas prevalecientes en el exterior. Debido a lo anterior, los invernaderos permiten la obtención de cultivos fuera de la temporada de producción en campo abierto y en regiones donde el clima no es el más apropiado para el establecimiento de los mismos, obteniéndose seguridad en el abasto continuo de productos, de acuerdo con el ciclo de producción que se utilice. En términos generales los rendimientos de los cultivos bajo invernadero directamente en el suelo aumentan de 2 a 3 veces, en comparación con los cultivos en campo abierto y puede aumentar más dependiendo el tipo de cultivo y las condiciones del invernadero (Pacheco, 2010).

Entre las principales ventajas que nos ofrece un invernadero están: La obtención de mayores precios de venta, la dificultad y necesidad de obtener

producciones fuera de época debido a las desfavorables condiciones climáticas del medio externo (Alvarado and Urrutia, 2003).

2.4 Cultivo del amaranto en el mundo

A nivel internacional la Academia Nacional de Ciencias de Estados Unidos seleccionó al amaranto entre los 36 cultivos más prometedores por sus diferentes cualidades. Los cultivos permanentes a la familia *Amaranthaceae* están aun prácticamente sin explotar en producción bajo invernadero y poseen características agroalimentarias muy prometedoras. Se denomina pseudocereal, porque, aunque sí tiene aspecto de cereal e incluso sus semillas se utilizan como si fueran de origen cereal, el amaranto pertenece a la familia *Amaranthaceae*, un género de hierbas (Porr, 2009).

A nivel mundial, China es el principal productor de amaranto con 150,000 hectáreas sembradas. Le siguen India y Perú con 1,800 has., México con 900 has. Aunque los gobiernos de varios países como México han implementado estrategias para aumentar éstos niveles de producción ya que ha sido declarado por la FAO como el cultivo con mayor potencial técnico de desarrollo para las regiones andinas y costeras de América.

2.4.1. Historia del amaranto.

El género *Amaranthus* se ha cultivado desde hace 7 000 a 5 000 años a. e. c. En África, América Central, Asia, México y Sudamérica; probablemente los primeros en utilizarlo como un cultivo altamente productivo fueron los mayas, de quienes otros pueblos de América, entre ellos los aztecas y los incas aprendieron su consumo (Ramírez *et al.*, 2010).

Los estudios arqueobotánicos indican que los indígenas ya cultivaban estas plantas durante la fase Coxcatlán (5200 a 3400 a. C.), lo cual quiere decir que la domesticación del amaranto tuvo lugar en la misma época que la del maíz (Barros y Buenrostro, 1997).

Este género fue el principal alimento de las civilizaciones precolombinas más importantes de América, quienes también lo utilizaban con fines religiosos. Cuando

los españoles llegaron a América, el amaranto o *huautli* era uno de los granos más apreciados por los aztecas. Se estima que ellos producían de 15 a 20,000 toneladas por año y, además formaba parte de los tributos que cobraban a los pueblos sometidos (Pérez *et al.*, 2011).

El consumo amaranto era considerado un alimento ritual, que se utilizaba en la elaboración de diversos alimentos como pan, atoles, tamales, pinole y tortillas, y sus hojas eran consumidas también como verdura. Diversas fuentes históricas relatan el uso de esta planta en las ceremonias religiosas. Con los granos del amaranto se preparaba una harina que se mezclaba con miel de maguey para formar una masa llamada *tzoalli*, con la que se elaboraban figuras e imágenes de deidades utilizadas en diferentes cultos (algunas fuentes mencionan que esta masa contenía también sangre de los sacrificios). Sahagún escribe en la Historia general de las cosas de la Nueva España: "...hacían unas imágenes de *tzoatlli* en forma humana, con ciertos colores pintados, las cuales llamaron "*tapictoton*"; al acabar la fiesta dividían entre sí las imágenes y comíanlas..." Los españoles asociaron esto con la ceremonia de la eucaristía del cristianismo y, como muchas otras costumbres, el consumo de figuras de *tzoalli* se prohibió y se persiguió a quienes lo seguían practicando. Este hecho, aunado a otros motivos más como la sustitución de los cultivos nativos por los introducidos del Viejo Mundo y que eran preferidos por los españoles, actuaron de manera conjunta para reducir el cultivo del amaranto de manera drástica. Afortunadamente el arraigo de las costumbres en los pueblos es muy fuerte y el consumo del amaranto se mantuvo durante siglos gracias a la acción de pequeños agricultores que conservaron la tradición de su cultivo, aunque en pequeña escala. Por muchos años, la forma más común de consumir el amaranto en México fue en el popular dulce "alegría", cuya preparación, curiosamente, deriva del antiguo *tzoalli*, con la diferencia de que en lugar de harina de amaranto se utilizan las semillas reventadas. En menor escala, y de manera más localizada, las semillas son molidas y mezcladas con maíz para la preparación de tamales, atoles y pinole (Velasco y Villela, 2016).

Otra forma de consumo tradicional es en forma de verdura. Diversos estudios realizados en la UNAM, demuestran que el consumo de “quintoniles” (nombre que se da a las hojas comestibles del amaranto) es muy alto entre la población campesina de algunas regiones del centro del país y forma parte importante de su dieta (Becerra, 2000).

2.4.2 Cultivo del amaranto en México.

En México, las entidades productoras más importantes ocupan parte de la cuenca de México, Hidalgo, Estado de México, Tlaxcala, Morelos, Puebla, Oaxaca y Michoacán. Todos estos cultivos se realizan en su mayoría en campo abierto, con la variante del tipo de siembra; directa, o por trasplante, comenzando su siembra alrededor del mes de junio, y la cosecha alrededor de diciembre para el cultivo por trasplante y alrededor de octubre por siembra directa (Morales *et al.*, 2009).

El reporte de cultivo de amaranto en México para el año 2018 se observa en el cuadro 5, de acuerdo a los datos reportados por SIAP, el cultivo ha ido en aumento en los últimos 20 años, llegando incluso a tener 5 veces más superficie sembrada alcanzando más de 5,000 ha en el año 2014 (SIAP, 2014).

Cuadro 5. Producción anual de amaranto 2018 (SIAP, 2018).

Estado	Superficie (ha)			Producción (ton) obtenida	Rendimiento (ton/ha) obtenido
	sembrada	cosechada	sinistrada		
CIUDAD DE MEXICO	123	123	--	152	1.238
MEXICO	279	232	--	565	2.441
MORELOS	6	6	--	8	1.500
OAXACA	80	70	--	102	1.466
PUEBLA	2,538	1,639	--	3,262	1.990
TLAXCALA	512	512	--	999	1.951
TOTAL	3,537	2,581	--	5,089	1.972

Datos Preliminares.

Fuente: Elaborado por el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), con información de las Delegaciones de la SAGARPA.

Aun así, no es equiparable con la superficie destinada para el cultivo de otros cereales como el maíz (616,402 has), o el trigo (270,122has) (SIAP, 2018).

Dirección General de Bibliotecas UAQ

CAPÍTULO III. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.

En México, según las cifras más recientes, del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2019) durante 2017, el 88.6% de las defunciones se debieron a enfermedades y problemas relacionados con la salud de las cuales cerca del 20 % corresponden a enfermedades del corazón llegando a un total de 141,619 defunciones, seguido de diabetes mellitus con un 15.2% alcanzando 106,525 defunciones y los tumores malignos llegaron a un 12%, con 84,142 defunciones.

Éstas enfermedades, si bien son multifactoriales, es decir, es necesario la convergencia de varios factores, incluidas predisposición genética, mala alimentación, falta de actividad física, estrés, etc., el factor detonante para muchas está muy relacionado a una mala alimentación, por lo que, la concientización de una dieta balanceada rica en alimentos funcionales, es decir que nos aporten nutrimentos básicos y al mismo tiempo compuestos que protejan a nuestro organismo de la oxidación y procesos inflamatorios propios del estrés del ritmo de vida actual, es de suma importancia para la prevención de este tipo de padecimientos.

Esto aunado a la compleja problemática que enfrenta México y el mundo en materia de producción de alimentos, impone nuevos retos para los cultivos; por una parte el aumento de la población y el ritmo que ha mantenido, por otra, los cambios en los patrones culturales y la tecnificación de la agricultura, además de la disminución de territorio de siembra debido a la erosión de muchos suelos, han llevado a la reducción del espectro de los recursos vegetales utilizados en la alimentación del ser humano. En este contexto el amaranto ha capturado el interés de quienes se han dado a la tarea de recuperar y revalorar algunos cultivos que por diferentes razones han caído en el olvido y que tienen un prometedor potencial de explotación.

El amaranto gracias a su gran adaptabilidad puede ser cultivado zonas áridas y semiáridas, que además son muy extensas en nuestro país, su cultivo puede darse en campo abierto y bajo condiciones de invernadero. El cultivo en invernadero presenta incremento en términos de rendimiento, sin embargo, la calidad nutricia y

el contenido de compuestos bioactivos se ve disminuida drásticamente. Es necesario realizar estudios en invernadero utilizando elicitores como el peróxido de hidrógeno que es relativamente económico.

CAPÍTULO IV. JUSTIFICACIÓN.

Debido a la necesidad de producir alimentos funcionales para consumo humano, que se adapten a condiciones climáticas desfavorables, es necesario fijar la mira hacia la producción de cultivos prometedores como amaranto.

El uso de elicitores ha demostrado incrementar el contenido de antioxidantes en diferentes especies de plantas. Por ello se propone utilizar peróxido de hidrógeno en diferentes concentraciones para estimular un cultivo de amaranto variedad Revancha bajo condiciones de invernadero, con el fin de incrementar tanto el rendimiento como los compuestos bioactivos presentes en estas ancestrales plantas.

CAPÍTULO V. HIPÓTESIS.

Con la aplicación foliar de peróxido de hidrógeno (H_2O_2) en diversas concentraciones, se espera incrementar el contenido de compuestos bioactivos y la capacidad antioxidante en órganos vegetativos de un cultivo de amaranto (*Amaranthus hypochondriacus* L.) bajo condiciones de invernadero, sin detrimento del rendimiento esperado.

CAPÍTULO VI. OBJETIVOS.

6.1 Objetivo general.

Evaluar el efecto de las aplicaciones foliares de soluciones de peróxido de hidrógeno sobre el rendimiento, el contenido de compuestos bioactivos y la capacidad antioxidante en las hojas de plantas de amaranto (*Amaranthus hypochondriacus* L) de la variedad Revancha.

6.2 Objetivos específicos.

- Implementar un cultivo de amaranto bajo condiciones de invernadero.
- Evaluar el efecto de diferentes concentraciones de peróxido de Hidrógeno sobre el rendimiento del cultivo (altura, diámetro de tallo, número de hojas, tamaño de raíz, tamaño de panícula, análisis proximal).
- Evaluar el efecto de diferentes concentraciones de peróxido de Hidrógeno sobre el contenido de bioactivos presentes en las hojas de amaranto.
- Evaluar el efecto de diferentes concentraciones de peróxido de Hidrógeno sobre la capacidad antioxidante de extractos de las hojas de amaranto.

CAPÍTULO VII. MATERIALES Y MÉTODOS.

7.1 Implementación del cultivo de amaranto bajo condiciones de invernadero.

7.1.1 Localización geográfica del sitio experimental.

El presente experimento se desarrolló en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro, Campus Amazcala, el cual pertenece al municipio del marques Querétaro; Este municipio se localiza al Noroeste del estado de Querétaro, entre los 20° 31' y 20° 58' de latitud Norte. Su longitud se halla entre los 100° 09' y los 100° 24' del Oeste. La Cabecera Municipal, La Cañada, tiene una altura sobre el nivel del mar de 1 850 m y se ubica a 7 km de la capital del estado. Limita al oeste con el municipio de Querétaro, al Norte con el estado de Guanajuato, al Este con el municipio de Colón y al Sur con los municipios de Huimilpan y Pedro Escobedo (www.Queretaro.gob.mx, 2010)

7.1.2 Características del invernadero.

El experimento se desarrolló en un invernadero de 88m² (8x11) con 3 m de altura (**Figura 8**), con una estructura tipo semicircular, con una cubierta plástica de polietileno de 800 galgas en espesor. Con estructura de tubos galvanizados de PTR de 2”.



Figura 8. Invernadero de 88m²

7.1.3 Acondicionamiento del invernadero.

Tres días antes del trasplante se desinfectó todo el interior del invernadero con Fullgro 1 ml/L de agua y cerrado de puertas y ventanas por dos días. Después se desinfectó la superficie del suelo con una solución de hipoclorito de sodio, a una concentración de 10 ml/L de agua. Se colocaron en fila las bolsas de sustrato una junto a la otra, con una distancia de 40cm entre tallo a tallo de cada planta, un total de 6 filas. Se saturaron las bolsas de sustrato con agua acidificada a un pH de 5.5, para lavar el sustrato. El pH se ajustó con Ácido Sulfúrico (H_2SO_4) y Ácido Nítrico (HNO_3) grado agrícola.

7.1.4 Establecimiento del cultivo.

7.1.4.1 Sistema de riego.

Se utilizó un sistema de riego por goteo; debido a la naturaleza del experimento, en el invernadero se necesitó 1 cabezal de riego. Para ello se instaló un tinaco marca Rotoplas con capacidad de 2,500 L. Este estuvo integrado por una bomba de marca Evans con 1 HP, con filtros para regar las diferentes líneas de cultivo del invernadero. Sobre cada línea de riego se instalaron 6 líneas de riego consistentes en mangueras de 16 mm de diámetro. Se utilizaron goteros autocompensantes con capacidad de cuatro litros por hora y se usó un gotero por planta para elevar la uniformidad del riego, el cual fue controlado por temporizador.

7.1.4.2 Contenedores y sustratos.

Las plántulas de amaranto fueron trasplantadas en bolsas negras como contenedor con volumen de 10 Litros. Se llenaron con sustrato inerte de origen volcánico, tezontle rojo, arena negra y tierra de limo en proporciones de 50% tezontle, 25% arena, 25% tierra, dándole al sustrato características franco-arenosas lo cual permitió un óptimo intercambio de iones y una adecuada oxigenación de la raíz. Este sustrato fue desinfectado previamente con solarización y aplicación de fullgro.

Se utilizó la solución universal de Steiner (Steiner, 1984) al 50%, se aplicó a las tres semanas de germinación de las plantas y hasta el inicio de la inflorescencia.

7.1.4.3 Material Vegetal.

Se utilizó como material vegetal semilla de Amarantho (*Amaranthus hypochondriacus* L.) de la variedad Revancha obtenida del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) de Celaya Guanajuato, semilla seleccionada de indeterminado en invernadero (**Cuadro 6**).

Cuadro 6. Características de la variedad Revancha.

Variedad	Tipo agronómico	Color de flor	Color de hoja	Altura de planta	Días a madurez
Revancha	Azteca	Roja	Roja	1.7	160

7.1.4.4 Manejo sanitario.

En el **Cuadro 7** se describen las acciones para el manejo integrado de plagas y enfermedades, en él se mencionan los agroquímicos utilizados en el cultivo del Amarantho bajo condiciones de invernadero.

Cuadro 7. Manejo sanitario del cultivo de *Amaranthus hipocondriacus*.

Acciones culturales	Acciones Preventivas	Acciones curativas
Desinfección de invernaderos sales cuaternarias de amonio al 3%	Fungicidas preventivos	Antibióticos
Desinfección de sustratos	Cobres	Agroquímicos de amplio espectro
Apertura y cierre de puertas de manera controlada	Azufres	
Desinfección de manos y herramientas	Repelentes a base de extractos de plantas	
Uso de tapetes sanitarios		
Trampeo de plagas		

7.1.5 Manejo del cultivo.

7.1.5.1 Siembra.

Para la siembra de las semillas se utilizaron charolas de poliestireno de 200 cavidades, y sustrato *Peat moss*. Después de la siembra las charolas fueron alojadas en una cámara de germinación cubiertas con un plástico negro, la cámara estuvo equipada con un calefactor casero marca TIMCO modelo HO-2001 para mantener una temperatura constante de 25°C.

7.1.5.2 Producción de plántula.

Cuando hubo emergencia de plántula, las charolas se llevaron a un invernadero para el crecimiento y aclimatización de las plántulas. Los primeros días se regaron con agua y después de tres semanas se regaron con solución Steiner al 50%.

7.1.5.3 Trasplante.

El trasplante se realizó cuando la planta tenía 6 hojas verdaderas (**Figura 9**). antes de realizar el trasplante, el sustrato fue previamente lavado con agua acidificada, para acondicionarlo para recibir las plántulas.



Figura 9. Plántula Trasplantada

7.1.5.4 Poda.

La poda de hojas inferiores de la planta fue 14 días después del trasplante, quitando las hojas de la parte inferior.

7.1.5.5 Tutorado.

El tutorado consistió en amarrar a la planta en hilos sujetos en los soportes del cultivo ubicados en la parte de arriba del invernadero para mantener a la planta de amaranto erguida (**Figura 10**) y evitar la ruptura de los tallos.



Figura 10. Tutorado del Amaranto

7.2 Evaluación del efecto de diferentes concentraciones de peróxido de Hidrógeno sobre el rendimiento del cultivo.





7.2.1 Arreglo de tratamientos

Se estableció un arreglo de tratamientos de bloques completamente al azar con 6 repeticiones, con 12 plantas por unidad experimental.

7.2.3 Diseño de tratamientos

Se trabajó con un modelo de un factor de variación, siendo este la concentración de H_2O_2 , con 3 niveles de peróxido de hidrogeno (125, 250 y 400 mM) y un tratamiento control, cuadro 8. El experimento se realizó por triplicado.

Cuadro 8. Tratamientos.

Tratamiento	Niveles de H ₂ O ₂ en mM.	Color del Tratamiento
1 Control	0	
2	125	
3	250	
4	400	

7.2.3 Aplicación de peróxido de hidrogeno

Se tuvieron 12 aplicaciones en total de peróxido de hidrogeno en sus respectivas dosis. Se aplicaron por aspersión foliar hasta punto de goteo de acuerdo a Ramírez-Flores *et al.* (2006), con un atomizador manual los 20 días después del trasplante (DDT). Las aplicaciones posteriores se llevaron a cabo semanalmente hasta concluir el ciclo del cultivo.

7.2.4 Determinación del rendimiento del cultivo.

7.2.4.1 Determinación de la altura de la planta.

Esta variable se midió en centímetros (cm) con un flexómetro de cinco metros. Para ello se colocó el flexómetro en la superficie del sustrato del contenedor desde la base del tallo hasta el ápice del tallo principal como se muestra en la figura 11. Esta variable se midió cada 15 días a partir de los 20 DDT.



Figura 11. Determinación de la altura de la planta.

7.2.4.2 Determinación del diámetro de tallo.

Se utilizó un vernier digital marca Stainless Hardened. Se midió el tallo principal de la planta 5 centímetros por arriba del sustrato (**Figura 12**), expresándose el valor en milímetros (mm).



Figura 12. Medición de diámetro de tallo de la planta.

7.2.4.3 Conteo de Hojas.

Las hojas fueron contadas 4 veces a lo largo del cultivo a los 41, 55, 63 y 77 días.

7.2.4.4 Longitud de panoja.

Esta variable se midió en centímetros (cm) con un flexómetro de cinco metros. Para ello se colocó el flexómetro en la base del nacimiento de la panoja hasta la punta del tallo principal. Esta variable se midió al finalizar el cultivo **Figura 13**.



Figura13. Panícula de Amaranto

7.2.4.5 Longitud de raíz.

Esta variable se midió en centímetros (cm) con un flexómetro de cinco metros. Para ello se colocó el flexómetro en la base del nacimiento de la raíz, hasta la punta de la raíz principal. Esta variable se midió al finalizar el cultivo.

7.2.4.6 Análisis químico proximal (AQP)

El contenido de humedad, cenizas, fibra cruda, proteína cruda y grasa bruta se determinaron en hoja y semilla de amaranto con los métodos (AOAC, 2000) 934.01, 923.03, 920.86, 991.20 y 920.39 respectivamente.

Determinación de humedad y cenizas.

La humedad se determinó mediante el secado de la muestra en una estufa a 100°C. El contenido de cenizas se realizó por medio de la incineración de la muestra en una mufla a una temperatura de 500°C.

Obtención de fibra cruda.

Se determinó fibra cruda utilizando un Digester Ankom 200 Fiber Analyzer sobre el grano seco y molido.

Determinación de proteína cruda

Se evaluó el contenido de proteína bruta, que fue el resultado de multiplicar el contenido en nitrógeno por el método Kjeldahl por un factor de transformación del nitrógeno en proteína (AOAC, 2000).

Determinación de grasa

El contenido de grasa bruta de un producto se define como la parte extraíble con un disolvente lipófilo en unas condiciones determinadas. Además de la grasa, se extraen otras sustancias solubles en el disolvente utilizado, como ceras, pigmentos y vitaminas. La determinación de la grasa se realizó por extracción continua, en una unidad extractora Soxhlet (Figura 17), de la muestra mediante un disolvente lipófilo (éter etílico) y pesada del residuo después de evaporar el disolvente (AOAC, 2000).

7.3 Evaluación del efecto de peróxido de Hidrógeno sobre el contenido de bioactivos presentes en las hojas de amaranto.

7.3.1 Concentración de clorofila.

Las mediciones del contenido de clorofila se llevaron a cabo en las 144 plantas (Figura 14). Se midieron cada 15 días a las 12:00 horas debido a que el haz de la radiación solar incide en forma perpendicular a las plantas con la intención de reducir los efectos del sombreado. Se utilizó un equipo (SPAD 502 Chlorophyll meter, Minolta) que midió la concentración relativa de clorofila por medio de la absorbancia de la luz a través de la hoja en 650 (longitud de onda fotosintéticamente activa) y 940 nm. La absorbancia se cuantifica en valores dimensionales que van de 0 a 199, por

lo que las unidades "SPAD" (Soil Plant Analysis Development) serán siempre las mismas de acuerdo con el tono verde de las hojas (Krugh *et al.*, 1994). Los contenidos de Clorofila de la planta se estimaron a partir de las unidades "SPAD" de acuerdo a Rodríguez *et al.*, (1998).



Figura 14. Determinación de clorofila.

7.4 Evaluación del efecto de diferentes concentraciones de peróxido de Hidrógeno sobre la capacidad antioxidante de extractos de las hojas de amaranto.

7.4.1 Colecta de muestra de hoja.

La colecta se inició a los ochenta días después del trasplante. Las hojas fueron seleccionadas de los diferentes tratamientos de manera aleatoria, para su posterior análisis en laboratorio. Se tomaron 14 hojas por planta.

7.4.2 Manejo de la muestra.

Todas las muestras fueron almacenadas por separado en bolsas de papel para su manejo en campo y en bolsas ziploc para el manejo en el laboratorio.

7.4.3 Capacidad antioxidante.

Se determinó empleando el análisis DPPH. La Técnica DPPH(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl) se realizó como lo describe Fukumoto y Mazza (2000), midiendo la

capacidad del radical estable DPPH• de reducirse observando una decoloración del color púrpura inicial de la solución.

7.5 Análisis de datos.

Para el análisis estadístico se empleó estadística descriptiva, presentando los resultados como promedios y una desviación estándar. La variable de contraste fue los diferentes niveles de concentración de peróxido de hidrógeno como elicitor. Para evaluar las posibles diferencias se realizaron análisis ANOVA, seguidos de una prueba *pos hoc* de Tukey utilizando un intervalo de confianza del 95% y una significancia ($p < 0.05$). El software utilizado para las pruebas estadísticas fue InfoStat versión 2019. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

CAPÍTULO VIII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

El experimento tuvo una duración de 134 días, iniciando el cultivo el 31 de Mayo de 2014, y finalizando el 11 de septiembre de 2014.

8.2 Evaluación del efecto de diferentes concentraciones de peróxido de Hidrógeno sobre el rendimiento del cultivo.

Para determinar el rendimiento del cultivo se analizaron una serie de variables descriptivas que se presentan a continuación:

8.2.1 Rendimiento del cultivo.

8.2.1.1 Altura de la planta.

Cuadro 9. Altura de la planta. El resultado se muestra en cm. Letras diferentes indican diferencia significativa ($p < 0.05$)

		Altura de la planta			
Concentración de H ₂ O ₂		0 mM	125 mM	250 mM	400 mM
Tiempo	41 días	42.06 ± 9.6 ^a	47 ± 10.2 ^a	46.78 ± 8.6 ^a	45.03 ± 9.2 ^a
	55 días	75.6 ± 13.1 ^a	85.3 ± 17.7 ^b	78.6 ± 13.6 ^{ab}	81 ± 18.3 ^{ab}
	63 días	115.4 ± 14.1 ^a	126.3 ± 22.4 ^b	116.17 ± 15.5 ^{ab}	122.58 ± 18.9 ^{ab}
	76 días	158.8 ± 19.6 ^a	171.8 ± 30.0 ^a	158.03 ± 20.2 ^a	166 ± 20.5 ^a
	90 días	211 ± 26.4 ^a	218.86 ± 31.1 ^a	213.68 ± 29.2 ^a	206.97 ± 33.0 ^a
	104 días	250.61 ± 39.0 ^a	282.37 ± 42.0 ^b	251.5 ± 38.5 ^a	252.19 ± 38.4 ^a
	127 días	290.58 ± 60.8 ^a	322.82 ± 39.7 ^a	290 ± 54.9 ^a	296.02 ± 58.4 ^a

En el cuadro 9, podemos observar los promedios de las medidas de altura de planta, para cada tratamiento con su respectiva desviación estándar, durante todo el experimento.

El análisis de varianza mostró diferencias significativas entre algunos tratamientos durante el cultivo. Para el día 55 y 63 resultando el tratamiento de elicitación de 125 mM con plantas significativamente más altas que el grupo control, contrario a lo que se esperaría, ya que es común observar una reducción en el rendimiento debido a la aplicación de este tipo de estímulos (Slabbert y Krüger, 2014), sin embargo y debido a que la dosis-respuesta no presenta una correlación, es decir, no observamos que a medida que aumenta la concentración de elicitor la altura se incrementa, podemos suponer que este efecto se debe a que aunque en altas concentraciones el H₂O₂ posee una alta toxicidad y desencadena la expresión de genes que inhiben el crecimiento, a bajas concentraciones puede tener un efecto contrario, e inducir la proliferación celular (Marinho *et al.*, 2014), por ello las dosis óptimas de elicitación parecen estar en el rango de 125 mM, ya que de hecho este comportamiento es una constante a lo largo del cultivo, aunque en el día de cosecha la altura no es significativamente mayor, si es el valor más alto, y además supera las reportadas por otros autores, siendo 322±39 cm el valor más alto obtenido en este experimento. Los reportes de Cabrera-Baeza *et al.*, para el cultivo de amaranto bajo invernadero en el periodo de los 90 a 98 días, presentan una media de 192.36 cm y en este experimento se obtuvo una media en este mismo estadio de 212.75 cm; esta medida también supera en un 107% a la media de altura de planta en un cultivo a campo abierto reportada por estos mismos autores en 102.64 cm, durante el mismo periodo de tiempo, representando una ventaja para los cultivos bajo invernadero (Cabrera-Baeza *et al.*, 2012).

8.2.1.2 Diámetro de tallo.

Cuadro 10. Diámetro de planta. El resultado se muestra en cm. Letras diferentes indican diferencia significativa ($p < 0.05$).

		Diámetro del tallo			
		0 mM	125 mM	250 mM	400 mM
Concentración de H₂O₂					
Tiempo	41 días	1.01 ± 0.17 ^a	1.02 ± 0.14 ^a	1.08 ± 0.17 ^a	1.04 ± 0.11 ^a
	55 días	1.65 ± 0.16 ^a	1.59 ± 0.18 ^a	1.60 ± 0.17 ^a	1.59 ± 0.13 ^a
	63 días	1.93 ± 0.3 ^a	1.83 ± 0.19 ^{ab}	1.75 ± 0.22 ^b	1.77 ± 0.21 ^b
	76 días	2.05 ± 0.32 ^a	1.96 ± 0.21 ^a	1.91 ± 0.25 ^a	1.93 ± 0.26 ^a
	90 días	2.15 ± 0.41 ^a	2.18 ± 0.28 ^a	2.11 ± 0.3 ^a	2.15 ± 0.31 ^a
	104 días	2.40 ± 0.43 ^a	2.33 ± 0.29 ^a	2.26 ± 0.35 ^a	2.26 ± 0.37 ^a
	127 días	2.50 ± 0.44 ^a	2.40 ± 0.31 ^a	2.28 ± 0.38 ^a	2.37 ± 0.34 ^a

El diámetro del tallo se muestra en el cuadro 10, a lo largo del experimento, esta medida de rendimiento asegura la verticalidad de planta, ya que si el cultivo llega a tener alguna plaga que ataque a esta zona como son los barrenadores, se puede presentar el acame de la planta; esta variable también se puede afectar por situaciones como densidad de cultivo, disminuyendo a mayor número de plantas por hectárea (Jiménez-Esparza et al., 2018) de nuevo teniendo un efecto negativo sobre el cultivo; después del análisis de varianza, los resultados promedio por tratamiento muestran efecto significativo por la acción del peróxido, sólo en el muestreo del día 63, viéndose disminuido por efecto de las concentraciones de 250 y 400 mM, ya que la aplicación de éste elicitor, al igual que el ataque de plagas y el aumento de la densidad de cultivo es un medio inductor de la respuesta a estrés, que afecta este indicador del rendimiento; aunque esta respuesta negativa se presenta únicamente en este punto del muestreo, y pudiera no ser significativa para el ciclo del cultivo, ya puede tratarse de un periodo de adaptación del cultivo al elicitor, sin embargo, esto también pudiera dejar expuesto al cultivo al ataque de alguna plaga, por ello no sería

recordable emplear estas concentraciones en un sistema productivo; por otro lado, estos datos concuerdan con los reportados por Cabrera-Baeza *et al.*, (2012) en el periodo de 90 a 98 días, ya que ellos reportan un diámetro promedio 2.14 cm, y en este experimento se obtuvo un promedio de 2.18 cm, ambos datos obtenidos de un cultivo bajo invernadero, superando casi 4 veces a lo reportado en este mismo periodo de tiempo de un cultivo en campo abierto por los mismos autores, siendo el promedio de 0.5 cm de diámetro (Cabrera-Baeza *et al.*, 2012).

8.2.1.3 Número de Hojas.

Cuadro 11. Número de hojas. Letras diferentes indican diferencia significativa ($p < 0.05$)

		Número de hojas			
Concentración de H ₂ O ₂		0 mM	125 mM	250 mM	400 mM
Tiempo	41 días	23.41± 5.5 ^a	22.02 ± 3.4 ^a	23.16 ± 4.5 ^a	23.52 ± 4.2 ^a
	55 días	61.94 ± 19.6 ^{ab}	55.80± 15.6 ^{ab}	67.91±20.6 ^a	68.05±21.8 ^a
	63 días	91.55± 20.7 ^a	86.83 ± 29.1 ^a	83.5 ± 21.8 ^a	79.02± 24.8 ^a
	76 días	150.88 ± 42.7 ^a	149.14 ± 49.8 ^a	126.11±28.8 ^a	133.61±61.3 ^a

La variable de número de hojas del cultivo se puede asociar a varios factores, y es un claro indicador del rendimiento del cultivo, se puede ver afectado por carencia de nitrógeno (Zubillaga 2017), y es sensible a cambios en el fotoperiodo (Espitia, 1992; Kiegel, 1994), los valores obtenidos de número de hojas registrados a lo largo de cultivo mostrados en el cuadro 11, no arrojan diferencias significativas entre tratamientos, lo cual representa de nuevo una ventaja sobre el tratamiento de elicitación ya que no se ve afectado este indicador de rendimiento.

Contrastando los datos obtenidos con lo reportado por otros autores, encontramos que el número de hojas en este trabajo de investigación sobrepasan lo reportado casi 3 veces más, siendo el promedio analizado en este experimento en un periodo de tiempo de 76-78 días de 150 hojas por planta, mientras que otros autores reportan

un promedio de 47 hojas en un cultivo bajo invernadero, y 26 (Cabrera-Baeza *et al.*, 2012) y 40 (Zubillaga 2017) como máximo en un cultivo a campo abierto. Esto puede ser atribuido a un buen manejo agronómico del cultivo, tanto en condiciones de temperatura, como a un buen diseño y aplicación de solución nutritiva, ya que de nuevo esta variable responde a la concentración de nitrógeno presente en el sustrato, así como a los periodos de luz – oscuridad que reciba.

8.2.1.4 Longitud de panoja.

Cuadro 12. Longitud de panícula (cm). Letras diferentes indican diferencia significativa (p < 0.05)

		Longitud de panícula			
Concentración de H ₂ O ₂		0 mM	125 mM	250 mM	400 mM
Tiempo	134 días	95.89±22.4 ^a	94.89±23.9 ^a	103.64±19.2 ^a	99.44±16.02 ^a

La longitud de la panícula es una variable descrita en el cuadro 12, al finalizar el cultivo (día 134) que está directamente ligada al rendimiento, sobre todo de grano, después del análisis de varianza, esta variable no muestra diferencia significativa entre tratamientos, por el contrario es superior a la reportada por Cabrera-Baeza *et al.*, (2012) para cultivo bajo invernadero con un promedio de 55 cm y uno de 46 cm para cultivo a campo abierto, también supera al máximo obtenido por Zubillaga (2017) quienes también reportan un cultivo a campo abierto con programa de fertilización y obtienen un máximo de 70 cm. El promedio para esta variable en el presente experimento es de 103 cm.

8.2.1.5 Longitud de raíz.

Cuadro 13. Longitud de raíz (cm). Letras diferentes indican diferencia significativa ($p < 0.05$)

Longitud de raíz					
Concentración de H_2O_2		0 mM	125 mM	250 mM	400 mM
Tiempo	134 días	57.07±7.7 ^a	54.33±5.7 ^a	66.73±8.5 ^a	62.67±4.2 ^a

La longitud de la raíz es una variable que se relaciona directamente a las características del sustrato, tanto en profundidad como en compactación, y demás características fisicoquímicas, y de la que además dependen otras variables como altura y diámetro de planta (González et al., 1997). Los resultados de esta variable no muestran diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$) y de acuerdo a los resultados obtenidos para altura y diámetro, estos reflejan un adecuado diseño del sustrato para este cultivo.

8.2.1.6 Análisis químico proximal (AQP).

Los resultados del análisis químico proximal (Cuadro 14) constan del porcentaje de humedad, cenizas, fibra cruda, proteína cruda y grasa en 3 estadios de la hoja y en la semilla recolectada al momento de la cosecha. Si bien no se encontró diferencia significativa entre el grupo control y los tratamientos de peróxido de hidrógeno, los valores están dentro de lo reportado para cultivos en campo abierto, (incluso superior en hoja) lo cual representa una ventaja ya que estudios anteriores, reportaban que al implementar este cultivo bajo condiciones de invernadero los contenidos nutricionales esperados del amaranto tanto en hoja como en semilla decrecían, sobre todo el porcentaje de proteína (Jiménez-Ugalde et al., 2015; Cabrera-Baeza et al., 2012).

Cuadro 14. Análisis químico proximal. Letras diferentes representan diferencia significativa ($p < 0.05$) comparando el control con diferentes tratamientos.

		Tratamiento de H ₂ O ₂	HUMEDAD %	CENIZAS %	FIBRA %	PROTEINA %	GRASA %
HOJA	Día 63	0 mM	76.30 ± 2.1 ^a	3.66 ± 0.1 ^a	2.62 ± 0.1 ^a	3.93 ± 0.1 ^a	0.29 ± 0.1 ^a
		125 mM	78.0 ± 1.7 ^a	3.76 ± 0.2 ^a	2.64 ± 0.2 ^a	3.87 ± 0.2 ^a	0.41 ± 0.2 ^a
		250 mM	77.89 ± 2.0 ^a	3.84 ± 0.1 ^a	2.63 ± 0.1 ^a	3.98 ± 0.2 ^a	0.37 ± 0.2 ^a
		400 mM	76.40 ± 1.5 ^a	3.78 ± 0.1 ^a	2.70 ± 0.1 ^a	3.94 ± 0.2 ^a	0.45 ± 0.2 ^a
HOJA	Día 90	0 mM	76.58 ± 1.0 ^a	3.73 ± 0.1 ^a	2.64 ± 0.2 ^a	3.94 ± 0.2 ^a	0.30 ± 0.2 ^a
		125 mM	75.76 ± 2.0 ^a	3.66 ± 0.2 ^a	2.59 ± 0.1 ^a	3.91 ± 0.2 ^a	0.34 ± 0.2 ^a
		250 mM	76.53 ± 2.1 ^a	3.67 ± 0.1 ^a	2.65 ± 0.2 ^a	3.97 ± 0.2 ^a	0.42 ± 0.1 ^a
		400 mM	76.65 ± 1.5 ^a	3.68 ± 0.1 ^a	2.60 ± 0.1 ^a	3.90 ± 0.2 ^a	0.38 ± 0.2 ^a
HOJA	Día 127	0 mM	76.74 ± 2.6 ^a	3.61 ± 0.1 ^a	2.58 ± 0.1 ^a	3.96 ± 0.1 ^a	0.35 ± 0.1 ^a
		125 mM	76.66 ± 2.0 ^a	3.70 ± 0.1 ^a	2.57 ± 0.1 ^a	3.90 ± 0.2 ^a	0.26 ± 0.1 ^a
		250 mM	77.46 ± 1.5 ^a	3.77 ± 0.1 ^a	2.72 ± 0.1 ^a	3.98 ± 0.1 ^a	0.52 ± 0.1 ^a
		400 mM	76.90 ± 1.0 ^a	3.73 ± 0.2 ^a	2.66 ± 0.1 ^a	3.90 ± 0.2 ^a	0.38 ± 0.2 ^a
SEMILLA	Día 134	0 mM	9.08 ± 1.2 ^a	3.12 ± 0.1 ^a	5.90 ± 0.2 ^a	17.08 ± 0.1 ^a	4.30 ± 0.2 ^a
		125 mM	9.72 ± 1.0 ^a	3.01 ± 0.1 ^a	5.95 ± 0.1 ^a	17.18 ± 0.2 ^a	4.32 ± 0.1 ^a
		250 mM	10.32 ± 1.0 ^a	3.02 ± 0.1 ^a	5.95 ± 0.1 ^a	17.11 ± 0.1 ^a	4.22 ± 0.1 ^a
		400 mM	10.26 ± 1.5 ^a	2.96 ± 0.1 ^a	5.99 ± 0.2 ^a	17.12 ± 0.1 ^a	4.24 ± 0.2 ^a

Estudios sobre la caracterización de la fracción proteica de la hoja de amaranto (Rodríguez et al., 2011) muestran que esta parte de la planta también brinda un balance importante de proteínas y aminoácidos, y debido al alto contenido de aminoácidos esenciales que posee (igual que la semilla) tales como: Treonina, Alanina, Valina, Metionina, Isoleucina, Fenilalanina, Lisina, Histidina, Leucina, y Triptófano, que superan incluso los mínimos recomendados para el consumo diario, tiene el potencial de ser usado como alimento, no solo en ensaladas, caldos y otros guisos, también se ha propuesto para la elaboración de harinas a partir de las hojas y complementarla con otros cereales que carecen de algunos aminoácidos esenciales (Cárdenas-Hernández et al., 2012).

8.2.1.7 Rendimiento.

Algunos reportes sobre la respuesta fisiológica de varias especies de Amarantho a estrés abiótico, especialmente sequía, indican que la principal respuesta sobre de todo del follaje se relaciona directamente al incremento y la acumulación de prolina (AA no esencial), y algunas enzimas como la Superóxido dismutasa, la ascorbato peroxidasa y la glutatión reductasa, enzimas de protección contra el estrés oxidativo producto de la vía de señalización proveniente de algún otro inductor de estrés, (como la sequía en este caso) (Slabbert y Krüger, 2014). De hecho, el incremento de la superóxido dismutasa está directamente ligada al incremento intracelular de H_2O_2 que se acumula significativamente como respuesta a estrés. Al aplicar directamente tratamientos con peróxido de hidrógeno se esperaría el incremento también tanto de prolina como de éstas enzimas que contribuyen a la protección de la planta, a la expresión de genes de defensa, a la acumulación de solutos orgánicos, iones, alcoholes, sacarosa o aminoácidos, y como resultado (cuadro 13) no hay una acumulación significativa diferente respecto al tratamiento control, pero tampoco un decremento en las variables de rendimiento medidas, como es común al aplicar algún inductor de estrés, tal como lo reportan Bashri et al., (2017) donde mencionan una disminución el peso fresco de las plantas hasta de un 22%, la disminución del índice relativo de crecimiento en un 50% y una reducción de la raíz en un 18%, al someter al cultivo de amaranto a diferentes concentraciones de Cromo, los mismos Slabbert y Krüger, (2014) reportan que a pesar del aumento de la actividad enzimática de respuesta a estrés y de la acumulación de prolina, también obtuvieron una disminución en el contenido relativo de agua y en el potencial hídrico foliar de hasta un 33%, lo que sin duda afectó el rendimiento del cultivo, situación que no se presenta en este trabajo, por el contrario, se logran niveles de rendimiento superiores a los reportados en campo abierto, manteniéndose el contenido nutricional proteico tanto de hoja como de semilla.

8.3 Evaluación del efecto de peróxido de Hidrógeno sobre el contenido de bioactivos presentes en las hojas de amaranto.

8.3.1 Concentración de clorofila.

Cuadro 15. Medición de clorofila. Letras diferentes indican diferencia significativa ($p < 0.05$)

		Medición de clorofila (unidad SPAD)			
Concentración de H ₂ O ₂		0 mM	125 mM	250 mM	400 mM
Tiempo	90 días	43.33±5.12 ^a	44.04±6.02 ^a	43.28±4.55 ^a	41.44±5.48 ^a
	104 días	40.35±6.71 ^{ab}	43.80±8.1 ^a	42.50±6.8 ^{ab}	38.98±8.2 ^b

Los niveles de clorofila a los 90 días no muestran diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$), lo cual no corresponde a los reportado para amaranto bajo condiciones de estrés, por ejemplo en un estudio realizado por Emuejevoke Vwioko *et al.*, (2018) en el cual someten a plantas de amaranto a estrés abiótico producto de la exposición de SO₂ y NO₂, reportan una disminución significativa del contenido de clorofila en las hojas, y como consecuencia directa una disminución de la tasa fotosintética; al igual que Bashri *et al.*, (2017) reportan la disminución de clorofila en un 23 %, al someter a las plantas a diferentes concentraciones de Cromo. En ambos casos el estrés abiótico al que son sometidas las plantas les genera la disminución del contenido de clorofila y de la tasa fotosintética que repercute tanto en el crecimiento adecuado del cultivo como en la acumulación de metabolitos primarios (azúcares, proteínas, grasas), son varios factores los que están relacionados a los niveles de clorofila y a los que les podemos atribuir que ni el tratamiento con el elicitor, ni el cultivo bajo invernadero (ya que es común que bajo este sistema la clorofila se vea disminuida) parezcan afectar estos niveles. El primer factor al que podemos atribuir una tasa fotosintética exitosa, es a el periodo primavera-verano en el que se llevó a cabo el experimento, ya que en esta época del año la intensidad

lumínica es mayor y se alcanzan temperaturas óptimas para las plantas de metabolismo C4, entre los 30 y los 40°C, otro factor importante considerado en el experimento fue el sistema de riego, ya que el déficit de agua puede generar un cierre en los estomas, y en consecuencia se afecta directamente en intercambio de gases, disminuyendo la tasa fotosintética, finalmente la nutrición aplicada al cultivo garantiza la presencia del Magnesio, que es el núcleo de la molécula de la Clorofila y sin el cual, sería imposible para las plantas realizar la fotosíntesis.

En el día 104, los resultados sí presentan una diferencia significativa ($p < 0.05$) entre tratamientos, viéndose disminuida la concentración de clorofila en un 4% para el tratamiento 400 mM, situación que puede ser atribuida al efecto tóxico del H₂O₂ a altas concentraciones, este resultado confirma el efecto negativo del tratamiento de 400 mM de H₂O₂ para el cultivo de amaranto bajo condiciones de invernadero, y reafirma el efecto positivo de las bajas dosis de elicitación tal es el caso de la concentración 125 mM.

8.3.2 Fenoles totales.

El contenido de fenoles totales descritos en el cuadro 16 para cada tratamiento en hoja y en semilla, presenta diferencias significativas en 2 niveles, para cada tratamiento, durante el crecimiento del cultivo, y entre hoja y semilla.

Cuadro 16. Contenido de compuestos fenólicos totales (mg Eq Ácido Gálico/ 100 g PS). Letras diferentes representan diferencia significativa ($p < 0.05$) comparando entre las columnas los diferentes tratamientos.

Contenido de compuestos fenólicos totales (mg Eq Ácido Gálico/ 100 g PS)					
Concentración de H₂O₂		0 mM	125 mM	250 mM	400 mM
Hoja	Día 63	254.40 ± 2.2 ^a	274.17 ± 4.2 ^b	285.91 ± 2.0 ^c	317.48 ± 0.6 ^d
	Día 90	373.66 ± 2.9 ^a	453.84 ± 2.2 ^b	486.99 ± 5.0 ^c	362.0 ± 3.3 ^d
	Día 127	486.41 ± 4.0 ^a	586.60 ± 1.6 ^b	438.90 ± 3.4 ^c	435.24 ± 0.0 ^c
Semilla	Día 134	130.51 ± 1.7 ^a	162.47 ± 1.7 ^b	187.92 ± 1.6 ^c	145.90 ± 1.9 ^d

El contenido de compuestos fenólicos totales en hoja es casi 4 veces mayor que en semilla lo cual corresponde a lo reportado en la literatura para otras especies de amaranto (Hyeon-Ju et al., 2015); el incremento de compuestos fenólicos a lo largo de la edad del cultivo pudiera ser un indicador del momento idóneo de cosecha, que es terminando el cultivo, cuando más compuestos fenólicos se pueden aprovechar. Si bien el comportamiento dosis-respuesta comienza lineal en los primeros estadios del cultivo (Cuadro 16, día 63) en fases más avanzadas, este comportamiento se pierde y la concentración de 400 mM, comienza a tener un efecto negativo, incluso disminuye en un 3.1 % el contenido de fenoles totales en este tratamiento (día 90), para el día 127, muy cerca de la cosecha, las dosis de peróxido de hidrógeno de 400 mM y 250 mM causan una pérdida del 10% en el contenido de fenoles totales respecto al control, y por el contrario la dosis de 125 mM aumenta este contenido en casi un 20%, también respecto al control, siendo éste el mayor contenido de fenoles totales registrado en el experimento 586.6 mg Eq de Ácido Gálico/ 100 g PS, superando incluso los reportes de fenoles totales para otras especies como *Amaranthus caudatus* que reportan niveles de 390 y 470 mg Eq Ácido Gálico/ 100 g PS en hoja (Hyeon-Ju et al., 2015), y para *Amaranthus hipocondriacus* reportan un promedio de 115 mg Eq Ácido Gálico/ 100 g PS (Khanam y Oba, 2013), lo cual muestra la efectividad de ese tratamiento para incrementar los compuestos fenólicos. De entre los compuestos fenólicos detectados en las hojas de amaranto destacan: la isoquercetina, el rutoside, el hiperósido, ácido Salicílico, ácido siríngico, ácido gálico, ácido vanílico, ácido ferúlico, ácido p-cumarico ácido sinápico y ácido elágico (Khanam y Oba, 2013), muchos de ellos responsables de todas las propiedades que se le han atribuido a este cultivo ancestral.

8.3.3 Taninos.

Los taninos son un grupo único de metabolitos fenólicos solubles en agua de peso molecular relativamente alto que tienen la capacidad de formar complejos fuertes con carbohidratos y proteínas. Los taninos son de gran interés desde la perspectiva de la nutrición y la medicina debido a su potente capacidad antioxidante,

antimicrobianas, antivirales, antimutagénicas, anticancerígenas y antidiabéticas y sus posibles efectos protectores sobre la salud humana. Curiosamente, el ácido tánico inhibió los tumores de piel, pulmón y estómago causados por carcinógenos policíclicos de hidrocarburos aromáticos en ratones (Akin-Idowu et al., 2017).

Cuadro 17. Contenido de taninos condensados (mg Eq Catequina/ 100 g PS). Letras diferentes representan diferencia significativa ($p < 0.05$) comparando entre las columnas los diferentes tratamientos.

Contenido de taninos condensados (mg Eq Catequina/ 100 g PS)					
Concentración de H₂O₂		0 mM	125 mM	250 mM	400 mM
Hoja	Día 63	948.65 ± 25.0 ^a	1045.72 ± 15.7 ^b	1333.3 ± 9.6 ^c	924.69 ± 7.4 ^a
	Día 90	1632.28 ± 8.4 ^a	2225.76 ± 46.6 ^b	1495.61 ± 22.5 ^c	1244.73 ± 14.1 ^d
	Día 127	1274.26 ± 8.5 ^a	1475.17 ± 16.8 ^b	1837.12 ± 12.0 ^c	1518.0 ± 12.0 ^d
Semilla	Día 134	231.75 ± 6.2 ^a	207.27 ± 5.1 ^a	243.75 ± 19.7 ^a	222.55 ± 11.3 ^a

El contenido de taninos esta descrito en el cuadro 17 para cada tratamiento en hoja y en semilla. El contenido de taninos en la semilla es casi 6 veces menor que en la hoja, esto explicaría el sabor característico de las hojas ya que este tipo de compuestos da un sabor astringente/amargo que no es perceptible en la semilla, esto además concuerda con lo reportado por Hyeon-Ju et al., (2015), quienes también reportan un nivel menor de taninos en la semilla. El tratamiento de elicitación en la semilla no presenta un resultado significativo para las dosis 250 y 400 mM, y presenta un efecto negativo para la dosis de 125 mM, reduciendo el contenido de taninos en un 10 %. En las hojas en el primer periodo de corte hay un incremento de 10 % y 40.5 % con los tratamientos 125 mM y 250 mM de H₂O₂ respectivamente, mientras que para el tratamiento de 400 mM no hay diferencia significativa, en el segundo periodo de corte únicamente con el tratamiento 125 mM hay un incremento de 36%, mientras que para las concentraciones de 250 y 400 mM los taninos disminuyen en un 8 y 23% respectivamente; en el último corte hay un incremento del

16%, 24% y 19% con los tres tratamientos del elicitor comparados con el grupo control. Siendo el tratamiento de 125 mM del día 90 del cultivo el valor más alto registrado 2,225.76 mg Eq Catequina/ 100 g PS, superando por mucho el valor reportado para la especie *Amaranthus viridis* ya que reportan un contenido de 176 ± 0.21 mg Eq Catequina/ 100 g PS (Kumari et al., 2018).

8.3.4 Antocianinas.

En contenido de antocianinas presentes en hoja y en semilla están descritas en el cuadro 18, en semilla se tuvo un incremento significativo solo en el tratamiento de 400 mM del 28%; y fue menor respecto al contenido de antocianinas en hojas; en las hojas todos los tratamientos tuvieron efecto significativo, todos representando un incremento de antocianinas, aunque no tiene un comportamiento lineal dosis-respuesta, siendo el valor más alto obtenido al día 90, en el tratamiento 125 mM, correspondiente al tratamiento que también incrementó el contenido de taninos, con un valor de 926 mg Eq Cianidina-3-glucosido/ 100 g PS, que además es superior a lo reportado por (Kumari et al., 2018) 528 ± 0.33 mg Quercetina/100g PS.

Cuadro 18. Contenido de antocianinas (mg Eq Cianidina-3-glucosido/ 100 g PS). Letras diferentes representan diferencia significativa ($p < 0.05$) comparando entre las columnas los diferentes tratamientos.

Contenido de antocianinas (mg Eq Cianidina-3-glucosido/ 100 g PS)					
Concentración de H ₂ O ₂		0 mM	125 mM	250 mM	400 mM
Hoja	Día 63	667.54 ± 0.6 ^a	875.23 ± 0.6 ^b	840.41 ± 0.5 ^c	814.01 ± 1.1 ^d
	Día 90	870.13 ± 1.0 ^a	926.40 ± 1.0 ^b	887.38 ± 1.8 ^c	907.52 ± 0.2 ^d
	Día 127	832.0 ± 0.6 ^a	893.07 ± 0.2 ^b	849.50 ± 0.9 ^c	850.75 ± 0.7 ^c
Semilla	Día 134	130.65 ± 0.2 ^a	127.10 ± 0.6 ^b	132.66 ± 0.6 ^a	167.37 ± 1.5 ^c

8.4 Evaluación del efecto de diferentes concentraciones de peróxido de Hidrógeno sobre la capacidad antioxidante de extractos de las hojas de amaranto.

8.4.1 Capacidad antioxidante.

La capacidad antioxidante descrita en el cuadro 19, para semilla y hoja en los diferentes periodos de corte, presenta una correlación directa con el contenido de fenoles, antocianinas y taninos para la semilla, siendo la concentración de 250 mM la que presenta mejores resultados en términos de capacidad antioxidante, de 32 mg Eq Ácido Ascórbico/ 100 g PS, Siendo mayor que la reportada por Álvarez-Jubete et al., (2010), y López-Mejía et al. (2014) de 28.4 ± 1.3 mg ET / 100 g PS, empleando los métodos óptimos de extracción.

Cuadro 19. Capacidad antioxidante por el método de DPPH (mg Eq Ácido Ascórbico/ 100 g PS). Letras diferentes representan diferencia significativa ($p < 0.05$) comparando entre las columnas los diferentes tratamientos

Capacidad antioxidante por el método de DPPH (mg Eq Ácido Ascórbico/ 100 g PS)

Concentración de H ₂ O ₂		0 mM	125 mM	250 mM	400 mM
Hoja	Día 63	472.50 \pm 1.5 ^a	556.44 \pm 0.3 ^b	493.81 \pm 3.2 ^c	392.23 \pm 1.0 ^d
	Día 90	288.04 \pm 0.8 ^a	251.82 \pm 0.4 ^b	118.86 \pm 1.1 ^c	124.93 \pm 0.6 ^d
	Día 127	585.02 \pm 3.3 ^a	510.38 \pm 1.0 ^b	511.93 \pm 0.7 ^b	513.20 \pm 4.5 ^b
Semilla	Día 134	24.95 \pm 0.8 ^a	16.72 \pm 0.8 ^b	32.42 \pm 2.4 ^c	26.76 \pm 0.4 ^a

Los resultados para hoja no presentan una correlación directa del contenido de fenoles totales, antocianinas y taninos con la capacidad antioxidante, eso posiblemente atribuible a que los compuestos fenólicos no son los únicos componentes en los extractos que podrían presentar actividad antioxidante. Compuestos como aminoácidos, péptidos, vitaminas, ácidos grasos y otros derivados de lípidos, también podrían presentar actividad antioxidante.

De hecho, los tratamientos, parecen haber generado un efecto negativo en la capacidad antioxidante de las hojas, siendo significativamente mayor el día de corte 127, el grupo control, al que no se le aplicó ningún tratamiento de elicitación.

Dirección General de Bibliotecas UAQ

CAPITULO IX. CONCLUSIONES.

El cultivo bajo condiciones de invernadero se implementó exitosamente, ya que se logró superar las variables de rendimiento obtenidas en campo abierto, sin afectar el contenido nutricional del Amarantho.

La aplicación de diferentes concentraciones de peróxido de hidrógeno logró incrementar algunas variables del rendimiento del cultivo de Amarantho bajo condiciones de invernadero, en una dosis baja de 125 mM, mientras la concentración 400 mM, tuvo un efecto negativo sobre el diámetro y el contenido de clorofila. El contenido nutricional no se vio afectado por el tratamiento con H_2O_2 .

La aplicación de diferentes concentraciones de peróxido de hidrógeno logró un incremento significativo en fenoles totales en semilla de hasta un 43% para el tratamiento de 250 mM, y en hoja de un 20% en el tratamiento de 125 mM; los taninos condensados no tuvieron un incremento significativo en semilla y en hoja llegaron a un valor máximo de 2,225.76 mg Eq Catequina/ 100 g PS, para el tratamiento de 125 mM, en el segundo periodo de colecta de hoja; mientras que las antocianinas por su parte incrementaron significativamente en semilla sólo para el tratamiento 400 mM, y en hoja alcanzaron niveles de 926 mg Eq Cianidina-3-glucosido/ 100 g PS durante el segundo periodo de colecta en el tratamiento 125 mM.

La capacidad antioxidante parece responder negativamente a los tratamientos con altos niveles de H_2O_2 .

Finalmente, la hipótesis es parcialmente aceptada ya que, si bien se logró incrementar el contenido de bioactivos sin afectar el rendimiento, los resultados no mostraron un incremento de la capacidad antioxidante debido a la aplicación de peróxido de hidrógeno.

CAPITULO X. PERSPECTIVAS

Lograr el incremento de bioactivos en el cultivo tanto en semilla como también en hoja nos brinda muchas posibilidades, que incluyen desde sus propiedades antitumorales, antiinflamatorias, antimicrobianas, antivirales, hepatoprotectoras, nutricionales, neuroprotectoras y muchas otras que aún no han sido descritas, para el tratamiento y la prevención de muchas enfermedades que aquejan a humanidad hoy día, además nos ayudan a comprender la inmensa sabiduría de nuestros antepasados, que sustentada en la ciencia, nos podría ayudar a ofrecer un mejor futuro.

Dirección General de Bibliotecas UNQ

REFERENCIAS

Arreola-Cortés, A. (2002). Estimulación de la producción de especies reactivas de oxígeno y capsidiol en Chile (*Capsicum annuum* L.) tratado con ácido araquidónico. Tesis de licenciatura, Instituto de Investigaciones Químico Biológicas, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, 56 p

Agudo, A. Cabrera, I. Amiano, P. Ardanaz, E. Barricarte, A. Berenguer, T. Chirlaque, M.D. Do- Rronso, M. Iakczyn, P. Llarrañaga, N. Martínez, Navarro, C. Quirós, J.R. Sánchez, M.J. Tormo, M.J. González, C.A., (2007). Fruit and vegetable intakes, dietary antioxidant nutrients, and total mortality in Spanish adults: findings from the Spanish cohort of the Euro- Pean prospective investigation into cancer and nutrition (Epic-Spain), *American Journal Clinical Nutrition*. 85(6), 1634-42.

Akin-Idowu, P., Olufemi O., Yemisi A., Ayodeji A. (2017). Phytochemical Content and Antioxidant Activity of Five Grain Amaranth Species. 5. 249-255}

Alexandre I., G. (2008). The cultivation of amaranth in Mexico. 5th Int. Sym. Eur. Amaranth Association. 37-38.

Andrews, J. Peppers. (1995). *The domesticated capsicums*. University of Texas Press. Austin, Texas.

Sülün Ü., Şebnem E., Ülkü M. (2014) "The effects of biotic and abiotic elicitors on the capsidiol synthesis in cell suspension cultures of pepper *Capsicum annuum* L.". *Biotechnology & Biotechnological Equipment*. Vol 18. DOI 10.1080/13102818.2004.10819229

Baderschneider, B., Winterhalter, P. (2001). Isolation and characterization of novel benzoates, cinnamates, flavonoids and lignans from Riesling wine and screening for antioxidant activity. *J. Agri. Food Chem*

Baderschneider, B., Winterhalter, P. (2001). Isolation and characterization of novel benzoates, cinnamates, flavonoids and lignans from Riesling wine and screening for antioxidant activity. *J. Agri. Food Chem*

Bashri G, Parihar P, Singh R, Singh S, Singh VP, Prasad SM. (2017). Physiological and biochemical characterization of two *Amaranthus* species under Cr(VI) stress differing in Cr(VI) tolerance. *Plant Physiol Biochem.* doi: 10.1016/j.plaphy.2016.06.030

Becerra, R. (2009). El amaranto: nuevas tecnologías para un cultivo antiguo. *CONABIO. Biodiversitas* 30:1-6.

Benezzer-Benezzer, M. Castro-Mercado, E. y García-Pineda, E. (2008) La producción de Especies Reactivas de Oxígeno Durante la Expresión de la Resistencia a Enfermedades en Plantas, *Revista Mexicana de Fitopatología.* 26(1), 56-61.

Bustamante E. (1999). *Revista "Manejo integrado de plagas"*. En red). Disponible en: <http://web.catie.ac.cr/informacion/rmip/rmip54/ht54-b.htm>

Caselato, V., J. Amaya. (2012). State of knowledge of amaranth grain: a comprehensive review. *J. Food Sci.* 77(4):93-104.

Delgado O.L., Betanzos C.G., Sumaya M.Ma.T. (2010). "Importancia de los antioxidantes dietarios en la disminución del estrés oxidativo". *Redalyc. Universidad Autónoma de Aguascalientes.*

Dillard CJ. JB German. (2000). *Phytochemicals: nutraceuticals and human health.* *J Sci. Food Agric.* 80: 1744-1756.

Echenique V., Rubinstein C., Mroginski L. Zappacosta D. (2012). "Biotecnología y mejoramiento vegetal" Capítulo 9. *Biotecnología aplicada al control de enfermedades*

Espitia, R. (1992). *Amaranth germplasm development and agronomic studies in Mexico.* *Food Reviews International* 8(1): 71-86.

Fernández B.G. (2007). "Extracción, análisis, estabilidad y síntesis de capsaicinoides" *Universidad de Cádiz. Facultad de Ciencias.*

Guzmán- Maldonado SH, Torres-Pacheco I, González-Chavira M, Mora-Avilés MA, Herrera-Hernández MG., Hernández-López D. (2004). *Análisis preliminar de*

compuestos fenólicos y capsaicinoides en variedades de chile con diferente capacidad pungente. Primera Convención Mundial del Chile.

Gómez-Renaud, V. M., Torres-Pacheco, I., Bárcena-Romero A. R., Cervantes-Landaverde, J. J., Olvera-Luna, A., Quijas Martínez, J., Rosales-Cueto, L. L. (2009). "Efecto de la aplicación de peróxido de hidrógeno para la inducción de resistencia en chile jalapeño (*capsicum annum* L.) contra la enfermedad de marchitez del chile ocasionada por *phytophthora capsici*". Facultad de Química, Facultad de Ingeniería Universidad Autónoma de Querétaro, Centro de Ciencias Agropecuarias y Universidad Autónoma de Aguascalientes.

Guzmán-Maldonado SH., Paredes-López O. (1998) . Functional products of plant indigenous to Latin America: Amaranth, quinoa, common beans and botanicals. En: Functional Foods- Biochemical & Processing Aspects. Mazza, G. (ed.). Technomic Publishing Co. EUA

Halliwell, B. (1996). Antioxidants in human's health and disease, Annual Reviews. 16, 33-50.

INEGI, (2010). Instituto Nacional de estadística, Geografía e Informática. <http://www.inegi.org.mx>.

IMPI, (2010) Instituto Mexicano de la propiedad Industrial. <http://www.impi.gob.mx>

Jiménez-Esparza, Luis Oswaldo^{1*}, González-Parra, Marilú Manuela¹, Bastidas-Tibanquiza, Mérida Lucía¹, & Decker-Campuzano, Fernando Enrique². (2018). Evaluación del rendimiento de tres sistemas de siembra y dos variedades de amaranto (*Amaranthus quitensis*) y (*Amaranthus hypochondriacus*). Journal of the Selva Andina Biosphere, 6(2), 65-75.

Khanam, U., Oba, S. (2013). Bioactive substances in leaves of two amaranth species, *Amaranthus tricolor* and *A hypochondriacus*. Canadian Journal of Plant Science 93(1): 47-58

Kigel J.(1994). Development and ecophysiology of Amaranthus. In: Paredes-López O. (ed.) Amaranth Biology, Chemistry and Technology. CRC Press, Boca Raton FA. p. 40-73.

Kumari S., Elancheran R., Devi R. (2018). Phytochemical screening, antioxidant, antityrosinase, and antigenotoxic potential of Amaranthus viridis extract. Indian J Pharmacol; 50(3): 130–138

Mapas y municipios del estado de Querétaro. En red). Disponible en: <http://www.queretaro.gob.mx/municipios.aspx?q=RrRbGx+QAUjIz790U1IKg==#Información Geográfica>.

M. Vivanco. Jorge, Cosio E., M. L. V-Vargas y E. F. H. (2005). “Mecanismos químicos de defensa en las plantas”. “Investigación y ciencia”

Mohseni S., Vahidi S., Abdolghaffari H., Nikfar A., Abdollahi, M. (2009). Antioxidant therapy in the management of acute, chronic and post-ERCP pancreatitis: a systematic review, World Journal of Gastroenterology. 15(36), 4481-90.

Neill, S., Desikan, R., Hancock, J. (2002) “Hydrogen peroxide signalling”, Current Opinion in Plant Biology. 5:388-395.

Nguyen, A.T. Y Donnalson, R.P. (2005). Metal-Catalyzed oxidation induces carbonylation of peroxisomal proteins and loss of enzymatic activities, Archives of Biochemistry and biophysics. 439, 25-31.

Ramírez-Flores J, DL Ochoa-Martínez, MN Rodríguez-Mendoza y G Mora-Aguilera. (2006). Efecto del ácido acético salicílico, miel y melaza en la movilidad y concentración de TSWV. Revista Chapingo Serie Horticultura, 12(2): 239-243.

Riveros Angarita Alba E. (2010). “Inducción de Resistencia en plantas Interacción: Planta-Patógeno”. Universidad de Tolima Ibagué. Colombia.

Robertson A. y M. N. Hall. (1989). A critical investigation into the flavonoid method for thea. Food Chem. 34, 57-70. In: Martínez V., J.V. 2007. Oaxaca.

Urban Harvest. (2003). Los vegetales. (En red). Disponible en <http://www.Urbanharvest.org/huertas/verduras.htm>.

Roche, C.E. Y Romero, A.D., (1994). Estrés oxidativo y degradación de proteínas, Medicina clínica. 103(5), 189-196.

Rubio-Pino, J., Iloki-Assanga, S., Lewis-Lujan, M., Meza-Cueto, C., Gil-Salido, A., Acosta-Silva, A., Rivera-Castañeda, E.G., Lipovka, Y. (2010). Caracterización química, nutrimental y evaluación de la actividad biológica in Vitro de los chiles habanero (*Capsicum chinense*), chiltepín (*Capsicum annuum* var. *Glabriusculum*), morrón verde y rojo (*Capsicum annuum* L.). Hermosillo, Sonora.

Rodríguez P., Pérez E., Guzman R., Dominique D. (2011). Characterization of the proteins fractions extracted from leaves of *Amaranthus dubius* (*Amaranthus* spp.). African Journal of Food Science. 5. 417-424.

Slabbert M., Krüger G. (2014). Antioxidant enzyme activity, proline accumulation, leaf area and cell membrane stability in water stressed *Amaranthus* leaves. South African Journal of Botany. Volume 95. Pages 123-128. ISSN 0254-6299.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. SIAP. (2012). Producción agrícola.

Singleton V.L.; Orthofer R. y Lamuela-Reventos R. M. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of the Folin-Ciocalteu reagent. *Meth Enzymol.* 229: 152-178.

Tun Dzul J.C., (2001) "Chile habanero Características y Tecnología de Producción". SAGARPA, INIFAP., México

USDA Natural Resources Conservation Service. (2003). Plants National database. En red). disponible en: http://www.plants.usda.gov/cgi_bin/plant_profile.cgi?symbol=CACH30.

Vázquez-Flota, F., Mirand, H.M.L., Monforte, G.M, Gutiérrez -Carbajal, G., Velásquez, G. C. y Nieto, P.Y. (2007). La biosíntesis de los capsaicinoides, el principio picante del chile. Rev. Fitotec. Mex. 30(4): 353-360.

Velasco A.M., Villela S.L. (2016). "*Los cuerpos divinos. El amaranto: comida ritual y cotidiana*", Arqueología Mexicana núm. 138, pp. 26-33.

Vivanco J.M., Cosio E., Loyola-Vargas V. M. y Flores H.E. (2005). Mecanismos químicos de defensa en las plantas.

Zubillaga, M. (2017). Comportamiento del cultivo de amaranto en el Valle Inferior del Río Negro, Argentina. Optimización de las condiciones del cultivo. Universidad Nacional Del Sur, Tesis doctoral, Argentina.