



Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Estudios Superiores Iztacala

Desarrollo del cultivo hidropónico de Amaranto (*Amaranthus
hypochondriacus L.*) bajo condiciones controladas.

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE BIÓLOGO

PRESENTA:

Sánchez Urbán Marcos

Director de tesis:

Biol. José Guadalupe Martínez Aguilar

Los Reyes Iztacala, Edo. México, 2015





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

**A mi madre,
pues a quien mas**

Ya tenemos rato Dulce

De manera particular agradezco a los maestros que me han formado en la UNAM, agradezco a la UNAM, a mi director de tesis y a mis compañeros dentro de la UNAM.

Índice de contenido

<i>RESUMEN</i>	1
<i>INTRODUCCION</i>	3
<i>JUSTIFICACIÓN</i>	7
<i>DESCRIPCIÓN BOTANICA DE Amaranthus hypochondriacus L</i>	8
<i>ANTECEDENTES</i>	13
<i>OBJETIVO GENERAL</i>	17
<i>OBJETIVOS PARTICULARES</i>	17
<i>MATERIAL Y MÉTODO</i>	19
Crecimiento, desarrollo y biomasa.....	24
Pigmentos.....	24
Bromatología y rendimiento.....	25
Anatomía.....	25
Análisis estadístico.....	26
<i>RESULTADOS</i>	27
Germinación.....	28
Crecimiento, desarrollo y biomasa.....	28
Pigmentos.....	36
Bromatología y rendimiento.....	38
Anatomía.....	39
<i>DISCUSIÓN</i>	45

Crecimiento, desarrollo y biomasa.....	45
Pigmentos.....	49
Bromatología y rendimiento.....	49
Anatomía.....	51
<i>CONCLUSIONES</i>	53
<i>LITERATURA CITADA</i>	55
<i>ANEXOS</i>	63
Apéndice 1.....	63
Apéndice 2.....	64
Apéndice 3.....	65

Índice de ilustraciones

Ilustración 1: <i>Amaranthus hypochondriacus</i> L.....	8
Ilustración 2: Semillas de <i>Amaranthus hypochondriacus</i> L. puestas en imbibición.....	20
Ilustración 3: Sistema de camas de germinación.	20
Ilustración 4: Cultivo hidropónico de <i>Amaranthus hypochondriacus</i> L.....	21
Ilustración 5: Acercamiento del cultivo hidropónico de <i>Amaranthus hypochondriacus</i> L.....	22
Ilustración 6: Cultivo control (suelo) de <i>Amaranthus hypochondriacus</i> L.....	22
Ilustración 7: Acercamiento, cultivo control (suelo) de <i>Amaranthus hypochondriacus</i> L.....	23
Ilustración 8: Imagen del ejemplar de <i>Amaranthus hypochondriacus</i> L. depositado en el herbario.....	27
Ilustración 9: Planta hidropónica de <i>Amaranthus hypochondriacus</i> L.....	29
Ilustración 10: Planta control (suelo) de <i>Amaranthus hypochondriacus</i> L.....	29
Ilustración 11: Múltiples inflorescencias en una sola planta de cultivo hidropónico de <i>Amaranthus hypochondriacus</i> L.....	30
Ilustración 12: Única inflorescencia apical de plantas control (suelo) de <i>Amaranthus hypochondriacus</i> L.....	30
Ilustración 13: Comparación entre plantas de <i>Amaranthus hypochondriacus</i> L.....	32
Ilustración 14: Planta control (suelo) de <i>Amaranthus hypochondriacus</i> L.....	32
Ilustración 15: Planta hidropónica de <i>Amaranthus hypochondriacus</i> L.....	33
Ilustración 16: Comparación en la pigmentación foliar de plantas de <i>Amaranthus hypochondriacus</i> L.....	36

Ilustración 17: Vista transversal del tallo de *Amaranthus hypochondriacus* L. cultivado en hidroponía.....43

Ilustración 18: Vista transversal del tallo de *Amaranthus hypochondriacus* L., cultivo control (suelo).....44

Índice de tablas

Tabla 1: Elementos nutritivos para las plantas.....	4
Tabla 2: Valores de las variables crecimiento, desarrollo y biomasa.....	35
Tabla 3: Cuantificación de pigmentos fotosintéticos.....	37
Tabla 4: Valores bromatológicos.....	38
Tabla 5: Mediciones de variables de la anatomía del tallo	42

RESUMEN

La hidroponia es una tecnología que ha permitido el progreso agrícola, definida como el cultivo de plantas sin utilizar suelo, esta tecnología ha permitido al hombre cultivar en menor cantidad de superficie mayor cantidad de plantas con mejor rendimiento y desarrollo.

En hidroponia se reemplaza al suelo agrícola por una solución de nutrientes que contiene todos los elementos esenciales para el desarrollo de la planta; desde las pioneras soluciones nutritivas de Hoagland y Arnon, y Hewitt hasta nuestros días se ha desarrollado toda una amplia línea de investigación sobre la síntesis de diferentes formulaciones de soluciones nutritivas que atiendan los requerimientos nutritivos de diferentes especies de plantas en específico, la importancia de estas investigaciones radica en la estandarización de tecnologías de cultivo que puedan implementarse en cultivares de especies de importancia alimenticia para poder mejorar el desarrollo y rendimiento de los cultivos; una especie de principal importancia alimenticia por su alto contenido de proteínas que exhiben un balance equilibrado de aminoácidos esenciales es el Amaranto (*Amaranthus hypochondriacus L.*).

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar el desarrollo del cultivo hidropónico de Amaranto (*Amaranthus hypochondriacus L.*) crecido bajo una solución nutritiva (Solución Hidro-FESI) y bajo condiciones controladas, a través de análisis morfofisiológicos, bromatológicos y anatómicos, comparando el cultivar hidropónico con el del grupo control.

Los parámetros morfofisiológicos evaluados fueron: biomasa acumulada en raíz tallo y hojas, longitud de panoja y raíz, se evaluó el área foliar y altura de las plantas, así mismo se cuantificó los pigmentos (clorofila a, b y carotenoides) por espectrofotometría, se determinó el

rendimiento o producción de semilla de la planta, y se evaluó el porcentaje de proteínas, carbohidratos y lípidos que contenían mediante técnicas bromatológicas; para el estudio anatómico comparativo se analizaron y compararon cortes transversales de tallo de las plantas en etapa de fructificación.

La solución nutritiva Hidro-FESI tal como fue formulada no fue adecuada para el óptimo desarrollo de la planta de *Amaranthus hypochondriacus L.*, el enriquecimiento con Nitrógeno (Urea) de la formulación original propicio la mejora en el desarrollo de las plantas obteniéndose un rendimiento de semillas estadísticamente igual al que se obtuvo en las plantas del grupo control; además el cultivo hidropónico ocupó menor espacio en su desarrollo por tener una medida menor en la variable altura máxima en comparación con el cultivo control,

La morfología de las plantas del cultivo hidropónico mostró múltiples ramificaciones e inflorescencias así como tallos de menor diámetro respecto a los valores obtenidos de los cultivos control.

La cuantificación de proteínas en la semilla mostró valores similares a los reportados en estudios bromatológicos sobre el grano de esta especie.

La mayor salinidad encontrada en el sustrato de las plantas crecidas en el cultivo hidropónico influyó significativamente en la amplitud del cilindro vascular. Otros caracteres como el diámetro tangencial de los vasos, número de vasos por mm² y agrupación, no se modificaron significativamente en ambos cultivos.

INTRODUCCION

El progreso agrícola es producto de investigaciones en el desarrollo y estandarización de nuevas tecnologías agrarias. Las nuevas tecnologías han permitido al hombre cultivar en menor cantidad de superficie mayor cantidad de alimentos con mayores ganancias para el agricultor, ejemplo de esto es el uso de invernaderos que permiten controlar diferentes condiciones ambientales logrando producir en cualquier época del año (Osorio, 2008). Tecnologías complementarias al uso de invernaderos, como la hidroponía, han permitido mejorar la producción y productividad de diferentes cultivos. El aumento de las exigencias del mercado en calidad y sanidad de productos agrícolas han hecho que las técnicas de cultivos hidropónicos sean potencialmente más atractivas (FAO, 2012).

La palabra hidroponía deriva de los vocablos griegos hidro agua, y, ponos labor o trabajo; esta técnica se define como la ciencia del crecimiento de las plantas sin utilizar suelo (FAO, 2012). En este método se remplaza el suelo de uso agrícola por una solución de nutrientes que contiene todos los elementos esenciales para el desarrollo de la planta (Resh, 2001; Rodríguez, 2002).

La solución de nutrientes es una solución de sales minerales con composición química controlada y balance entre aniones y cationes (Barbado, 2005). Esta solución contiene todos los elementos esenciales para la nutrición mineral de las plantas (Tabla 1). A mediados del siglo XIX se estableció la posibilidad de utilizar soluciones nutritivas que permitieran a las

plantas crecer y madurar en ausencia de suelo, las soluciones de Hoagland y Arnon, y de Hewitt marcaron un hito en la investigación sobre este campo, variantes a estos sistemas han dado lugar a diferentes soluciones nutritivas (Azcón-Bieto *et al.*, 2010)

ELEMENTO	SÍMBOLO QUÍMICO
Molibdeno	Mo
Níquel	Ni
Cobre	Cu
Zinc	Zn
Manganeso	Mn
Hierro	Fe
Boro	B
Cloro	Cl
Azúfre	S
Fosforo	P
Magnesio	Mg
Calcio	Ca
Potasio	K
Nitrógeno	N
Oxígeno	O
Carbono	C
Hidrogeno	H

Tabla 1: Elementos nutritivos para las plantas, tomada de Azcón-Bieto *et al.*, 2010

En los cultivos hidropónicos se suprime el laboreo del suelo y la rotación de cultivos, se incrementa la producción hasta en un 15% a 20%, teniendo en un área mínima una densidad elevada de organismos (Pinto *et al.*, 2000). Esta forma de cultivo también permite un control eficiente de plagas, enfermedades y el control de nutrición (Penningsfeld y Kurzman, 1983). Existe una gran variedad de técnicas derivadas de la práctica hidropónica clásica (cultivo solo en agua); entre las más empleadas se encuentran el sistema de raíz flotante, la aeroponía, la técnica de solución nutritiva recirculante y el cultivo en agregados o sustrato sólido.

Los cultivos hidropónicos se consideran un medio en donde las plantas pueden alcanzar un desarrollo óptimo debido al control de nutrición mineral y de aspectos ambientales que la técnica brinda en comparación con las plantas que se desarrollan en suelo (Gilzans, 2007).

Actualmente se sabe que plantas de una misma especie que se desarrollan en medios diferentes tienden a presentar características adaptativas en variables como altura, biomasa y composición química, entre otras (Valverde *et al.*, 2005).

Existen numerosos trabajos donde se han empleado los cultivos hidropónicos para evaluar la producción de hortalizas, forraje, plantas ornamentales y de producción de flor, entre otros (Vargas-Rodríguez, 2008; Ortiz *et al.*, 2009). Una de las múltiples importancias que tiene la investigación sobre cultivos hidropónicos se basa en la obtención de vegetales de índole alimenticio para las poblaciones humanas, la indagación en este campo ha hecho uso de cuantiosas especies vegetales de valor nutricional con el fin de mejorar técnicas de producción para obtener mayor rendimiento y mejor desarrollo en los cultivares.

Uno de los cultivos alternativos, capaz de suministrar a la población una ingesta balanceada y adecuada de nutrientes es el Amaranto (*Amaranthus hypochondriacus L.*); estudios químicos y bromatológicos, muestran que esta especie tiene un alto valor nutricional (Suárez, 1988). Al respecto la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación establece que el amaranto representa una fuente importante de alimentos para el futuro (FAO, 2012). Se sabe que el Amaranto posee granos con un contenido importante de proteínas, las cuales exhiben un balance muy equilibrado de aminoácidos esenciales (Avanza *et al.*, 2006). Este hecho convierte a las proteínas de amaranto en objetos muy atractivos desde el punto de vista nutricional y como una fuente potencial para la alimentación humana (FAO, 2012).

El Amaranto es un vegetal nativo de América Central, fue un cultivo muy importante de los pueblos originarios de esta región, como los Incas, Mayas y Aztecas, que lo empleaban para la alimentación y rituales religiosos. Después de la conquista española se prohibió el cultivo de esta planta por ser utilizada en rituales que iban contra las creencias de la iglesia católica (Ventureira, 2010). En las últimas décadas el cultivo del amaranto se ha difundido en varios países del mundo, como India, China, Estados Unidos, Japón y otros países de Asia y África (Becerra, 2000). En México en los últimos 28 años la superficie sembrada se incrementó a una tasa media anual de 9.82%, entre 1982-2010; esta tasa se refleja en la producción de alimentos, en la industria farmacéutica y en elaboración de cosméticos. La producción se concentra en la zona central de México, donde tradicionalmente se destacan los estados de Puebla, Estado de México, Morelos, Tlaxcala y el Distrito Federal. También se siembra, pero en menores superficies y de manera más esporádica en Aguascalientes, Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, Michoacán, Oaxaca y Querétaro, Nayarit, Veracruz y en huertos familiares en la zona serrana de Sinaloa, Sonora, Chihuahua y Durango (Espitia *et al.*, 2010).

Del Amaranto se aprovecha tanto sus semillas como sus hojas para la alimentación o como forrajes. Las semillas presentan una gran versatilidad, pudiéndose utilizar en la preparación de diversos alimentos y tiene, además, un prometedor potencial de aplicación industrial, tanto en la producción de alimentos como en la elaboración de cosméticos, colorantes y hasta plásticos biodegradables (Becerra, 2000).

JUSTIFICACIÓN

La importancia de la investigación sobre cultivos hidropónicos de especies de importancia alimenticia y en específico del Amaranto, radica en desarrollar y estandarizar tecnologías de cultivo que puedan implementarse en cultivos donde las condiciones ambientales no permitan el óptimo desarrollo de vegetales para consumo humano, así como de desarrollar métodos de cultivo donde pueda obtenerse un mejor desarrollo y rendimiento de las plantas producidas.

DESCRIPCIÓN BOTANICA DE *Amaranthus hypochondriacus* L.

La denominación de esta especie tiene las siguientes sinonimias: *A. frumentaceus*, *A. anardan*, *A. hybridus* var. *Erythrostachys*, *A. leucocarpus* y *A. leocospermus*.

Plantas anuales, herbáceas. Tallo simple o ramificado, alcanzan alturas de hasta tres metros. Hojas simples, alternas, elípticas u ovado-oblongas, ápice agudo acuminado y base cuneada o aguda. Inflorescencia de gran tamaño muy densa, erecta y espinosa con espigas y panículas laterales. Flores pentámeras, tépalos ligeramente curvados y más largos que los tépalos de las otras especies para producción de grano. Semillas de color blanco, dorado, café y negro (Ilustración 1). Esta especie también es utilizada como ornamental por sus inflorescencias que son muy vistosas (Grubben y Sloten, 1981).



Ilustración 1: *Amaranthus*
hypochondriacus L.

Taxonomía del Amarantho:

Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Caryophyllales
Familia	Amaranthaceae
Genero	Amaranthus
Especies	<i>Amaranthus hypochondriacus L.</i>

Amaranthus hypochondriacus L. Var. Azteca

Esta raza incluye las plantas de mayor tamaño del género, alcanzan hasta 3 m de altura, su ciclo biológico es tardío (170 días en Chapingo, Estado de México); su tallo es verde con estrías de color púrpura, las hojas son elípticas y de diversos colores. Cada planta tiene entre 40 y 50 hojas primarias. La inflorescencia puede alcanzar hasta un metro de longitud (de 0.6 a 1.2 m), cada una con 5 a 6 ramas, su color puede ser verde, rosa, rojo y púrpura; presenta un promedio de 80 a 150 panículas erectas; cada una con 5 a 13 ramas; el glomérulo tiene un promedio de 30 flores pistiladas. Las brácteas son largas y puntiagudas mayores que el utrículo; por lo que la inflorescencia puede producir un efecto espinoso al tacto. La caída de la semilla a la madurez en esta raza es muy baja, siendo de color blanco, marrón o negro y es de tamaño medio a grande, se pueden producir más de 100 g de semilla por planta, por lo que es

considerada como la de mayor potencial de rendimiento. Es originaria de las partes altas de Tlaxcala, Puebla, México y Distrito Federal en México, donde es cultivada especialmente para la producción de grano y se cultiva en las zonas de clima templado como: Tulyehualco, Distrito Federal, San Miguel del Milagro, Tlaxcala y algunas zonas aledañas a los volcanes en los estados de Tlaxcala y Puebla. Es sensible al fotoperíodo. En condiciones de 40° latitud Norte, Pennsylvania, EE.UU., el ciclo biológico es muy tardío y en la mayoría de los casos no se completa. Este tipo presenta los menores grados de ramificación lateral (Weber *et al.*, 1985; Espitia, 1992).

Amaranthus hypochondriacus L. Var. Mercado

Esta raza para grano incluye algunas de las formas más interesantes para el desarrollo de variedades mejoradas. Tiene buena calidad para industrialización y muy buen potencial de rendimiento. Es originaria de México, principalmente en las regiones subtropicales de Morelos y Puebla donde es cultivada para la producción de grano.

Las plantas de esta raza alcanzan una altura en la madurez de hasta 2 m, su ciclo biológico dura unos 140 días en latitudes de 19°; por lo general presenta tallos y hojas de color verde, las hojas son de forma elíptica. Cada planta llega a tener entre 20 y 35 hojas primarias. La inflorescencia central mide alrededor de 60 cm de longitud y presenta de 42 a 75 panículas erectas y cada una tiene 3 a 9 ramas. Los glomérulos tienen un promedio de 44 flores pistiladas. Las brácteas son más cortas que el utrículo y de ápice obtuso por lo que resulta ser suave al tacto. Desarrolla numerosas ramificaciones laterales y adquiere una apariencia

arbustiva, sobre todo a bajas densidades de población. Las semillas son blancas, doradas y raras veces negras. La raza Mercado no se encuentra pura, se le encuentra mezclada con la raza Mexicano en las regiones productoras de Morelos y Puebla, ubicadas en la zona de transición ecológica o tropical. Esta raza es sensitiva al fotoperiodo (Weber *el al.*, 1985; Espitia, 1992).

Amaranthus hypochondriacus L. Var. Mixteco

Esta raza es utilizada como grano y es originaria de los estados de Oaxaca y Michoacán en México. Es muy similar a la Azteca pero tarda más tiempo en madurar, de 180 a 220 días, las ramificaciones de la inflorescencia son más delgadas en la raza Mixteco. Alcanza hasta 3 m de altura. La inflorescencia presenta de 100 a 170 panículas erectas y cada una tiene de 5 a 27 ramas. Los glomérulos están formados por un promedio de 18 flores pistiladas. Las brácteas son más largas que el utrículo. Las semillas son blancas o marrón oscuro y el tamaño es de chico a mediano. Esta raza es muy sensible al fotoperíodo (Espitia, 1992).

Amaranthus hypochondriacus L. Var. Nepal

Esta raza tiene una amplia variabilidad, es cultivada para la producción de grano en la India y Nepal, poblaciones nativas de esta raza tienen un alto potencial de rendimiento en lugares de bajas latitudes. En México, esta raza ha tenido buena adaptación; sus plantas alcanzan de 0.8 a 2.2 m altura, maduran en 135 días aproximadamente en bajas latitudes y presentan poca ramificación lateral; aunque existen colectas más precoces que maduran en 110 días, algunas

no presentan ramificaciones. Las hojas son de forma elíptica y pueden ser de color verde, amarillo, rosa, rojo o púrpura. La inflorescencia es de tamaño intermedio alcanzando hasta 0.8 m de longitud y de color variable, las hay verdes, amarillas, doradas, salmón, rosas, rojas o púrpuras. La inflorescencia central puede alcanzar de 36 a 56 panículas erectas, cada una con 1 a 4 ramas. Los glomérulos presentan 18 un promedio de 47 flores pistiladas. Las brácteas son generalmente más largas que el utrículo, sin embargo en algunas accesiones son más cortas. La raza Nepal produce muy buen rendimiento; sus semillas son de buena calidad y de color blanco, dorado, marrón o negro; la caída de la semilla es de ligera a moderada. Es sensible al fotoperíodo. (Espitia, 1992).

Amaranthus hypochondriacus L. Var. Picos

Esta raza es originaria de Nepal y de la India, las poblaciones nativas de esta raza se cree que son segregaciones de la raza Nepal, las plantas son ramificadas y tienden a acamarse, dado que el tallo no soporta la inflorescencia, esta raza incluye las plantas de menor altura de la especie *A. hypochondriacus* con una altura de 0.7 a 1.7 m. La inflorescencia tiene forma de largos dedos y tiende a ser espinosa, ya que las brácteas son más largas que el utrículo. La caída de la semilla es moderada. Algunas de estas poblaciones de esta raza presentan características muy interesantes para variedades especiales para zonas de baja precipitación y para variedades de cosecha mecánica. Esta raza es sensitiva al fotoperiodo (Espitia, 1992).

ANTECEDENTES

Los estudios sobre hidroponía en *Amaranthus hypochondriacus L.* se han promovido a partir de finales de los 90's. San Miguel *et al.*, (1999) estudiaron el efecto de concentraciones crecientes de potasio, sobre la conductancia estomática y el contenido de clorofila en tres cultivares hidropónicos de Amaranto (Azteca, Mercado y Nepal). Estos autores observan que a mayor concentración de Potasio en el sustrato, la conductancia estomática y la cantidad de clorofila aumenta.

Huidobro (2013) realizó un estudio sobre el establecimiento de un cultivo hidropónico de una Amaranthaceae, el Epazote (*Telexys ambrosioides*), observa que los organismos del cultivo hidropónico obtuvieron valores más altos en las variables de biomasa y crecimiento de la planta, así como mayor concentración de dos compuestos de aceite esencial en las plantas de este cultivo

Ramírez *et al.*, (2011) Estudiaron el efecto de la variedad, la fertilización (N y P) y densidades de plantas sobre la producción de semilla de Amaranto. Los resultados muestran que la localidad, la fertilización, la densidad de plantas y la interacción densidad de plantas-variedad, tienen efectos significativos sobre el rendimiento de semilla. Los rendimientos más altos corresponden a la localidad de Montecillo, Estado de México, a las fórmulas 80-60-40 y 80-30-40 con 1 668.7 y 1 660.9 $Kg ha^{-1}$ respectivamente, a la variedad DGTA (1 778.2 $Kg ha^{-1}$)

y a la densidad de plantas de 100 000 plantas ha^{-1} . Para altura de planta, la variedad y densidad de plantas tiene efectos significativos, siendo la variedad Revancha la que presenta una altura de planta apropiada para cosecha mecánica en las tres densidades de plantas.

Taboada y Oliver (2008) estudiaron el desarrollo de *Amaranthus sp.* en cultivos en suelo enriquecidos con abono de gallinaza y vacaza. Estos autores reportan que el mejor tratamiento para la producción fue el que empleó gallinaza con 1378 kg/ha; los resultados con vacaza son de 1105 kg/ha y el cultivo testigo obtuvo una producción de 798 kg/ha.

Vázquez *et al.*, (2011) analizaron el rendimiento de cultivos de Amaranto enriquecidos con tres diferentes abonos orgánicos (Guano, Bionitro y Gallinaza) en Puebla México. Sus resultados muestran diferencias estadísticamente significativas en el rendimiento entre tratamientos, mismos que superaran al testigo, el rendimiento fue de 2.05, 2.17 y 2.17 t/ha para Guano, Bionitro y Gallinaza respectivamente. Se concluye que el abonado orgánico realizado con Guano, Bionitro y Gallinaza, en suelos Cambisoles, es adecuado para el cultivo de amaranto.

García *et al.*, (2009) Evaluaron cuatro genotipos de *Amaranthus hypochondriacus* (655, 653, 153-5-3, y Criollo Tlaxcala) y uno de *Amaranthus cruentus* (genotipo 33) bajo cuatro densidades de población: 31250; 41666; 62500 y 125000 plantas/ha, durante los ciclos agrícolas primavera-verano 2000, otoño-invierno 2001 y 2002, en la estación experimental de

la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León, México. Tanto la interacción triple (genotipos x densidades x años), como la doble (genotipos x años) resultan estadísticamente significativas para todas las variables de rendimiento. El mayor rendimiento del grano en Primavera verano 2000 se registra en el genotipo 655 con 2221 kg/ha, mientras que en otoño invierno 2001 y 2002 el genotipo con mayor rendimiento del grano es el 33 con 1274 y 1926 kg/ha, respectivamente. El mayor rendimiento de grano se ubica con la densidad de población de 125 mil plantas/ha para todos los genotipos, en todos los ambientes de prueba.

Algunos estudios de anatomía sobre Amaranthaceae son los siguientes:

Heklau *et al.*, (2012) Realizaron un estudio sobre la anatomía de madera de 182 especies de Cheniopodiaceas un grupo de plantas que se incluyen en las Amaranthaceae, estos investigadores observan crecimientos anómalos (variantes cambiales) del cambium vascular de varias especies, registran que la actividad del cambium sucesivo inicia cuando el xilema secundario y floema secundario se desarrollan y que la fuerte influencia del macroclima y factores del suelo sobre el diámetro de los vasos es vista en combinación con las diferentes formas de vida. Distinguieron que en plantas anuales los vasos son estrechos, en las desérticas, semidesérticas y halofitas también. Se postula que en plantas anuales de sitios ruderales, de jardines, praderas y costas, los vasos son más estrechos.

En su estudio anatómico sobre una Amaranthaceae (*Teloxys ambrosioides*), Huidobro (2013)

observo que existen diferencias en el desarrollo anatómico de los cultivos hidropónicos en relación con los de suelo. Los cultivos hidropónicos muestran mayor desarrollo en el tejido medular y cilindro vascular y mayores valores de diámetro en el lumen de los vasos xilemáticos.

En su estudio morfológico y anatómico sobre una Amaranthaceae, *Alternanthera brasiliana* L. (Kuntze), Duarte & Debur (2004) describieron variantes cambiales en forma de arcos concéntricos en el tallo de esta especie

A pesar de los estudios realizados sobre hidroponía en esta especie, falta por efectuarse trabajos que analicen la utilización de otras formulaciones de soluciones nutritivas para obtener óptimos rendimientos y desarrollos de la planta. Con base en esto, el presente estudio, Desarrollo del cultivo hidropónico de Amaranto (*Amarantus hypochondriacus* L.) bajo condiciones controladas, plantea abordar aspectos sobre anatomía, bromatología, desarrollo y rendimiento de un cultivo hidropónico de Amaranto crecido bajo la solución nutritiva, HidroFESI.

OBJETIVO GENERAL

- Evaluar el desarrollo del cultivo hidropónico de Amaranto (*Amaranthus hypochondriacus* L.) crecido bajo condiciones controladas, a través de análisis morfofisiológicos, bromatológicos y anatómicos

OBJETIVOS PARTICULARES

- Establecer el cultivo hidropónico de Amaranto (*Amaranthus hypochondriacus* L.) bajo la solución nutritiva Hidro-FESI.
- Medir el desarrollo morfológico del Amaranto (*Amaranthus hypochondriacus* L.) cultivado de forma hidropónica bajo la solución nutritiva Hidro-FESI.
- Determinar la concentración de clorofilas y carotenoides en el Amaranto (*Amaranthus hypochondriacus* L.) cultivado de forma hidropónica bajo la solución nutritiva Hidro-FESI.
- Realizar un estudio bromatológico del cultivo hidropónico de Amaranto (*Amaranthus hypochondriacus* L.) crecido bajo la solución nutritiva Hidro-FESI.

- Determinar el rendimiento del Amaranto (*Amaranthus hypochondriacus L.*) cultivado de forma hidropónica bajo la solución nutritiva Hidro-FESI
- Comparar las características anatómicas del tallo del cultivo hidropónico de Amaranto (*Amaranthus hypochondriacus L.*) crecido bajo la solución nutritiva Hidro-FESI, con las mismas de las plantas del grupo control.

MATERIAL Y MÉTODO

Este estudio se realizó en el Jardín Botánico (JABIZ) de las instalaciones de la Facultad de Estudios Superiores Iztacala (FESI) de la Universidad Nacional Autónoma de México, durante el periodo comprendido de Enero del 2013 a Septiembre del 2013. Los análisis de laboratorio se ejecutaron en las instalaciones del Laboratorio de biología experimental. Con la finalidad de comparar posibles variaciones anatómicas entre las plantas crecidas en hidroponía y las de suelo, se realizó un análisis anatómico preliminar del tallo en el laboratorio de Botánica de la UMF de la FES Iztacala.

El modelo experimental se constituyo de un grupo de 10 plantas cultivadas de forma hidropónica y un grupo control integrado por el mismo número de organismos, ambos cultivos fueron colocados bajo invernadero, donde se registro en promedio 25°C de temperatura y una humedad del 60%.

Las plantas empleadas se hicieron germinar de semillas de Amarantho (*Amaranthus hypochondriacus* L.) adquiridas en el centro de comercialización de semillas “Hydroenvironment”. Las semillas se expusieron en imbibición durante 24 horas y se colocaron en camas de germinación, compuestas de 50% agrolita, 50% peatmoss, para su brote (Ilustraciones 2 y 3)

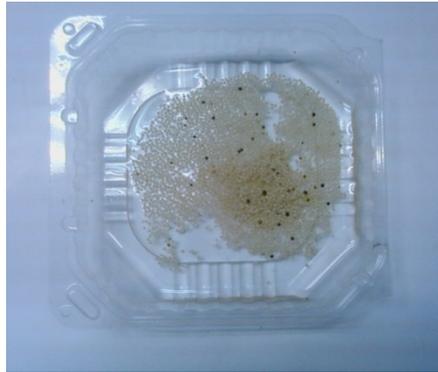


Ilustración 2: Semillas de Amaranthus hypochondriacus L. puestas en imbibición.



Ilustración 3: Sistema de camas de germinación.

Veinte días después de iniciada la germinación se trasplantaron los organismos a los contenedores finales según el modelo experimental; el grupo hidropónico o experimental se sometió a un sistema de cultivo en agregados, las plantas se pusieron en bolsas de plástico negras de 2 kg para invernadero y como sustrato se empleo tezontle previamente esterilizado,

el grupo control se colocó en el mismo tipo de bolsas y se empleó tierra colectada de los terrenos (jardineras) de la FES Iztacala como suelo para su crecimiento (Apéndice 1, Figuras 4-7).

Las plantas del grupo control fueron regadas por subirrigación con agua corriente cada tercer día, aquellas del grupo experimental se regaron mediante el mismo método diariamente con la solución nutritiva Hidro-FESI (Apéndice 2), ajustada a un pH de 5.5 a 6 y una conductividad eléctrica de 2.5 mS a 3.0 mS. A la solución estándar Hidro-FESI se le adicionó 123.45g de Urea por cada 200 litros de agua al observar síntomas de deficiencia de Nitrógeno; también se le modificó el componente NPK de uno 24-8-16 a otro 15-30-15 al cuarto mes de establecido el cultivo, para propiciar la floración.



Ilustración 4: Cultivo hidropónico de Amaranthus hypochondriacus L.



Ilustración 5: Acercamiento del cultivo hidropónico de Amaranthus hypochondriacus L.



Ilustración 6: Cultivo control (suelo) de Amaranthus hypochondriacus L.



*Ilustración 7: Acercamiento, cultivo control (suelo) de *Amaranthus hypochondriacus* L.*

Las plantas fueron cosechadas al noveno mes de establecido el cultivo (cuando las plantas estaban en fase de fructificación y el fruto estaba dehiscente), un ejemplar de Amarantho (*Amaranthus hypochondriacus* L.) fue depositado en el Herbario de la Facultad de Estudios Superiores Iztacala IZTA para su identificación taxonómica y obtención de número de ejemplar botánico.

Crecimiento, desarrollo y biomasa

Durante todo el desarrollo de las plantas se midió la altura de estas para determinar la tasa de crecimiento, y la altura máxima correspondió al último dato registrado. Cinco plantas seleccionadas al azar de cada cultivo fueron utilizadas para precisar los valores de biomasa de los diferentes rubros; se cosecharon los organismos, se seccionaron en sus componentes (raíz, tallo hoja e inflorescencia), se determinó la longitud de raíz e inflorescencia, se calculó el área foliar pesando 2cm^2 de hoja y se extrapoló el dato al peso total de hojas, se deshidrataron los componentes en una estufa durante 24 horas aproximadamente y se estableció los valores de biomasa por el peso seco de cada componente medido en una balanza digital (Symmetry modelo cole parmer EC400).

Pigmentos

Las mismas plantas utilizadas para determinar las variables de crecimiento, desarrollo y biomasa, fueron empleadas para precisar la concentración de clorofila a, clorofila b y carotenoides. Los pigmentos se cuantificaron por el método propuesto por Rodés y Collazo (2006), utilizando acetona al 80% y empleando las ecuaciones de Mackinney y Wettstein, las hojas requeridas para estas pruebas se tomaron al azar de las cinco plantas de cada grupo, y la absorbancia de los pigmentos en estos análisis fue medida con un espectrofotómetro (Turnes Spectrophotometer st-850)

Bromatología y rendimiento

Una vez deshidratadas las inflorescencias se tamizaron y separaron de éstas las semillas de Amaranto, se pesaron en una balanza digital (Symmetry modelo cole parmer EC400) para determinar el rendimiento de semilla, y se utilizaron para analizar los siguientes aspectos bromatológicos: cuantificación de proteínas por el método de Kjeldahl (González y Peñalosa, 2000), carbohidratos por el método de Nelson-Somogyi (González y Peñalosa, 2000) y lípidos por el método de Soxhlet (González y Peñalosa, 2000).

Anatomía

Para el estudio anatómico comparativo se emplearon 3 individuos de cada cultivo (hidropónico y control) seleccionados al azar. De la base del tallo de cada uno se cortaron secciones de aproximadamente 4 cm de longitud y se fijaron en solución F.A.A. (Formaldehído-acido acético glacial-alcohol etílico-agua), posteriormente las muestras se ablandaron colocándolas en solución G.A.A. (glicerina, alcohol, agua, en proporción 1:2:3). Se realizaron cortes a mano alzada en sección transversal, empleando navajas de afeitar; los cortes se tiñeron con safranina y se montaron con gelatina para su observación. Se midió el diámetro tangencial y radial de lumen de 25 vasos seleccionados al azar, el número de vasos y su agrupación se calculó en cinco cuadrantes de 1mm^2 de área para cada individuo de manera aleatoria. Las observaciones y mediciones se realizaron con el analizador de imágenes NIS-Elements BR 2.33. (Nikon Corporation, 1991-2006).

El porcentaje de acumulación en las diferentes zonas anatómicas del tallo (córtez, cilindro vascular y médula) se evaluó en vista transversal. Para tal efecto se empleó la siguiente formula:

$$\% \text{ de Z} = \frac{Dz * 100}{DTT} * 2$$

Dónde:

% de Z= porcentaje de zona

Dz = amplitud de la zona (μm)

DTT= diámetro total del tallo (μm)

Nota: Solo para el caso del cilindro vascular y el córtex se multiplica por 2, ya que al medir el diámetro del tallo, estas secciones aparecen dos veces.

Análisis estadístico

El diseño experimental fue al azar; para cada variable de ambos cultivos estudiada en este trabajo se realizó un análisis de estadística descriptiva (media, desviación estándar, mediana, mínimo y máximo valor). También se procesaron los datos mediante pruebas de t de poblaciones independientes para encontrar aquellos datos con medias significativamente diferentes.

RESULTADOS

La planta de Amaranto (*Amaranthus hypochondriacus* L.) herborizada e identificada se muestra en la ilustración 8, observando los datos del ejemplar herborizado.

Familia	Amaranthaceae
Nombre científico	<i>Amaranthus hypochondriacus</i> L.
Nombre común	Amaranto
Número de registro	IZTA 2384

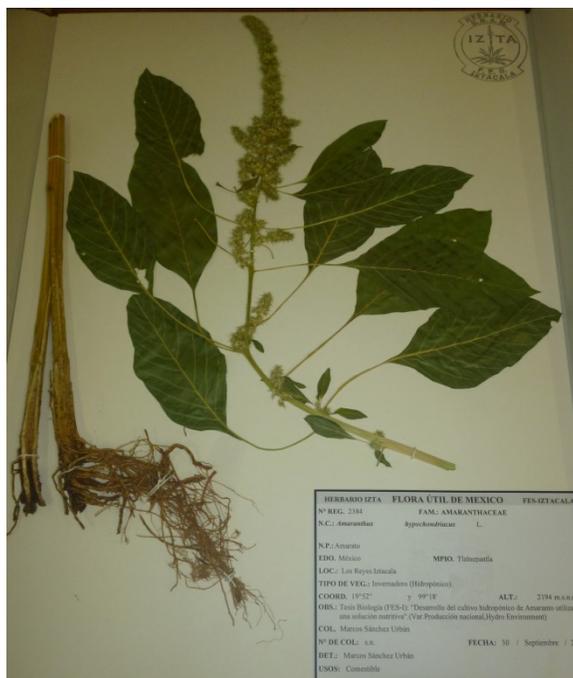


ilustración 8: Imagen del ejemplar de *Amaranthus hypochondriacus* L. depositada en el herbario

Germinación

Las plántulas comenzaron a emerger 24 horas después de poner en imbibición las semillas; 48 horas después, ya puestas las semillas sobre el sustrato de germinación, comenzaron a brotar los cotiledones; en las 144 horas posteriores a la germinación las plántulas tenían una altura promedio de 4 cm y una coloración rojiza en el envés de los cotiledones, así como verde en el haz de los cotiledones y mostraban un tallo blanquecino, no fue sino hasta las 480 horas después del comienzo de la germinación que iniciaron a emerger el primer par de hojas verdaderas y la planta contaba con una altura promedio de 7cm.

Crecimiento, desarrollo y biomasa

A finales del cuarto mes de desarrollo de las plantas hidropónicas se observaron síntomas de deficiencia de Nitrógeno, los síntomas observados fueron clorosis en hojas adultas y pérdidas de estas, por lo que se le añadió a la solución nutritiva Hidro-FESI la mitad del peso en Urea al correspondiente con el Nitrato de Calcio, cuidando de no sobrepasar la concentración en ppm de tolerancia de N que la literatura reporta para soluciones nutritivas (Apendice 3).

Se observó que las plantas del cultivo experimental desarrollaron múltiples ramificaciones en los nudos del tallo a diferentes alturas respecto a la base del mismo, en todos los casos las ramificaciones desarrollaron inflorescencias, menos densas en comparación con su homóloga inflorescencia apical (Ilustraciones 9-12).

Las plantas de ambos cultivos registraron una similitud en el tiempo de duración de sus ciclos de desarrollo, sus etapas fenológicas se asemejaron en el tiempo y se determinó como fecha idónea de cosecha de ambos cultivos el noveno mes posterior al inicio de la germinación, decisión tomada por corresponder al tiempo en que la inflorescencia se tornó dehiscente y la semilla comenzó a caer.

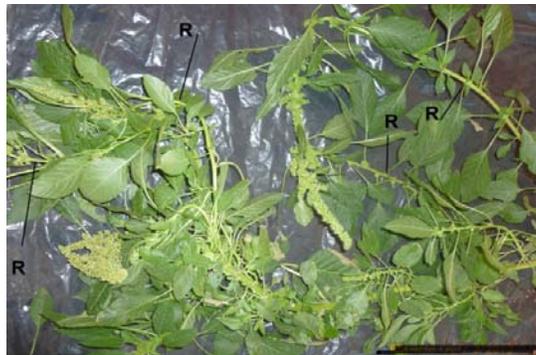


Ilustración 9: Planta hidropónica de Amaranthus hypochondriacus L. , R= Ramas laterales.



Ilustración 10: Planta control (suelo) de Amaranthus hypochondriacus L.. TU= Tallo único.



Ilustración 11: Múltiples inflorescencias en una sola planta de cultivo hidropónico de Amaranthus hypochondriacus L.. P= Panojas.



Ilustración 12: Única inflorescencia apical de plantas control (suelo) de Amaranthus hypochondriacus L.

No obstante la similitud en el desarrollo de las plantas durante sus etapas de crecimiento en los almácigos de germinación y en los primeros días de su desarrollo en el sustrato de tezontle o en suelo, las variables de crecimiento y desarrollo divergieron en las etapas posteriores. La tasa de crecimiento del cultivo hidropónico fue menor que para el cultivo en suelo, 17.0138cm

y 39.4454cm respectivamente. La altura máxima que alcanzo la planta hidropónica al momento de la cosecha fue de 183.2 cm, medida menor que la registrada para las plantas que crecieron en suelo, las cuales obtuvieron una altura promedio máxima de 354.6 cm (Ilustraciones 13-15, Grafica 1 y 2). Las plantas tuvieron un “comportamiento” diferente en lo que respecta a los valores obtenidos en la biomasa para raíz y para tallo, no fue así para el índice de biomasa en las hojas. De las raíces se registro un valor promedio de 18.198 g para las plantas que crecieron en los sistemas hidropónicos, y de 49.014 g para aquellas que crecieron en suelo, 41.01 g corresponde al valor obtenido en la biomasa de tallo del cultivo hidropónico y para el cultivo en suelo fue de 215.444 g, la biomasa de las hojas se considero que tuvo un valor estadísticamente igual en ambos cultivos, lo mismo se observo para la variable de área foliar (Tabla 1).

De manera semejante a los resultados obtenidos para tasa de crecimiento y altura máxima, se registró que el crecimiento de la raíz fue menor para el cultivo experimental (19.6 cm) que para el cultivo control (43.4 cm); además, la panoja apical del cultivo experimental alcanzó una longitud promedio de 25.6 cm, valor menor que los 53.8 cm de longitud que corresponden al dato en el mismo rubro para el cultivo control (Tabla 2. graficas 3-8).



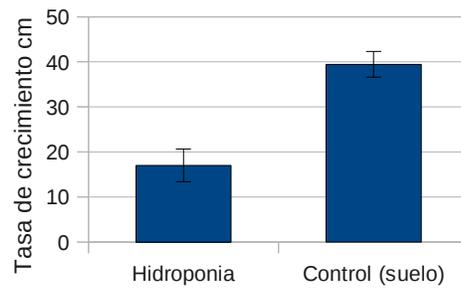
Ilustración 13: Comparación entre plantas de Amaranthus hypochondriacus L. C= control, H= Hidropónica.



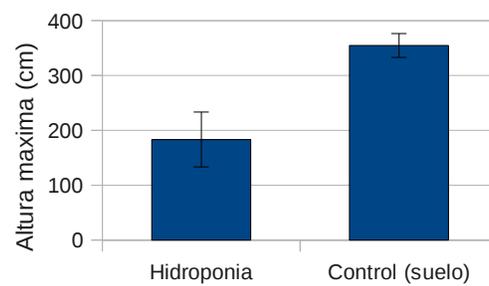
Ilustración 14: Planta control (suelo) de Amaranthus hypochondriacus L.



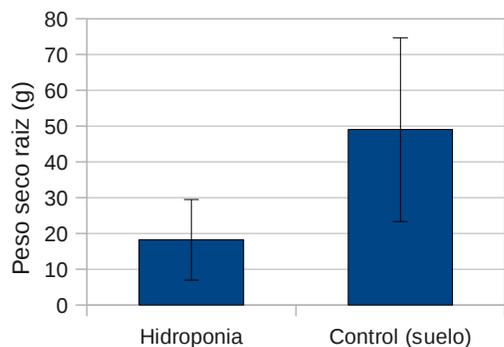
Ilustración 15: Planta hidropónica de Amaranthus hypochondriacus L.



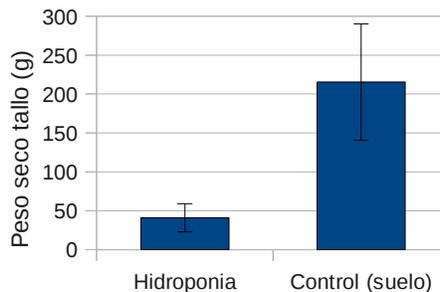
Grafica 1: Tasa de crecimiento del cultivo experimental (H) y control (S)



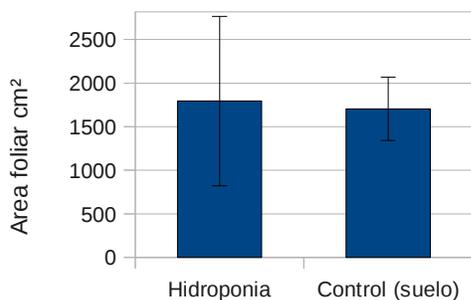
Grafica 2: Promedio altura máxima del cultivo experimental (H) y control (S)



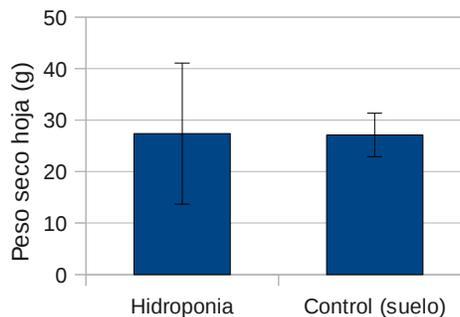
Grafica 3: Peso seco raiz



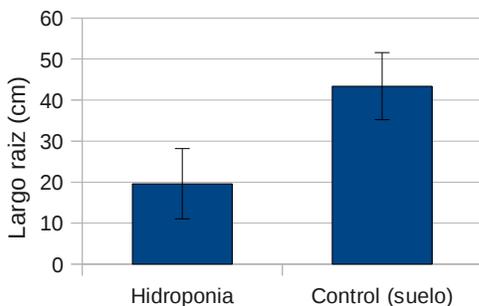
Grafica 4: Peso seco tallo



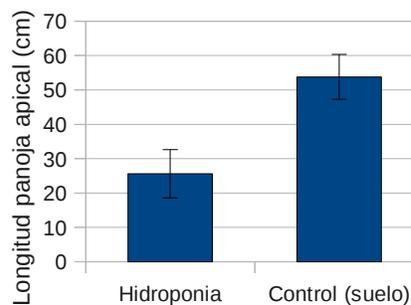
Grafica 6: Area foliar



Grafica 5: Peso seco hoja



Grafica 7: Largo raiz



Grafica 8: Longitud panoja apical

Variable	Tratamiento	N	Media / promedio	D. estandar	V. minimo	V. maximo	mediana	D. estadística		
Tasa de crecimiento	Hidroponia	5	17.01	3.6	12.09	20.86	18.06	a	To	-10.93
	Control (suelo)	5	39.45	2.84	35.49	42.88	39.03	b	T. Tabla	+ - 2.306
Variable	Tratamiento	N	Media / promedio	D. estandar	V. minimo	V. maximo	mediana	D. estadística		
Altura maxima (cm)	Hidroponia	5	183.2	50.04	126	240	205	a	To	-7.02
	Control (suelo)	5	354.6	21.76	330	380	345	b	T. Tabla	+ - 2.08
Variable	Tratamiento	N	Media / promedio	D. estandar	V. minimo	V. maximo	mediana	D. estadística		
Biomasa raiz (g)	Hidroponia	5	18.2	11.27	5.16	29.14	20.43	a	To	-2.46
	Control (suelo)	5	49.01	25.69	32.4	94.53	39.9	b	T. Tabla	+ - 2.306
Variable	Tratamiento	N	Media / promedio	D. estandar	V. minimo	V. maximo	mediana	D. estadística		
Peso seco tallo (g)	Hidroponia	5	41.01	18.05	20.82	68.72	36.31	a	To	-5.07
	Control (suelo)	5	215.44	74.83	143.24	318.38	196.65	b	T. Tabla	+ - 2.306
Variable	Tratamiento	N	Media / promedio	D. estandar	V. minimo	V. maximo	mediana	D. estadística		
Peso seco hoja (g)	Hidroponia	5	27.38	13.7	11.14	44.11	29.38	a	To	0.04
	Control (suelo)	5	27.11	4.23	22.77	31.79	24.8	a	T. Tabla	+ - 2.306
Variable	Tratamiento	N	Media / promedio	D. estandar	V. minimo	V. maximo	mediana	D. estadística		
Area foliar cm^2	Hidroponia	5	1793.95	972.77	672.71	2923.08	1557.78	a	To	0.19
	Control (suelo)	5	1704.63	364.64	1319.39	2166	1584.93	a	T. Tabla	+ - 2.306
Variable	Tratamiento	N	Media / promedio	D. estandar	V. minimo	V. maximo	mediana	D. estadística		
Largo raiz (cm)	Hidroponia	5	19.6	8.56	8	30	20	a	To	-4.5
	Control (suelo)	5	43.4	8.17	35	53	45	b	T. Tabla	+ - 2.306
Variable	Tratamiento	N	Media / promedio	D. estandar	V. minimo	V. maximo	mediana	D. estadística		
Longitud panoja apical (cm)	Hidroponia	5	25.6	7.02	18	35	25	a	To	-6.59
	Control (suelo)	5	53.8	6.5	45	60	54	b	T. Tabla	+ - 2.306

Tabla 2: Valores de las variables crecimiento, desarrollo y biomasa. H= Cultivo hidropónico, S= Cultivo control. Letras diferentes indican diferencia estadísticamente significativa

Pigmentos

De similar pero no equivalente manera a los resultados de crecimiento y desarrollo, la concentración de pigmentos fotosintéticos en los dos cultivos presentó diferencias estadísticamente significativas (Gráficas 10 y 11). La concentración de clorofila A fue más alta para las plantas hidropónicas (2.59 mgL^{-1}) que para las plantas control (0.36 mgL^{-1}). La concentración de clorofila B fue más alta en la plantas crecidas en el sistema hidropónico que para las de cultivo control (1.80 mgL^{-1} y 0.27 mgL^{-1} , respectivamente). La concentración de carotenoides fue mayor para las plantas experimentales con 0.321 mgL^{-1} y menor para las plantas control con 0.148 mgL^{-1} (Tabla 3, Ilustración 16).

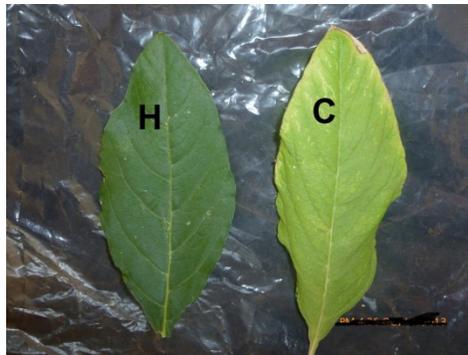
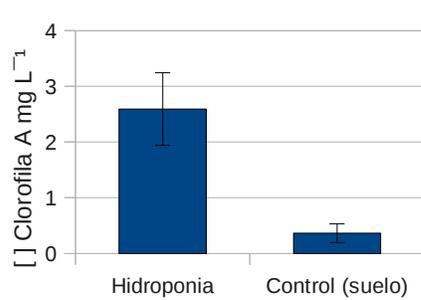


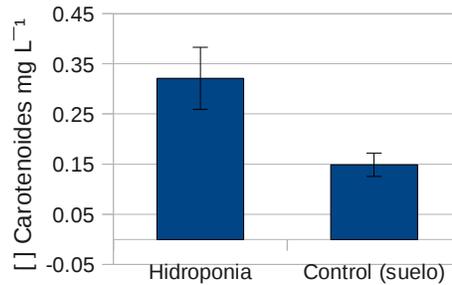
Ilustración 16: Comparación en la pigmentación foliar de plantas de Amaranthus hypochondriacus L. H= Hoja de cultivo hidropónico, C= Hoja de cultivo control. .

Variable	Tratamiento	N	Media / promedio	D. estandar	V. minimo	V. maximo	mediana	D. estadística
Carotenoides $mg L^{-1}$	Hidroponia	5	0.32	0.06	0.24	0.39	0.35 a	To 5.82
	Suelo	5	0.15	0.02	0.11	0.17	0.16 b	T. Tabla + - 2.306
Clorofila A $mg L^{-1}$	Hidroponia	5	2.59	0.65	1.52	3.27	2.65 a	To 7.4
	Suelo	5	0.36	0.17	0.09	0.51	0.38 b	T. Tabla + - 2.306
Clorofila B $mg L^{-1}$	Hidroponia	5	1.81	0.76	0.83	2.89	1.6 a	To 4.45
	Suelo	5	0.28	0.08	0.18	0.38	0.27 b	T. Tabla + - 2.306

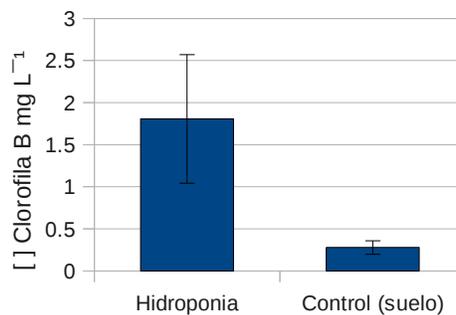
Tabla 3: Cuantificación de pigmentos fotosintéticos. H= cultivo hidropónico. S= Cultivo control. Letras diferentes indican diferente efecto



Grafica 10: Clorofila A



Grafica 9: Carotenoides



Grafica 11: Clorofila B

Bromatología y rendimiento

Las plantas de Amarantho tuvieron un desarrollo distinto en su crecimiento, las notables diferencias en altura y biomasa marcaron un claro contraste en ambos cultivos (experimental y control) durante el progreso de este estudio.

A pesar de los datos obtenidos para las mediciones de crecimiento, desarrollo y biomasa; los valores que se registraron para las variables de bromatología y rendimiento de la semilla no fueron estadísticamente significativos; Carbohidratos, lípidos, proteínas y peso promedio de las semillas cosechadas, tuvieron medias que al tratarlas sobre un análisis estadístico no mostraron tener diferencia en sus resultados (Tabla 4).

Variable	Tratamiento	N	Media / promedio	D. estandar	V. minimo	V. maximo	mediana	D. estadística																																		
Peso semillas (g)	Hidroponia	5	10.06	6.44	4.06	18	6.62	a	To	-1.42																																
	Control (suelo)	5	15.45	5.52	10.47	24.09	14.8	a	T. Tabla	+ - 2.306																																
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Variable</th> <th>Tratamiento</th> <th>N</th> <th>Media / promedio</th> <th>D. estandar</th> <th>V. minimo</th> <th>V. maximo</th> <th>mediana</th> <th>D. estadística</th> <th></th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">Gramos de proteínas en 100g muestra</td> <td>Hidroponia</td> <td>5</td> <td>19.75</td> <td>1.3</td> <td>17.96</td> <td>20.95</td> <td>19.95</td> <td>a</td> <td>To</td> <td>-1.68</td> </tr> <tr> <td>Control (suelo)</td> <td>5</td> <td>21.07</td> <td>1.17</td> <td>19.35</td> <td>22.34</td> <td>20.95</td> <td>a</td> <td>T. Tabla</td> <td>+ - 2.306</td> </tr> </tbody> </table>											Variable	Tratamiento	N	Media / promedio	D. estandar	V. minimo	V. maximo	mediana	D. estadística			Gramos de proteínas en 100g muestra	Hidroponia	5	19.75	1.3	17.96	20.95	19.95	a	To	-1.68	Control (suelo)	5	21.07	1.17	19.35	22.34	20.95	a	T. Tabla	+ - 2.306
Variable	Tratamiento	N	Media / promedio	D. estandar	V. minimo	V. maximo	mediana	D. estadística																																		
Gramos de proteínas en 100g muestra	Hidroponia	5	19.75	1.3	17.96	20.95	19.95	a	To	-1.68																																
	Control (suelo)	5	21.07	1.17	19.35	22.34	20.95	a	T. Tabla	+ - 2.306																																
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Variable</th> <th>Tratamiento</th> <th>N</th> <th>Media / promedio</th> <th>D. estandar</th> <th>V. minimo</th> <th>V. maximo</th> <th>mediana</th> <th>D. estadística</th> <th></th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">Gramos de lípidos en 100g muestra</td> <td>Hidroponia</td> <td>5</td> <td>5.8</td> <td>1.3</td> <td>4</td> <td>7</td> <td>6</td> <td>a</td> <td>To</td> <td>-0.3</td> </tr> <tr> <td>Control (suelo)</td> <td>5</td> <td>6</td> <td>0.71</td> <td>5</td> <td>7</td> <td>6</td> <td>a</td> <td>T. Tabla</td> <td>+ - 2.306</td> </tr> </tbody> </table>											Variable	Tratamiento	N	Media / promedio	D. estandar	V. minimo	V. maximo	mediana	D. estadística			Gramos de lípidos en 100g muestra	Hidroponia	5	5.8	1.3	4	7	6	a	To	-0.3	Control (suelo)	5	6	0.71	5	7	6	a	T. Tabla	+ - 2.306
Variable	Tratamiento	N	Media / promedio	D. estandar	V. minimo	V. maximo	mediana	D. estadística																																		
Gramos de lípidos en 100g muestra	Hidroponia	5	5.8	1.3	4	7	6	a	To	-0.3																																
	Control (suelo)	5	6	0.71	5	7	6	a	T. Tabla	+ - 2.306																																
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Variable</th> <th>Tratamiento</th> <th>N</th> <th>Media / promedio</th> <th>D. estandar</th> <th>V. minimo</th> <th>V. maximo</th> <th>mediana</th> <th>D. estadística</th> <th></th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">Gramos carbohidrato en 100g muestra(H)</td> <td>Hidroponia</td> <td>5</td> <td>45.04</td> <td>13.75</td> <td>29.2</td> <td>63.6</td> <td>44.6</td> <td>a</td> <td>To</td> <td>0.31</td> </tr> <tr> <td>Control (suelo)</td> <td>5</td> <td>42.88</td> <td>7.2</td> <td>35</td> <td>54</td> <td>42.2</td> <td>a</td> <td>T. Tabla</td> <td>2.31</td> </tr> </tbody> </table>											Variable	Tratamiento	N	Media / promedio	D. estandar	V. minimo	V. maximo	mediana	D. estadística			Gramos carbohidrato en 100g muestra(H)	Hidroponia	5	45.04	13.75	29.2	63.6	44.6	a	To	0.31	Control (suelo)	5	42.88	7.2	35	54	42.2	a	T. Tabla	2.31
Variable	Tratamiento	N	Media / promedio	D. estandar	V. minimo	V. maximo	mediana	D. estadística																																		
Gramos carbohidrato en 100g muestra(H)	Hidroponia	5	45.04	13.75	29.2	63.6	44.6	a	To	0.31																																
	Control (suelo)	5	42.88	7.2	35	54	42.2	a	T. Tabla	2.31																																

Tabla 4: Valores bromatológicos. H= Cultivo hidropónico. S= Cultivo control. Letras iguales indican mismo efecto

Anatomía

Los tallos de los cultivos experimental y control, en corte transversal, tienen una forma circular con un diámetro total de 1.23 cm para el cultivo crecido en los sistemas hidropónicos y de 2.36 cm en promedio para las plantas control. Estas medias muestran una diferencia estadísticamente significativa, las cuales se muestran en la tabla 5 (Grafica 15).

En todos los casos se reconocen las siguientes zonas: Peridermis, córtex (442.55 micrómetros de amplitud o 3.75% del total del tallo de las plantas control; y 366.26 micrómetros de amplitud o 5.9% del total del tallo de las plantas experimentales), cilindro vascular (3600 micrómetros de amplitud o 30.5 % del total del tallo de las plantas control; y 2200 micrómetros de amplitud o 35.7 % del total del tallo de las plantas experimentales) y medula (15600 micrómetros de amplitud o 66.1% del total del tallo de las plantas control y 7000 micrómetros de amplitud o 56.9% del total del tallo de las plantas experimentales) (Ilustraciones 17A y 18A; Graficas 12-16).

En algunas áreas del tallo de los individuos crecidos en suelo e hidroponía, se conserva la epidermis, mientras que en otras áreas del tallo la epidermis es sustituida por la peridermis, pudiéndose incluso encontrar zonas en la que se conserva epidermis y por debajo de ella se reconoce una peridermis. En esta última se reconocen 3-5 capas de células de forma rectangular; asimismo, es común la formación de lenticelas en algunas células del felema (Ilustraciones 17A,C y 18B).

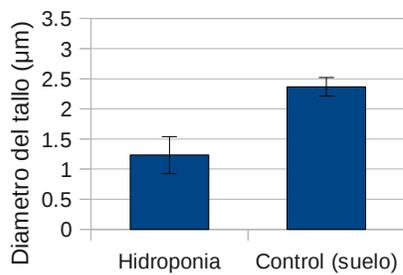
El córtex está compuesto por 4 a 6 capas formadas de células rectangulares de lumen amplio y paredes delgadas alargadas tangencialmente, algunas células en el córtex muestran cristales tipo arena que llenan su lumen, son más abundantes en las plantas control (Ilustraciones 17E y 18D)

Por debajo del córtex se encuentra una banda continua de floema cuyo promedio de amplitud no muestra diferencias significativas en los dos cultivos, control y experimental. Las células del floema son de paredes delgadas, más pequeñas y de forma redondeada (Ilustraciones 17A y 18D)

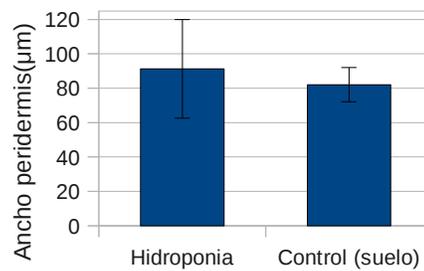
Hacia la médula se distingue una variante cambial en forma de arcos concentricos, se observan distribuidas concéntricamente y de manera alternada fracciones de floema y xilema (17A y 18A). En esta zona los vasos se encuentran agrupados en formando cadenas radiales de hasta seis vasos o más; los vasos tienen un diámetro tangencial promedio en sus lúmenes de $29 \mu\text{m}$ y diámetro radial de $34.3 \mu\text{m}$ para las plantas experimentales y diámetro tangencial de lumen en promedio de 30.4 micrómetros y diámetro radial de $40.7 \mu\text{m}$ para las plantas control.

Se observo diferencias significativas en la variable de diámetro radial de los vasos, no así en el diámetro tangencial, observándose los elementos de vaso alargados radialmente. Rodeando la zona periférica de la médula se reconocen haces vasculares.

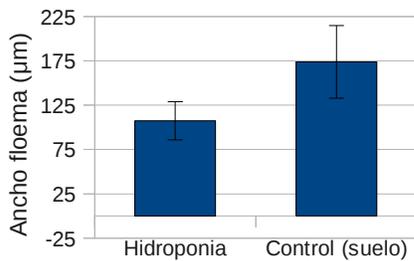
La médula se encuentra formada de parénquima es amplia y muestra diferencias significativas entre ambos cultivos, 56.9% del total del tallo en las planta hidropónicas y 66.10% del total del tallo en las plantas control (Tabla 5).



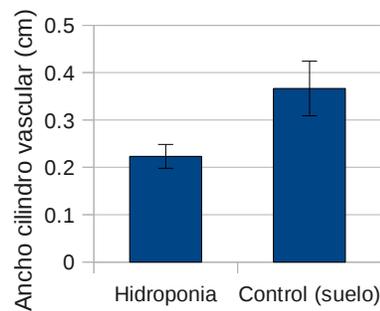
Grafica 13: Diametro tallo



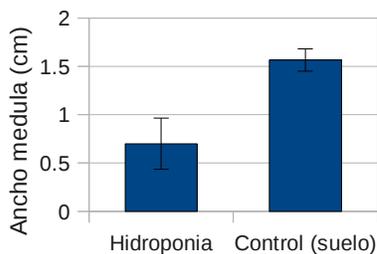
Grafica 12: Ancho peridermis



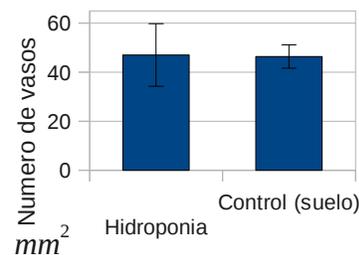
Grafica 15: Ancho floema



Grafica 14: Ancho cilindro vascular



Grafica 16: Ancho medula



Grafica 17: Numero de vasos

Variable	Tratamiento	N	Media / promedio	D. estandar	V. minimo	V. maximo	mediana	D. estadística		
Diámetro tallo (µm)	Hidroponia	3	1.23	0.31	0.9	1.5	1.3	a	To	-5.75
	Control (suelo)	3	2.37	0.15	2.2	2.5	2.4	b	T. Tabla	+ - 2.776
TABLAS										
Ancho peridermis (µm)	Hidroponia	3	91.21	28.68	58.17	109.68	105.77	a	To	0.52
	Control (suelo)	3	82.06	9.91	74.79	93.35	78.03	a	T. Tabla	+ - 2.776
TABLAS										
Ancho corteza (µm)	Hidroponia	3	366.26	76.52	282.57	432.64	383.57	a	To	-0.75
	Control (suelo)	3	442.56	159.77	342.87	626.83	357.97	a	T. Tabla	+ - 2.776
TABLAS										
Ancho floema (µm)	Hidroponia	3	107.38	21.63	84.25	127.1	110.8	a	To	-2.48
	Control (suelo)	3	173.81	41.02	129.4	210.29	181.72	a	T. Tabla	+ - 2.776
TABLAS										
Ancho cilindro vascular (cm)	Hidroponia	3	0.22	0.03	0.2	0.25	0.22	a	To	-3.94
	Control (suelo)	3	0.37	0.06	0.3	0.4	0.4	b	T. Tabla	+ - 2.776
TABLAS										
Diámetro radial lumen (µm)	Hidroponia	3	34.28	2.23	32.93	36.86	33.07	a	To	-4.57
	Control (suelo)	3	40.71	0.98	39.63	41.53	40.96	b	T. Tabla	+ - 2.776
TABLAS										
Diámetro tangencial lumen (µm)	Hidroponia	3	28.95	1.19	27.62	29.93	29.3	a	To	-0.71
	Control (suelo)	3	30.37	3.29	27.57	33.99	29.56	a	T. Tabla	+ - 2.776
TABLAS										
Numero de vasos por mm^2	Hidroponia	3	47	12.77	36	61	44	a	To	0.08
	Control (suelo)	3	46.33	4.73	41	50	48	a	T. Tabla	+ - 2.776
TABLAS										
Medula cm	Hidroponia	3	0.7	0.26	0.4	0.9	0.8	a	To	-5.2
	Control (suelo)	3	1.57	0.12	1.5	1.7	1.5	b	T. Tabla	+ - 2.776

Tabla 5: Mediciones de variables de la anatomía del tallo

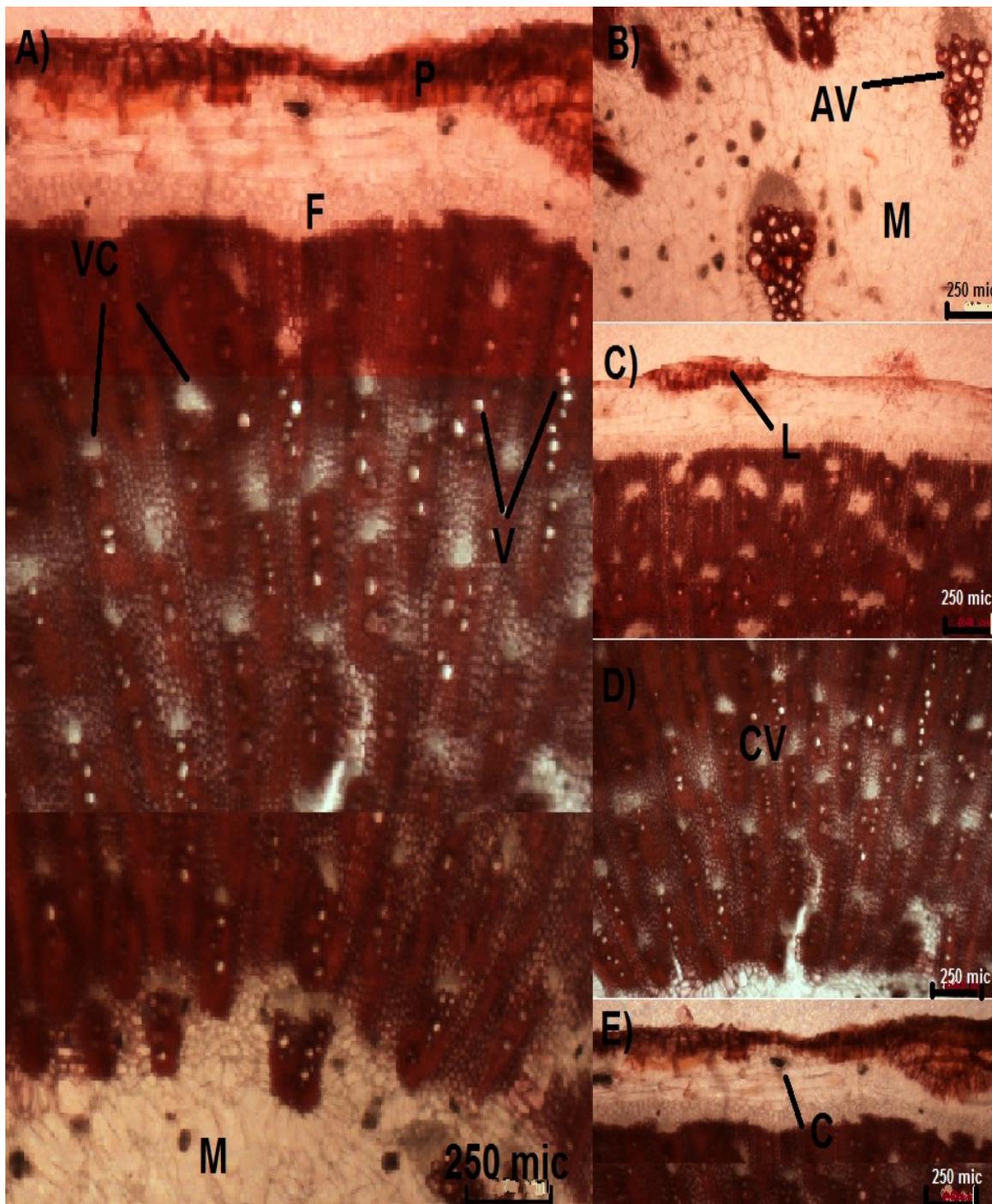


Ilustración 17: Vista transversal del tallo de *Amaranthus hypochondriacus* L. cultivado en hidroponía. M= Medula, C= Contenido celular, CV= Cilindro vascular, L= Lenticela, V= Vasos, F= Floema, VC= Variante cambial, AV= Haz vascular, P= Peridermis.

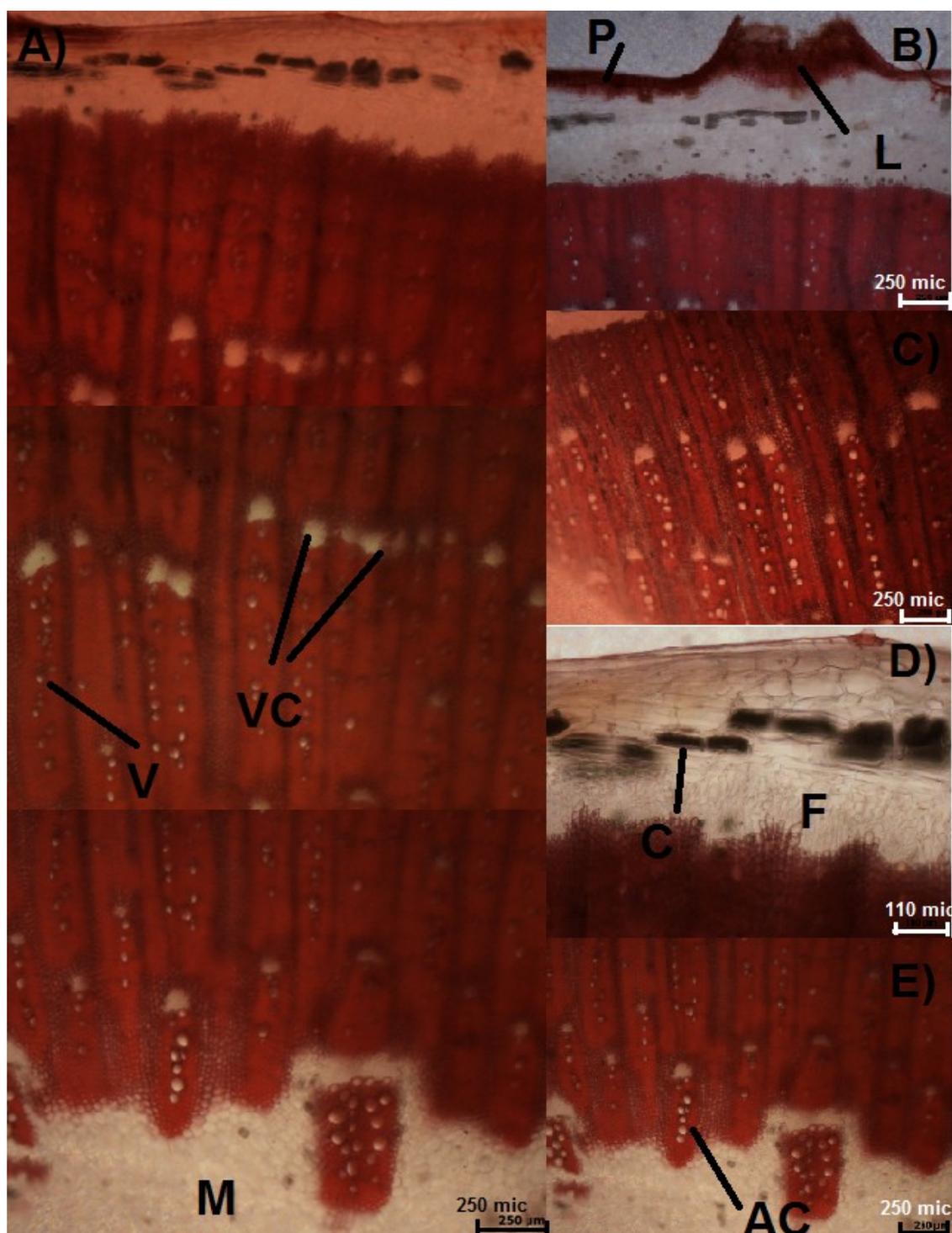


Ilustración 18: Vista transversal del tallo de *Amaranthus hypochondriacus* L., cultivo control (suelo). M= Medula, C= Contenido celular, CV= Cilindro vascular, L= Lenticela, V= Vasos, F= Floema, VC= Variante cambial, AV= Haz vascular, P= Peridermis.

DISCUSIÓN

Los datos que sobre el cultivo del Amaranto se han publicado, en particular la “Rescate y revaloración del cultivo de Amaranto” de Escalante (2010), demuestran que en estas formas de cultivo el Amaranto comienza su emergencia a los 7 días (168 horas). La información obtenida en este estudio demuestra que el tiempo de emergencia o germinación se acortó (emergencia a las 24 horas) debido a la óptima disponibilidad de agua y al tratamiento de imbibición al que se sometieron las semillas, este tratamiento acelero las reacciones metabólicas propias de la germinación.

Crecimiento, desarrollo y biomasa

Las plantas del cultivo hidropónico mostraron síntomas de deficiencia de nitrógeno por lo que se considero que la solución Hidro-FESI, tal como estaba estandarizada, no era óptima para el desarrollo de una planta de porte alto como lo es el Amaranto, sin embargo el enriquecimiento con Urea de la solución permitió que el cultivo siguiera su desarrollo y desaparecieron los síntomas de deficiencia. Los síntomas de deficiencia de Nitrógeno observados en los organismos experimentales coinciden con los reportes de Azcón-Bieto (2010) quien enuncia que los síntomas de deficiencia de Nitrógeno son clorosis en hojas adultas y que caen de planta antes de ser necróticas. La mejora de las plantas hidroponicas por el enriquecimiento con Urea de la solución nutritiva puede explicarse ya que: La Urea es una de las principales fuentes de

fertilizantes nitrogenados para la producción de plantas (Vavrina y Obreza, 1993). En hidroponía, igual que en suelo la Urea puede ser hidrolizada a amonio por la enzima ureasa (Bundy y Bremner, 1974) con la subsecuente conversión de amonio a nitrato mediante el proceso de nitrificación (Aminuddin *et al.*, 2005); el uso potencial de la Urea como sustituto de los fertilizantes nítricos en hidroponía, puede reducir la acumulación excesiva de Nitratos en las plantas (Luo *et al.*, 1993).

El desarrollo de ramificaciones de las plantas del cultivo experimental fue contrario al desarrollo del cultivo control (donde no se observan ramificaciones), este desarrollo apunta a una adaptación del organismo a las condiciones infortunadas del ambiente, en particular una adaptación a la poca disponibilidad de compuestos nitrogenados en algunas etapas del desarrollo de la planta producto de la no especificidad de la solución nutritiva para el cultivo de Amaranto, así como lo advierte Ramirez *et al.*, (2011): La planta de amaranto tiene la capacidad para modificar su morfología y fenología a fin de contrarrestar los factores adversos y maximizar la producción y en el último de los casos asegurar la sobrevivencia (producción).

El tiempo que se determinó idóneo para la cosecha en ambos cultivos corresponde a la información reportada por el National Research Council (1984), donde se indica que el ciclo biológico del Amaranto varía de 4 a 7 meses, observándose incluso que se puede demorar hasta 10 meses.

Respecto a las diferencias en algunas variables de biomasa, altura de la planta y diámetro del tallo, donde las plantas experimentales registraron menores valores respecto al control, se determinó que estas diferencias fueron consecuencia de un relativo déficit de compuestos nitrogenados en los primeros meses de desarrollo de las plantas, producto de la no especificidad de la solución nutritiva (no obstante su posterior enriquecimiento con Urea); al respecto Azcón-Bieto, (2010) menciona que la carencia de Nitrogeno y el déficit hídrico son los factores más importantes que causan la reducción en el crecimiento de la planta. No obstante, el óptimo rendimiento de semilla y biomasa foliar por parte de las plantas experimentales constata la adaptación de estos organismos a las condiciones iniciales de su cultivo (solución estándar HidroFESI y al posterior enriquecimiento con Urea de la solución nutritiva, Azcón-Bieto, (2010) menciona que las plantas expuestas a un enriquecimiento con nitrógeno manifiestan en exceso follaje.

Los valores estadísticamente inferiores de altura de la planta y menor biomasa en raíz y tallo para las plantas hidropónicas respecto al control, contrastan del dato obtenido sobre igualdad de biomasa de hojas en ambos cultivos, este fenómeno indica que los altos niveles de biomasa foliar en proporción a la altura de la planta en los cultivos hidropónicos se debió al enriquecimiento con Urea de la solución estándar Hidro-FESI ; Díaz *et al.* (2003) determinaron que como consecuencia de dosis altas de fertilización nitrogenada en cultivos de *Amaranthus hypochondriacus L.*, se incrementa la producción de biomasa (principalmente foliar) y rendimiento de grano.

En su investigación Monsalvo y Oliver (2005) observaron que en cultivos de *Amaranthus hypochondriacus* L. fertilizados con gallinaza (principal fuente de Nitrógeno en abonos fermentados) se registraban valores más altos en la variable altura de la panoja, pero que dentro de sus grupos experimentales, aquellos conjuntos de organismos que registraban menor altura, obtenían mayores valores en longitud de panoja. En la presente investigación las plantas que crecieron en el sistema hidropónico obtuvieron valores de altura de la planta y longitud de la panoja menores respecto al control, no obstante la menor medida registrada en la media de longitud de la panoja para el cultivo hidropónico, se considera que las múltiples ramificaciones de las plantas del cultivo experimental son una variable que en conjunto llegan a igualar el valor de densidad y altura de las panojas del cultivo control, esto deducido de la igualdad en el rendimiento de la semilla, ya que esta variable estadísticamente no muestra diferencias en ambos cultivos.

Alejandre y Gómez (1986) han mostrado que el cultivo de Amarantho tiene excelente respuesta a la aplicación de nitrógeno, influyendo principalmente en la producción de semilla y altura de la planta. En el presente trabajo, no obstante el enriquecimiento con Nitrógeno en la solución nutritiva, se registraron valores menores para la variable altura de la planta del cultivo experimental en relación al control, sin embargo se observaron múltiples ramificaciones en el cultivo hidropónico sin registrar mayores valores de biomasa para el tallo. El igual rendimiento

de semilla, estadísticamente hablando, y el similar valor de biomasa para hojas en ambos cultivos, se relaciona con el óptimo crecimiento del cultivo hidropónico, influido entre otros aspectos por el enriquecimiento con Nitrógeno en la solución Nutritiva, aun sin registrar altura mayor respecto al control.

Pigmentos

Gallegos *et al.*, (2001) y Bailón *et al.*, (2007) reportaron que en cultivos hidropónicos con concentraciones altas de Magnesio y Hierro en la solución nutritiva se observa un aumento en la concentración de pigmentos fotosintéticos en las plantas sometidas a estos tratamientos. Larcher (1995) reporta que el Nitrógeno es un elemento que participa en la formación de pigmentos fotosintéticos integrándose en la estructura molecular de la clorofila, que el Hierro participa en la formación de enzimas que intervienen en la síntesis de moléculas de clorofila a, b y carotenoides. El tratamiento con la solución nutritiva HidroFESI enriquecida con Urea a las plantas de Amarantho del grupo experimental propicio los niveles altos de clorofila a, b y carotenoides con respecto a las plantas del grupo control.

Bromatología y rendimiento

El óptimo rendimiento del grano del cultivo hidropónico contra puesto a la baja altura y escasa biomasa de las plantas experimentales respecto al cultivo control, es un factor asociado al

enriquecimiento con Fosforo de la solución nutritiva en la promoción de la floración, practica correspondiente a la sustitución de la mezcla de NPK (Nitrógeno-Fosforo-Potasio) en correspondencia a la etapa fenológica de la planta, datos que concuerdan con lo encontrado por Ojo *et al.* (2007), quienes notaron que el incremento en las dosis de P de 0 a 90 kg ha en amaranto, produce un aumento en el rendimiento de grano.

Los resultados obtenidos en la cuantificación de lípidos y proteínas, coinciden con la información reportada por Chagaray (2005), donde se reporta que la composición química de la semilla de amaranto (por 100 g en base seca) es de de 12 g – 19 g de proteína y de 6.1 g - 8.1 g de lípidos, estos rangos de valores coinciden con las medias reconocidas para la cuantificación bromatológica de ambos cultivos; este resultado sugiere que la cantidad de biomeloculas cuantificadas de la semilla desarrollada en el sistema hidropónico fue el optimo.

En el presente trabajo se observo que las diferencia de las medias respecto a la variable altura máxima de la plantas para ambos cultivos (control e hidropónico) no es un indicativo del rendimiento del organismo como lo mencionan Morales (2000) y Beltrán (2005), estos investigadores enuncian que la altura de la planta se considera una variable asociada al rendimiento y que a mayor altura se han registrado rendimientos altos. El alto rendimiento o rendimiento estadísticamente igual del cultivo hidropónico respecto al control (cultivo que registro alturas de la planta con valores más elevados que el hidropónico) se considera una variable asociada a la disponibilidad de nutrientes tales como fosforo y potasio, nutrientes que

respectivamente están relacionados con los procesos de floración y fructificación en el desarrollo fenológica de las plantas.

Anatomía

Las observaciones anatómicas de los cultivos control y experimental coinciden con lo indicado por Heklau *et al.* (2012) para especies de la familia Amaranthaceae, los autores indican que: anomalías secundarias en el cambium se desarrollan en diferentes Amaranthaceae, distinguieron que existen células con abundantes contenidos de cristales de oxalato de calcio.

Duarte & Debur (2004) describió la variante cambial en forma de arcos concéntricos de una Amaranthaceae, distribución de cambium anómalo similar a lo observado en este estudio.

Respecto al cultivo control, las plantas del cultivo experimental registraron menores valores para el diámetro del tallo y en correspondencia el área de médula y cilindro vascular también fue menor, sin embargo en el análisis independiente de ambos cultivos se observó que en las plantas del cultivo hidropónico el cilindro vascular ocupó más área del total del tallo, este hecho se relaciona con el poco crecimiento de los organismos experimentales, producto del relativo déficit de compuestos nitrogenados a causa de la no especificidad de la solución nutritiva para esta planta. Las deficiencias de nitrógeno son un factor importante en la reducción del crecimiento de la planta (Azcón-Bieto, 2010).

Las medidas de diámetro radial de lumen de los vasos en las plantas hidropónicas fue menor

respecto a lo registrado en el cultivo control. Heklau *et al.* (2012) reportaron en su estudio sobre plantas de la familia Amaranthaceae que en organismos anuales, desérticos, semidesérticos y halófitos, los vasos son más estrechos producto de una adaptación al ambiente; Azcón-Bieto (2010) menciona que los suelos de uso agrícola en general deben presentar valores de conductividad eléctrica inferiores a 2.0 mS; en este estudio los valores de conductividad eléctrica a los cuales se ajustó la solución nutritiva corresponden a rangos de 2.5 mS a 3.0 mS. Se considera que el resultado de que los vasos de las plantas del cultivo experimental fueron más estrechos respecto a los del cultivo control es causado por los valores a los cuales se ajustó la conductividad eléctrica de las sales disueltas en el agua de la solución nutritiva; esta misma variable influyó en la amplitud del cilindro vascular este resultado coincide con lo encontrado por Huidobro (2013) en su estudio anatómico sobre una Amaranthaceae desarrollada en sistemas hidropónicos, donde observó mayores valores de diámetro en el lumen de los vasos xilemáticos.

CONCLUSIONES

- La solución nutritiva estándar Hidro-FESI no fue óptima para el adecuado desarrollo de la planta de *Amaranthus hypochondriacus* L.
- Las plantas de *Amaranthus hypochondriacus* L. desarrolladas en el cultivo hidropónico bajo la solución nutritiva Hidro-FESI enriquecida con Nitrógeno tuvieron un rendimiento óptimo en la producción de semilla y biomasa foliar, ocupando menor espacio en su crecimiento por tener alturas máximas menores en comparación con el cultivo control.
- La morfología de la planta hidropónica de *Amaranthus hypochondriacus* fue diferente respecto al control, las plantas fueron de altura inferior, tallo de menor diámetro, múltiples ramificaciones y múltiples inflorescencias.
- Las semillas de *Amaranthus hypochondriacus* desarrolladas en el sistema hidropónico tuvieron una concentración de proteínas idónea.
- La mayor salinidad encontrada en el sustrato de las plantas crecidas en el cultivo

hidropónico influyó significativamente en la amplitud del cilindro vascular. Otros caracteres como el diámetro tangencial de los vasos, número de vasos por mm^2 y agrupación, no se modificaron significativamente en ambos cultivos.

LITERATURA CITADA

Alejandre, I. G.; F. Gómez, L. 1986. Cultivo del amaranto en México. Universidad Autónoma de Chapingo. México. 245 p.

Aminuddin, H.; Khalip, R.; Norayah, K. y Alias. H. 1993. Urea as the nitrogen source in NFT hydroponic system. *Pertanika J. Trop. Agric. Sci.* 16:87-94

Avanza M. V, A. V Fusco, M.C. Añon.2006. Propiedades funcionales de proteínas de amaranto capacidad de gelificación. Tesis de doctorado. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura. Universidad Nacional del Noroeste

Azcón-Bieto, J.; Talón, M. 2010. Fundamentos de fisiología vegetal. McGraw-Hill Interamericana, Ediciones Universidad de Barcelona. Barcelona España. 515pp.

Bailón, H.; Castillo, I.; Pablo, M.; Topiño, Y.; Velásquez, M.; La Rosa, R. 2007. Respuesta fisiológica de *Raphanus sativus* L. frente a tres concentraciones de magnesio. *Biologist.* 5(1): 11-18

Barbado J. L. 2005. Hidroponia, su empresa de cultivos en agua. Editorial Albatros SACI. 190 pp

Becerra R. 2000. El amaranto: Nuevas tecnologías para un antiguo cultivo. CONABIO. Biodiversitas. 30: 1-6

Beltrán S. J. A. 2005. Producción de amaranto (*Amaranthus hypochondriacus* L.), fertilizado con gallinaza en Huazulco, Morelos. Tesis Profesional. Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Cuernavaca, Mor. 48 p

Bundy, L. G. y Bremer, J. M. 1974. Effects of nitrification inhibitors on transformation of urea N in soils. *Soil Biochem.* 6: 369-376

Chagaray, A. 2005. Estudio de factibilidad del cultivo del Amaranto. Dirección Provincial de Programación del Desarrollo Ministerio de Producción y Desarrollo. Gobierno de la Provincia de Catamarca. 28 pp.

Díaz, O. C. A.; Escalante, E. A.; Trinidad, S. A.; Sánchez, G. P.; Mapes, S. C. y Martínez, M. D. 2003. Rendimiento, eficiencia agronómica del nitrógeno y eficiencia en el uso del agua en amaranto en función del manejo del cultivo. *Terra Latinoamericana.* 22:109-116.

Duarte, M. R.; Debur, M. C. Characters of the leaf and stem morpho-anatomy of *Alternanthera brasiliana* (L.) O. Kuntze, Amaranthaceae. *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences.* 40

(1):85-92

Escalante, E. M. C. 2010. Rescate y Revaloracion del Cultivo de Amaranto. Programa Elaboracion de Casos de Exito de Innovacion en el Sector Alimentario. 107p

Espitia R., E., Mapes Sánchez, C., Escobedo L., D., De la O Olán, M., Rivas-Valencia, P., Martínez, T. G., Cortés, L. y Hernández, J. M. 2010. Conservación y uso de los recursos genéticos de amaranto en México. México: inifap.

Espitia R. E. 1992. Razas mexicanas de amaranto. XIV Congreso Nacional de Fitogenética. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas México. p. 669.

FAO. 2012. <http://www.fao.org/> . (Consultado en Agosto 2012).

Gallegos, P V; Navarro, C. R. M.; Alcántara, V. E. 2001. Deficiencias nutritivas en plantas de una savia de tres especies del genero Pinus sp. En cultivo hidropónico. Investigación Agraria y sistemas de recursos forestales. 115: 317-319

García, P.J; Valdés L.C; Olivares, S.E; Alvarado, G.O; Alejandre, I.G; Salazar, S.E; Medrano, R.H. 2009. Rendimiento de grano y calidad del forraje de amaranto (*Amaranthus* spp.) cultivado a diferentes densidades en el noreste de México. Revista internacional de Botánica

experimental. 78: 53-60

Gilzans, J. C. 2007. Hidroponia. Unidad de Comunicación y Transferencia de Tecnología. Montevideo, Uruguay. 10-11 pp .

González M. S, I. C. Peñalosa. 2000. Biomoléculas, Métodos de análisis. Universidad Nacional Autónoma de México, Campus Iztacala. 256 p (tomado de Montes, 1966. Nelson, 1944. A.O.A.C, 1965)

Grubben, G. J. H. and D.H. Van Sloten. 1981. Genetic resources of amaranths. A global plan of action. AGP: IBPGR 80/2. International Board for Plant Genetic Resources. Rome, Italy. 57 p.

Heklau, H.; Gasson, P; Schweingruber, F; Baas, P. 2012. Wood anatomy of chenopodiaceae (Amaranthaceae s. l.). IAWA Journal. 33 (2): 205–232

Huidobro, M. E. S. 2013. Establecimiento del cultivo hidropónico y evaluación de la actividad biológica de epazote (*Teloxys ambrosioides* Weber). Tesis de Licenciatura. UNAM-FESI. 76 pp.

Larcher, W. 1995. Physiological Plant Ecology. 3rd Edition. Springer. Berlin. 506 pp.

Luo, J.; Lian, Z. y Yan, X. 1993. Urea transformation and the adaptability of three Leary

vegetables to urea as a source of nitrogen in hydroponic culture. *Journal Plant Nutr.* 16: 797-812

Monsalvo, J. C. B.; Oliver, G. R. 2005. Producción de Amaranto (*Amaranthus hypochondriacus* l.) a tres fechas de siembra en Huazulco Temoac, Morelos. Centro de Investigaciones Biológicas. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. 10 pp.

Morales, O. E. 2000. Evaluación de la fertilización orgánica e inorgánica en el cultivo del amaranto a dos fechas de siembra en Cuernavaca, Morelos. Tesis Profesional. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Cuernavaca, Mor. 49 p.

National Research Council (NRC). 1984. *Amaranth modern prospects for an ancient crop.* Second printing. National Academy Press Washington, D. C. USA. 77pp

Ojo, O. D.; Kintomo, A. A.; Akinrinde, E. A. and Akoroda, M. O. 2007. Comparative effect of phosphorus sources for grain amaranth production. *Communications in Soil Science and Plant Analysis.* 38(1-2):35-55.

Ortiz, C. J; Sánchez del Castillo, F; Mendoza, C. Ma. del C; Torres G. A. 2009. Características deseables de plantas de pepino crecidas en invernadero e hidroponía en altas densidades de población. *Revista Fitotecnia Mexicana.* 32 (4): 289-294

Osorio S. G. 2008. Agricultura sustentable. Una alternativa de alto rendimiento. Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal. 11 (1):77-81

Penningsfelf, F.; Kurzman, P. 1983. Cultivos hidropónicos y en turba. Ediciones Mundi Prensa. Madrid España. 310 pp.

Pinto, J. M.; Botrel, T. A.; Machado, E. C.; Feitosa, F. J. C. 2000. The effect of CO₂ applied through irrigation. Acta Hortícola. 537: 267-272.

Ramírez, V.M.L; Espitia R.E; Carballo C.A; Zepeda B.R; Vaquera H.H; Córdova T.L. 2011. Fertilización y densidad de plantas en variedades de amaranto (*Amaranthus hypochondriacus* L.). Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas.: 2 (6): 855-866

Resh, H. M. 2001. Cultivos hidropónicos nuevas técnicas de producción. 5 edición. Ediciones Mundi-Prensa. México.

Rodes, G. R. y Collazo, O. M. 2006. Manual de practicas de fotosíntesis. Editorial Las Prensas de Las Ciencias. Universidad Nacional Autonoma de México, DF. Pp. 160

Rodríguez, R. S. 2002. Hidroponía: agricultura y bienestar. FAO. Chihuahua

San Miguel C. R, V. H. Squera, D. R. Calleja, A. T. Santos, A. L. Saavedra. 1999. Efecto del potasio sobre la conductancia estomática y contenido de clorofila en amaranto (*Amaranthus hypochondriacus* L.). *Revista Chapingo, Serie Horticultura*. 5 (1):19-22

Serra P; M. C. 1990. El pasado ¿una forma de acercarnos al futuro? 25 mil años de asentamientos en la cuenca de México. Ed. El Colegio Nacional de México. México D.F. p. 3-27

Suárez, R. G. 1988. Experiencias e inquietudes sobre amaranto. *Investigaciones recientes sobre amaranto*. Instituto de Geografía, UNAM. México, D. F. p. 11-16.

Taboada S. M, R. G. Olivier. 2008. Empleo de abonos orgánicos en Amaranto (*Amaranthus* sp). Un cultivo potencialmente sustentable. *Investigación Agropecuaria*. 5(2):127-140.

Valverde, V. T.; Meave del Castillo, A. J.; Carabias, L. J.; Cano-Santana, Z. 2005. *Ecología y medio ambiente*. Editorial Pearson Educación. México. 230 pp.

Vargas-Rodríguez, C. F. 2008. Comparación productiva de forraje verde hidropónico de maíz, arroz y sorgo negro forrajero. *Costa Rica. Agronomía Mesoamericana*. 19(2): 233-240.

Vavrina, C. S. y Obreza, T. A. 1993. response of chinese cabbage to nitrogen rate and source in

sequential plantings. HortScience. 28:1164-1165

Vázquez B. N, C. M. D. Acosta, R. G. Olivier. 2011. Rendimiento de Amaranto (*Amaranthus hypochondriacus*) como efecto de la aplicación de abonos orgánicos en Puebla, México. Investigación Agropecuaria. 8(1):16-33.

Ventureira J. L. 2010. Propiedades estructurales y funcionales de preparados proteicos de amaranto modificados y soja-amaranto. Tesis de Doctorado. Facultad de Ciencias Exactas. Departamento de Ciencias Biológicas. Universidad Nacional de la Plata.

Weber, L.E., Kauffman, C.S.; Bailey, N.N. and B. T. Volak. 1985. Amaranth grain production guide. Rodale Press Inc. Kutztown Pa. 43 pp.

ANEXOS

Apéndice 1

Edafología de la FES Iztacala

La FES Iztacala , que se encuentra en la zona baja de la topografía de Tlalnepantla, entre lo que fue el río Tlalnepantla y San Javier, esta cubierta por depósitos aluviales cuaternario de textura gresa

Los suelos son originalmente de tipo aluvial; por la composición organica asi como las características físicas y texturales se clasifica dentro de los fluviales, formados por depósitos de limos y materia organica proveniente de las zonas de lomas inmediatas. Es probable que estos suelos tuvieron un uso de tipo agrícola al menos desde el siglo X (Serra, 1990).

Apéndice 2

Solución nutritiva “Hidro-FESI”

Composicion de la solucion.

Formula general por cada 200 litros de agua:

Nitrato de Calcio 246.9g

Sulfato de Magnesio 100.0g

Sulfato ferroso 5.0g

N.P.K. (24-8-16) 133.3g

Micronutrientes 3.0g

Nitrato de Calcio 246.9g

Sulfato de Magnesio 100.0g

Sulfato ferroso 5.0g

N.P.K. (15-30-15) 133.3g

Micronutrientes 3.0g

Apéndice 3

Solución nutritiva “Hidro-FESI” enriquecida con Urea

Composicion de la solucion.

Formula general por cada 200 litros de agua:

Nitrato de Calcio 246.9g

Urea 123.45g

Sulfato de Magnesio 100.0g

Sulfato ferroso 5.0g

N.P.K. (24-8-16 / 15-30-15) 133.3g

Micronutrientes 3.0g