



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
GENÉTICA

**CARACTERIZACIÓN DE SEIS GENOTIPOS DE AMARANTO
(*Amaranthus hypochondriacus* L.) MEDIANTE LOS PATRONES DE
GERMINACIÓN DE LA SEMILLA EXPUESTA A HERBICIDAS, ÁCIDO
SALICÍLICO Y COMPUESTOS ANÁLOGOS, SULFATO DE COBRE Y
CARENCIA DE HIERRO**

HEBERT JAIR BARRALES CUREÑO

TESIS
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2008

DEDICATORIA

Con toda mi alegría dedico mi tesis a las personas más valiosas de mi vida:

A ti Eterno Dios:

Por haberme puesto en el camino correcto, por tener en tu eterna vida, mi vida. Por el gran destino de vida y por el futuro y felicidad que siempre me tienes preparado. Gracias Amor mío, por ayudarme a cristalizar otro sueño más y porque me ayudas a no claudicar mis anhelados sueños. Y sobre todo, por no dejarme permitir derrumbarme ante las adversidades de los fracasos y la maldad.

A ti Señor Jesucristo:

Gracias por tu gran amor para con nosotros, por tus cuidados y por tu misericordia. Por todo el amor que existe en ti.

A mis queridos padres:

Papá Ezequiel Barrales Cruz y Mamá Guadalupe Cureño Cordova: Un millón de gracias por acompañarme en todos mis tiempos, por prepararme para el futuro. Por su gran amor y por enseñarme a amar con el corazón. Por apoyarme en todas mis decisiones. Los amaré por siempre. Gracias por todas las palabras, el tiempo prestado. Por ser mis héroes. Por darme una alas grandes para volar muy lejos y alcanzar mis sueños y por ser un ejemplo de vida luminosa. Vale su peso en oro y diamantes.

A mis queridos hermanos:

Edson Israel Barrales Cureño y su esposa Mercedes y familia y Dulce Guadalupe Barrales Cureño: por su brillante realización personal. Los amo y admiro muchísimo.

A mis queridos abuelitos:

Pedro Barrales, Teresa Cruz[†] con gran amor, siempre te recordaré, **Luís Cureño, y América Cordova.** Los amare eternamente.

A todos mis tíos, tías, primos, primas, sobrinas y sobrinos:

Por su superación constante.

A los integrantes de mi Consejo Particular, de quienes recibí un gran ejemplo:

A mi Consejero, Dr. Guillermo Carrillo Castañeda:

Muchas gracias por su absoluta confianza puesta en mí y por todo su apoyo incondicional para la realización de esta valiosa tesis. Por su gran ejemplo profesional, su gran espíritu científico y su sabiduría. Por la oportunidad científica de oro de trabajar juntos y por sus sabios consejos científicos, pero sobretodo por su amistad.

A mis asesores:

Dr. Antonio Trinidad Santos: Infinitas gracias por todo su apoyo y sus valiosas sugerencias. Su ánimo y entusiasmo me permitieron seguir adelante. *“La semilla es tan importante, que hasta la naturaleza se viste de flores para recibirla”.*

Dr. Juan Manuel González Camacho: Mil gracias por su incondicional apoyo como asesor, por sus sugerencias y amplio apoyo en el análisis e interpretación de datos de la investigación y por su gran calidad humana. Por haber recibido de usted uno de los mejores entrenamientos científicos.

A mi sinodal:

Dra. María del Carmen Mendoza Castillo: Muchas gracias por brindarme su gran amistad.

A mis hermanos en la fe (Orizaba y Texcoco): Gracias por sus oraciones.

A mis inolvidables amigos: Guillermo Tijerina, José Pecina, Lupita, María Elena Monroy, Alejandro, Marichuy, Sra. Gloria, Sra. Paz, Sra. Valentina, Marco Antonio, Eduardo, Susana Alcántara, Dalila, Isa Ayala, Angélica[†], Freddy, Isabel Rodríguez, Nicolás, Tommy, Iván, Antonio, Oskar, Jesús Juárez y familia, al Lab. Ismael Cervantes Rosas, a los trabajadores de la biblioteca: Felipe, Juan, Hugo, Raymundo y las sras. de la mañana. A Mauri, Raqueline, Victor Manuel, Juan Pichardo, Chuchito, Yolanda y a Francisco Lara: Gracias por toda su amistad invaluable. La historia de nuestras vidas fue escrita con tinta indeleble y les agradezco que hayamos formado un núcleo de amistad sincera y leal.

A todos los doctores y doctoras que me impartieron clases a lo largo de mis estudios de maestría en el Colegio de Postgraduados: Dra. Libia Iris Trejo Téllez, Dr. Leonardo Tijerina Chávez, Dr. Fernando Gómez Merino, Dr. Joaquín Ortiz Cereceres, Dr. David Espinosa Victoria, Dra. Maria de las Nieves Rodríguez Mendoza, Dr. Leopoldo Mendoza Onofre, Dr. Abel Muñoz, Dr. Porfirio Ramírez, Dr. Alejandro Alarcón Dra. Heike Vibrans Lindemann, Dra. Alejandrina Ruíz Bello y Dr. Prometeo Sánchez. ¡Muchas Gracias! Fue maravilloso haber compartido con ustedes clases y momentos inolvidables.

A mis maestros de la Universidad Veracruzana. M. C. Miriam Cristina Pastelín Solano, Dra. Maria Teresa González Arnao, Q. A. Maria Merced Hernández Rocha, Q. A. Pedro Pastelín Méndez, Q. A. Luis Mario Meza González, Q. A. Lino Debernardi Marini, Dra. Rosalba Ortega Jiménez, Q. A. Víctor Manuel Román Castañeda y Q. A. José Luís Pastelín Méndez, a todos ustedes por todas sus enseñanzas.

A Thalía y a Sabrina Sakaë en Manhattan, New York: por tu dulce voz y por tu felicidad que alegra mi alma.

A cada instante de mi vida me hice diversas preguntas que no siempre tenían respuesta, se que existen seres celestiales que no los vemos y tal vez no creemos en su existencia, pero el bienestar que nos producen y esas sensaciones de sentirlos cerca, hace vibrar de satisfacción mi alma.

A todas aquellas personas que de alguna forma me apoyaron en el tiempo de la maestría y que involuntariamente omito...

“He consagrado mi vida a mi deber para con las personas que me son queridas, cuya desgracia comparto y que, se diga lo que se diga de ellas, merecen toda mi simpatía por el valor con el que soportan su destino...”

Maria Antonieta

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca No. 202951, durante el periodo enero 2006-diciembre 2007, para la realización de mi Maestría en Ciencias.

Al Colegio de Postgraduados (C.P.) y al Programa de Genética por haberme brindado su gran nivel de enseñanza.

A la Universidad Veracruzana, Facultad de Ciencias Químicas, por formar grandes profesionistas y darnos los conocimientos necesarios para triunfar en la vida.

Mi vida se basa en el agradecimiento. Estoy agradecido por todo, por los días, por las noches, por el mar, por las estrellas, por el destino, por las navidades, por mis alegrías y por todas mis tristezas y desilusiones que me hacen más fuerte. Por todo lo que me rodea. Las cosas simples son las que me inspiran y me motivan. Mi vida ha sido una suma de momentos que van llegando, son acontecimientos que me conmueven a seguir adelante, para seguir siendo un buen ser humano.

Finalmente es momento de profundo y sincero agradecimiento eterno a mi gran familia por su gran amor y su gran apoyo incondicional. Porque a pesar de la distancia siempre los tenía cerca de mis pensamientos.

Índice general

	Página
Lista de cuadros	v
Lista de figuras	viii
Resumen	xvii
Abstract	xix
I. Introducción	1
1.1 Objetivo general.....	2
1.2 Objetivos específicos.....	2
1.3 Hipótesis.....	3
II. Revisión de literatura	4
2.1 Antecedentes históricos.....	4
2.2 Importancia del amaranto.....	4
2.3 Distribución geográfica.....	5
2.4 Características generales de la familia <i>Amarantaceae</i>	5
2.4.1 Clasificación sistemática del amaranto.....	5
2.4.2 Características morfológicas y anatómicas.....	6
2.4.3 Características generales de cultivares y variedades.....	8
2.4.4 Características agronómicas de las principales variedades de <i>A. hypochondriacus</i>	9
2.4.5 Especies productoras de grano.....	10
2.4.6 Especies productoras de verdura.....	10
2.4.7 Especies productoras de forraje.....	11
2.4.8 Morfología de la semilla de amaranto.....	12
2.5 Calidad física de las semillas	13
2.5.1 Peso de 100 semillas.....	13
2.5.2 Imbibición de agua.....	13
2.6 Calidad fisiológica de las semillas	14
2.6.1 Germinación y velocidad de germinación (T_{50}).....	14
2.6.2 Vigor.....	16
2.7 Herbicidas	17
2.7.1 Aspectos generales.....	17

2.7.2 Clasificación de los herbicidas.....	18
2.7.3 Absorción y transporte de los herbicidas en los vegetales.....	21
2.8 Herbicidas comerciales.....	22
2.8.1 Doblete Super Comercial.....	22
2.8.2 Diquat.....	22
2.8.3 Paraquat.....	23
2.8.4 Hierbamina Comercial.....	24
2.8.5 Ácido 2,4-Diclorofenoxiacético (2,4-D).....	24
2.9 Ácido acetilsalicílico, ácido salicílico y ácido sulfosalicílico.....	26
2.9.1 Ácido acetilsalicílico.....	26
2.9.2 Ácido salicílico.....	26
2.9.3 Ácido sulfosalicílico.....	29
2.10 Sulfato de cobre	30
2.10.1 Características generales.....	30
2.10.2 Efectos fisiológicos y absorción del cobre por las plantas.....	31
2.11 Sideróforos.....	32
2.11.1 <i>Pseudomonas fluorescens</i> como productoras de sideróforos.....	33
III. Materiales y métodos.....	36
3.1 Ubicación de los experimentos.....	36
3.2 Material biológico.....	36
3.3 Caracterización de las semillas.....	36
3.4 Calidad física.....	36
3.4.1 Determinación del peso de 100 semillas.....	36
3.4.2 Determinación del incremento en peso por absorción de agua (imbibición).....	37
3.5 Germinación de la semilla de amaranto en presencia de soluciones de herbicidas, ácido acetilsalicílico, ácido salicílico, ácido sulfosalicílico, sulfato de cobre y el sobrenadante de medio gastado.....	37
3.6 Calidad fisiológica.....	37
3.6.1 Pruebas de germinación y determinación de la velocidad de germinación (T_{50}).....	37

3.6.2 Vigor de plántulas.....	38
3.6.3 Determinación del peso de materia seca.....	38
3.7 Determinación de emergencia en invernadero.....	39
3.7.1 Contenedores y sustrato.....	39
3.7.2 Riego.....	39
3.7.3 Aspersión con soluciones de herbicida Doble Super.....	39
3.8 Variables morfológicas determinadas.....	39
3.8.1 Longitud de planta.....	39
3.8.2 Número de hojas.....	40
3.8.3 Color de hojas (haz y envés) y tallo.....	40
3.9 Obtención de los cultivos bacterianos de <i>P. fluorescens</i>.....	40
3.10 Estimación de 10 características fenotípicas de plantas de amaranto desarrolladas en campo.....	40
3.11 Diseño experimental y análisis de datos.....	41
IV. Resultados.....	42
4.1 Material biológico.....	42
4.2 Análisis de las características físicas de las semillas.....	43
4.2.1 Peso de 100 semillas.....	43
4.2.2 Imbibición.....	46
4.3 Análisis de las características funcionales de la semilla: germinación y vigor (Velocidad de germinación: T_{50}).....	47
4.3.1 Germinación en presencia de agua.....	47
4.3.2 Germinación en presencia de herbicidas.....	50
4.3.3 Germinación en presencia de ácido salicílico y compuestos análogos.....	72
4.3.4 Germinación en presencia de sulfato de cobre y carencia de hierro.....	80
4.4 Vigor de plántulas.....	90
4.4.1 Longitud.....	91
4.4.2 Materia seca de tallos de plántulas generadas de semillas germinadas en presencia de soluciones de herbicidas.....	91
4.4.3 Materia seca total (tallos y raíces) de plántulas generadas de semillas germinadas en presencia de soluciones de herbicidas.....	92

4.4.4 Materia seca de tallos de plántulas generadas de semillas germinadas en presencia de soluciones de ácido salicílico y compuestos análogos	93
4.4.5 Materia seca de raíces de plántulas generadas de semillas germinadas en presencia de soluciones de ácido salicílico y compuestos análogos.....	94
4.4.6 Materia seca total (tallos y raíces) de plántulas generadas de semillas germinadas en presencia de soluciones de ácido salicílico y compuestos análogos	95
4.5 Determinación de emergencia en invernadero.....	96
4.5.1 Aspecto de las plántulas durante la emergencia en invernadero.....	97
4.5.2 Respuesta de las plántulas de los seis fenotipos de amaranto a la aspersión con la solución del herbicida Doble Super (0.006 µl/mL).....	100
4.5.3 Desarrollo de las plántulas de los seis fenotipos de amaranto generadas a partir de semilla germinada en presencia del herbicida Doble Super.....	101
4.6 Características del desarrollo de las plantas generadas a partir de semilla germinada en agua y Doble Super.....	104
4.6.1 Longitud de planta.....	104
4.6.2 Número de hojas.....	108
4.6.3 Color de hoja y tallo.....	111
4.7 Obtención de los cultivos bacterianos de <i>P. fluorescens</i>.....	113
4.8 Estimación de 10 características fenotípicas de plantas de amaranto desarrolladas en campo.....	114
V. Discusión.....	130
Conclusiones.....	157
Literatura citada.....	160
Apéndice.....	173

Lista de cuadros

Cuadro		Página
1	Clasificación sistemática del amaranto.....	6
2	Composición del grano de amaranto y de algunos cereales.....	13
3	Clasificación de los herbicidas diquat, paraquat y 2,4-D por su modo de acción, sitios de acción específicos asociados al modo de acción, velocidad de aparición de los efectos y descripción de los principales síntomas que pueden visualizarse en malezas y/o cultivos.....	20
4	Clasificación sistemática de <i>Pseudomonas fluorescens</i>	34
5	Peso de 100 semillas de seis fenotipos de amaranto. Los pesos representan el promedio de 10 muestras de semilla de cada fenotipo.....	43
6	Descripción del coeficiente de variación y desviación estándar de 10 lotes de 100 semillas de los 6 fenotipos de amaranto indicados.....	45
7	Determinación del incremento de peso por absorción de agua de la semilla de amaranto. En cada caso, 3 g de semilla fueron pesado y los valores del incremento se obtuvieron después de imbibir la semilla durante 6 h.....	46
8	Germinación obtenida de semilla de amaranto sometida a germinar en agua a la temperatura de $26 \pm 1^{\circ}\text{C}$. Las determinaciones de la germinación se llevaron a cabo a los 12 días y los resultados son el promedio de 3 lotes de 100 semillas.....	47
9	Velocidad de germinación obtenida de semilla de amaranto sometida a germinar en agua a la temperatura de $26 \pm 1^{\circ}\text{C}$. Las determinaciones de la germinación se llevaron a cabo hasta los 12 días y los resultados son el promedio de 3 lotes de 100 semillas.....	50
10	Germinación obtenida de semilla de amaranto sometida a germinar en agua, Doble Super, Hierbamina Comercial y 2,4-D a la temperatura de $26 \pm 1^{\circ}\text{C}$. Las determinaciones de la germinación se llevaron a cabo a los 12 días y los resultados son el promedio de 3 lotes de 100 semillas.....	51
11	Velocidades de germinación obtenida de semilla de amaranto sometida a germinar en agua, Doble Super, Hierbamina Comercial y 2,4-D a la temperatura de $26 \pm 1^{\circ}\text{C}$. Las determinaciones de la germinación se llevaron a cabo a los 12 días y los resultados son el promedio de 3 lotes de 100 semillas.....	71
12	Porcentaje de germinación total obtenida de semilla de amaranto sometida a germinar en agua, AAS, AS y ASS a la temperatura de $26 \pm 1^{\circ}\text{C}$. Las determinaciones de la germinación se llevaron a cabo a los 12 días y los resultados son el promedio de 3 lotes de 100 semillas.....	72

Lista de cuadros

cuadro		Página
13	Velocidades de germinación obtenida de semilla de amaranto sometida a germinar en agua, AAS, AS y ASS a la temperatura de $26 \pm 1^{\circ}\text{C}$. Las determinaciones de la germinación se llevaron a cabo a los 12 días y los resultados son el promedio de 3 lotes de 100 semillas.....	79
14	Germinación obtenida de semilla de amaranto sometida a germinar en agua, CuSO_4 y sobrenadantes del medio gastado a la temperatura de $26 \pm 1^{\circ}\text{C}$. Las determinaciones de la germinación se llevaron a cabo a los 12 días y los resultados son el promedio de 3 lotes de 100 semillas.....	80
15	Velocidades de germinación obtenida de semilla de amaranto sometida a germinar en agua, solución de CuSO_4 y sobrenadantes del medio gastado de los cultivos bacterianos indicados a la temperatura de $26 \pm 1^{\circ}\text{C}$. Las determinaciones de la germinación se llevaron a cabo a los 12 días y los resultados son el promedio de 3 lotes de 100 semillas.....	89
16	Longitud del tallo de 6 fenotipos de amaranto conservados a $26\text{-}28^{\circ}\text{C}$ y fotoperíodo de 16 h luz. Determinación efectuada a las 72, 96 y 120 horas después de la germinación. Los datos son promedio de 3 repeticiones.....	91
17	Determinación del peso de materia seca de tallos de 6 fenotipos de amaranto mantenidos a $26\text{-}28^{\circ}\text{C}$ y fotoperíodo de 16 h luz. Las plántulas se generaron a partir de semilla germinada en presencia de agua y soluciones de Hierbamina y 2,4-D. Determinación efectuada a los 8 días después de la germinación. Los datos son promedio de 3 repeticiones.....	92
18	Determinación del peso de materia seca total (tallos y raíces) de 6 fenotipos de amaranto mantenidos a $26\text{-}28^{\circ}\text{C}$. Determinación efectuada a los 8 días después de la germinación. Los datos son promedio de 3 repeticiones.....	93
19	Determinación del peso de materia seca de tallos de 6 fenotipos de amaranto mantenidos a $26\text{-}28^{\circ}\text{C}$. Determinación efectuada a los 8 días después de la germinación. Los datos son promedio de 3 repeticiones.....	94
20	Determinación del peso de materia seca de raíces de 6 fenotipos de amaranto mantenidos a $26\text{-}28^{\circ}\text{C}$. Determinación efectuada a los 8 días después de la germinación. Los datos son promedio de 3 repeticiones.....	95
21	Determinación del peso de materia seca de raíces de 6 fenotipos de amaranto mantenidos a $26\text{-}28^{\circ}\text{C}$. Determinación efectuada a los 8 días después de la germinación. Los datos son el promedio de 3 repeticiones.....	96
22	Determinación de la fecha de corte, peso de 100 semillas y peso total de semillas obtenidas de plantas generadas a partir de semilla germinada en presencia al herbicida Doble Super.	103

Lista de cuadros

cuadro		Página
23	Determinación del número de plántulas con hojas y número promedio de hojas por plántula del fenotipo Línea 1 efectuadas a los 13 días de desarrollo en las condiciones indicadas.....	108
24	Determinación del número de plántulas con hojas y número promedio de hojas por plántula del fenotipo Mercado efectuadas a los 13 días de desarrollo en las condiciones indicadas.....	108
25	Determinación del número de plántulas con hojas y número promedio de hojas por plántula del fenotipo Nepal efectuadas a los 13 días de desarrollo en las condiciones indicadas.....	109
26	Determinación del número de plántulas con hojas y número promedio de hojas por plántula del fenotipo Tulyehualco efectuadas a los 13 días de desarrollo en las condiciones indicadas.....	109
27	Determinación del número de plántulas con hojas y número promedio de hojas por plántula del fenotipo Criolla Tulyehualco efectuadas a los 13 días de desarrollo en las condiciones indicadas.....	110
28	Relación del número de plántulas con hojas y número promedio de hojas por plántula del fenotipo Criolla Mixteca efectuadas a los 13 días de desarrollo en las condiciones indicadas.....	110
29	Determinación visual de la coloración de hojas (haz y envés) de hojas de seis fenotipos de amaranto a los 27 días después de la siembra de semillas germinadas en agua y en la concentración de 0.006 µL/mL del herbicida Doble Super.....	113
30	Lecturas de absorbencia de la cantidad de pigmento a 400 nm y lecturas de turbidez a 660 nm del sobrenadante de medio gastado. Promedio de 3 repeticiones.....	114
31	Determinación de 10 características fenotípicas de plantas de amaranto desarrolladas en campo. El peso corresponde a materia seca. Los datos representan el promedio de 3 repeticiones: Línea 1 (L1), Nepal (N), Tulyehualco (T) y Criolla Mixteca (CM) a excepción de Mercado (M) y Criolla Tulyehualco (CT) que fueron 2 repeticiones. *Plántulas de 30 días cultivadas en invernadero, fueron transplantadas al campo el 7 de julio de 2007.	115
32	Concentraciones utilizadas de herbicidas Doble Super y Hierbamina Comercial.....	181
33	Sustancias utilizadas para la preparación de medio de cultivo B de King.....	183

Lista de Figuras

Figura		Página
1	Aspecto de plantas de amaranto cultivadas.....	7
2	Esquema de las fases de la imbibición de agua por una semilla, medida mediante el incremento en peso fresco durante el proceso de germinación.....	14
3	Principales eventos asociados con el proceso de germinación y subsiguiente crecimiento post-germinativo.....	15
4	Estructura química de la molécula de diquat.....	22
5	Estructura química de la molécula de paraquat.....	23
6	Estructura química de la molécula de ácido 2,4-D.....	24
7	Estructura química de la molécula de ácido acetilsalicílico.....	26
8	Estructura química del ácido salicílico.....	26
9	Diagrama esquemático de la ruta biosintética y metabólica del ácido salicílico y fenilpropanoides.....	28
10	Estructura química de la molécula del ácido sulfosalicílico.....	30
11	Micrografía electrónica de raíz de trigo colonizada por <i>P. fluorescens</i>	33
12	Método seguido para el desarrollo de las plántulas de amaranto.....	38
13	Aspecto de la semilla de los fenotipos de semillas de amaranto utilizadas en la presente investigación: 1. Línea 1; 2. Mercado; 3. Nepal; 4. Tulyehualco; 5. Criolla Tulyehualco y 6. Criolla Mixteca.....	42
14	Peso de 10 lotes de 100 semillas de los 4 fenotipos seleccionados de amaranto: Línea 1 (■), Mercado (■), Nepal (■) y Tulyehualco (■). Línea punteada indica la media.....	44
15	Peso de 10 lotes de 100 semillas de los 2 fenotipos criollos de amaranto: Criolla Tulyehualco (■) y Criolla Mixteca (■). Línea punteada indica la media.....	44
16	Peso promedio de 10 lotes de 100 semillas de los 6 fenotipos de amaranto indicados. Línea punteada indica la media.....	45
17	Incremento en peso por absorción de agua de lotes de 3 g cada uno de semillas de los 4 fenotipos seleccionados de amaranto: Línea 1 (◆), Mercado (▲), Nepal (■) y Tulyehualco (●).....	46
18	Incremento en peso por absorción de agua de lotes de 3 g cada uno de semillas de los 2 fenotipos criollos de amaranto: Criolla Tulyehualco (◆) y Criolla Mixteca (●).....	47
19	Cinéticas de germinación de semillas de los 4 fenotipos seleccionados de amaranto: Línea 1 (◆), Mercado (▲), Nepal (■) y Tulyehualco (●). Promedio de 3 repeticiones.....	48
20	Cinéticas de germinación de semillas de los 2 fenotipos criollos de amaranto: Criolla Tulyehualco (◆) y Criolla Mixteca (●). Promedio de 3 repeticiones.....	48

Lista de Figuras

Figura		Página
21	Germinación acumulada de semillas de los 4 fenotipos seleccionados de amaranto: Línea1 (◆), Mercado (▲), Nepal (■) y Tulyehualco (●). Promedio de 3 repeticiones.....	49
22	Germinación acumulada de semillas de los 2 fenotipos criollos de amaranto: Criolla Tulyehualco (◆) y Criolla Mixteca (●). Promedio de 3 repeticiones.....	49
23	Cinética de germinación de amaranto Línea 1 en presencia de agua (◆), y las soluciones de herbicida Doble Super: Sol. 1: 1 µL/mL (▲), Sol. 2: 0.6 µL/mL (■) y Sol. 3: 0.006 µL/mL (●). Promedio de 3 repeticiones.....	52
24	Cinética de germinación de amaranto Mercado en presencia de agua (◆), y tres soluciones de herbicida Doble Super: Sol. 1: 1 µL/mL (▲), Sol. 2: 0.6 µL/mL (■) y Sol. 3: 0.006 µL/mL (●). Promedio de 3 repeticiones.....	52
25	Cinética de germinación de amaranto Nepal en presencia de agua (◆), y tres soluciones de herbicida Doble Super: Sol. 1: 1 µL/mL (▲), Sol. 2: 0.6 µL/mL (■) y Sol. 3: 0.006 µL/mL (●). Promedio de 3 repeticiones.....	53
26	Cinética de germinación de amaranto Tulyehualco en presencia de agua (◆), y tres soluciones de herbicida Doble Super: Sol. 1: 1 µL/mL (▲), Sol. 2: 0.6 µL/mL (■) y Sol. 3: 0.006 µL/mL (●). Promedio de 3 repeticiones.....	53
27	Cinética de germinación de amaranto Criolla Tulyehualco en presencia de agua (◆), y tres soluciones de herbicida Doble Super: Sol. 1: 1 µL/mL (▲), Sol. 2: 0.6 µL/mL (■) y Sol. 3: 0.006 µL/mL (●). Promedio de 3 repeticiones.....	54
28	Cinética de germinación de amaranto Criolla Mixteca en presencia de agua (◆), y tres soluciones de herbicida Doble Super: Sol. 1: 1 µL/mL (▲), Sol. 2: 0.6 µL/mL (■) y Sol. 3: 0.006 µL/mL (●). Promedio de 3 repeticiones.....	54
29	Germinación acumulada de amaranto Línea 1 en presencia de agua (◆), y en las soluciones de herbicida Doble Super: Sol. 1: 1 µL/mL (▲), Sol. 2: 0.6 µL/mL (■) y Sol. 3: 0.006 µL/mL (●). Promedio de 3 repeticiones.....	55
30	Germinación acumulada de amaranto Mercado en presencia de agua (◆), y en las soluciones de herbicida Doble Super: Sol. 1: 1 µL/mL (▲), Sol. 2: 0.6 µL/mL (■) y Sol. 3: 0.006 µL/mL (●). Promedio de 3 repeticiones.....	55
31	Germinación acumulada de amaranto Nepal en presencia de agua (◆), y en las soluciones de herbicida Doble Super: Sol. 1: 1 µL/mL (▲), Sol. 2: 0.6 µL/mL (■) y Sol. 3: 0.006 µL/mL (●). Promedio de 3 repeticiones.....	56

Lista de Figuras

Figura		Página
32	Germinación acumulada de amaranto Tulyehualco en presencia de agua (◆), y en las soluciones de herbicida Doble Super: Sol. 1: 1 µL/mL (▲), Sol. 2: 0.6 µL/mL (■) y Sol. 3: 0.006 µL/mL (●). Promedio de 3 repeticiones.....	56
33	Germinación acumulada de amaranto Criolla Tulyehualco en presencia de agua (◆), y en las soluciones de herbicida Doble Super: Sol. 1: 1 µL/mL (▲), Sol. 2: 0.6 µL/mL (■) y Sol. 3: 0.006 µL/mL (●). Promedio de 3 repeticiones.....	57
34	Germinación acumulada de amaranto Criolla Mixteca en presencia de agua (◆), y en las soluciones de herbicida Doble Super: Sol. 1:1 µL/mL (▲), Sol. 2: 0.6 µL/mL (■) y Sol. 3: 0.006 µL/mL (●). Promedio de 3 repeticiones.....	57
35	Cinética de germinación de amaranto Línea 1 en presencia de agua (◆) y en la solución de Hierbamina Comercial 0.006 µL/mL (▲). Promedio de 3 repeticiones.....	58
36	Cinética de germinación de amaranto Mercado en presencia de agua (◆) y en la solución de Hierbamina Comercial 0.006 µL/mL (▲). Promedio de 3 repeticiones.....	58
37	Cinética de germinación de amaranto Nepal en presencia de agua (◆) y en la solución de Hierbamina Comercial: 0.006 µL/mL (▲). Promedio de 3 repeticiones.....	59
38	Cinética de germinación de amaranto Tulyehualco en presencia de agua (◆) y en la solución de Hierbamina Comercial: 0.006 µL/mL (▲). Promedio de 3 repeticiones.....	59
39	Cinética de germinación de amaranto Criolla Tulyehualco en presencia de agua (◆) y en la solución de Hierbamina Comercial: 0.006 µL/mL (▲). Promedio de 3 repeticiones.....	60
40	Cinética de germinación de amaranto Criolla Mixteca en presencia de agua (◆) y en la solución de Hierbamina Comercial: 0.006 µL/mL (▲). Promedio de 3 repeticiones.....	60
41	Germinación acumulada de amaranto Línea 1 en presencia de agua (◆) y en la solución de herbicida Hierbamina Comercial: 0.006 µL/mL (▲). Promedio de 3 repeticiones.....	61
42	Germinación acumulada de amaranto Mercado en presencia de agua (◆) y en la solución de herbicida Hierbamina Comercial: 0.006 µL/mL (▲). Promedio de 3 repeticiones.....	61
43	Germinación acumulada de amaranto Nepal en presencia de agua (◆) y en la solución de herbicida Hierbamina Comercial: 0.006 µL/mL (▲). Promedio de 3 repeticiones.....	62
44	Germinación acumulada de amaranto Tulyehualco en presencia de agua (◆) y en la solución de herbicida Hierbamina Comercial: 0.006 µL/mL (▲). Promedio de 3 repeticiones.....	62

Lista de Figuras

Figura		Página
45	Germinación acumulada de amaranto Criolla Tulyehualco en presencia de agua (◆) y en la solución de herbicida Hierbamina Comercial: 0.006 μL/mL (▲). Promedio de 3 repeticiones.....	63
46	Germinación acumulada de amaranto Criolla Mixteca en presencia de agua (◆) y en la solución de herbicida Hierbamina Comercial: 0.006 μL/mL (▲). Promedio de 3 repeticiones.....	63
47	Cinética de germinación de amaranto Línea 1 en presencia de agua (◆) y en la solución de 2,4-D: (▲). Promedio de 3 repeticiones.....	64
48	Cinética de germinación de amaranto Mercado en presencia de agua (◆) y en la solución de 2,4-D: 1.35×10^{-5} M (▲). Promedio de 3 repeticiones.....	64
49	Cinética de germinación de amaranto Nepal en presencia de agua (◆) y en la solución de 2,4-D: 1.35×10^{-5} M (▲). Promedio de 3 repeticiones.....	65
50	Cinética de germinación de amaranto Tulyehualco en presencia de agua (◆) y en la solución de 2,4-D: 1.35×10^{-5} M (▲). Promedio de 3 repeticiones.....	65
51	Cinética de germinación de amaranto Criolla Tulyehualco en presencia de agua (◆) y en la solución de 2,4-D: 1.35×10^{-5} M (▲). Promedio de 3 repeticiones.....	66
52	Cinética de germinación de amaranto Criolla Mixteca en presencia de agua (◆) y en la solución de 2,4-D: 1.35×10^{-5} M (▲). Promedio de 3 repeticiones.....	66
53	Germinación acumulada de amaranto Línea 1 en presencia de agua (◆) y en la solución de herbicida 2,4-D: 1.35×10^{-5} M (▲). Promedio de 3 repeticiones.....	67
54	Germinación acumulada de amaranto Mercado en presencia de agua (◆) y en la solución de herbicida 2,4-D: 1.35×10^{-5} M (▲). Promedio de 3 repeticiones.....	67
55	Germinación acumulada de amaranto Nepal en presencia de agua (◆) y en la solución de herbicida 2,4-D: 1.35×10^{-5} M (▲). Promedio de 3 repeticiones.....	68
56	Germinación acumulada de amaranto Tulyehualco en presencia de agua (◆) y en la solución de herbicida 2,4-D: 1.35×10^{-5} M (▲). Promedio de 3 repeticiones.....	68
57	Germinación acumulada de amaranto Criolla Tulyehualco en presencia de agua (◆) y en la solución de herbicida 2,4-D: 1.35×10^{-5} M (▲). Promedio de 3 repeticiones.....	69
58	Germinación acumulada de amaranto Criolla Mixteca en presencia de agua (◆) y en la solución de herbicida 2,4-D: 1.35×10^{-5} M (▲). Promedio de 3 repeticiones.....	69

Lista de Figuras

Figura		Página
59	Cinética de germinación de amaranto Línea 1 en presencia de agua (◆) y soluciones 1.35×10^{-5} M de: AAS (▲), AS (■), ASS (●). Promedio de 3 repeticiones.....	73
60	Cinética de germinación de amaranto Mercado en presencia de agua (◆) y soluciones 1.35×10^{-5} M de: AAS (▲), AS (■), ASS (●). Promedio de 3 repeticiones.....	73
61	Cinética de germinación de amaranto Nepal en presencia de agua (◆) y soluciones 1.35×10^{-5} M de: AAS (▲), AS (■), ASS (●). Promedio de 3 repeticiones.....	74
62	Cinética de germinación de amaranto Tulyehualco en presencia de agua (◆) y soluciones 1.35×10^{-5} M de: AAS (▲), AS (■), ASS (●). Promedio de 3 repeticiones.....	74
63	Cinética de germinación de amaranto Criolla Tulyehualco en presencia de agua (◆) y soluciones 1.35×10^{-5} M de: AAS (▲), AS (■), ASS (●). Promedio de 3 repeticiones.....	75
64	Cinética de germinación de amaranto Criolla Tulyehualco en presencia de agua (◆) y soluciones 1.35×10^{-5} M de: AAS (▲), AS (■), ASS (●). Promedio de 3 repeticiones.....	75
65	Germinación acumulada de amaranto Línea 1 en presencia de agua (◆) y soluciones 1.35×10^{-5} M de: AAS (▲), AS (■), ASS (●). Promedio de 3 repeticiones.....	76
66	Germinación acumulada de amaranto Mercado en presencia de agua (◆) y soluciones 1.35×10^{-5} M de: AAS (▲), AS (■), ASS (●). Promedio de 3 repeticiones.....	76
67	Germinación acumulada de amaranto Nepal en presencia de agua (◆) y soluciones 1.35×10^{-5} M de: AAS (▲), AS (■), ASS (●). Promedio de 3 repeticiones.....	77
68	Germinación acumulada de amaranto Tulyehualco en presencia de agua (◆) y soluciones 1.35×10^{-5} M de: AAS (▲), AS (■), ASS (●). Promedio de 3 repeticiones.....	77
69	Germinación acumulada de amaranto Criolla Tulyehualco en presencia de agua (◆) y soluciones 1.35×10^{-5} M de: AAS (▲), AS (■), ASS (●). Promedio de 3 repeticiones.....	78
70	Germinación acumulada de amaranto Criolla Mixteca en presencia de agua (◆) y soluciones 1.35×10^{-5} M de: AAS (▲), AS (■), ASS (●). Promedio de 3 repeticiones.....	78
71	Cinética de germinación diaria de semilla en presencia de la solución de $100 \mu\text{g/mL}$ de CuSO_4 . Promedio de tres repeticiones. Línea 1 (◆), Mercado (▲), Nepal (■) y Tulyehualco (●).....	81
72	Cinética de germinación diaria de semilla en presencia de la solución de $100 \mu\text{g/mL}$ de CuSO_4 . Promedio de tres repeticiones. Criolla Tulyehualco (◆) y Criolla Mixteca (●).....	81

Lista de Figuras

Figura		Página
73	Cinética de germinación de amaranto Línea 1 que germinó en presencia de 3 soluciones sobrenadante de sideróforos: Ca7 (◆), Ca9m (■), Cavm (▲) y Agua (○). Promedio de tres repeticiones.....	82
74	Cinética de germinación de amaranto Mercado que germinó en presencia de 3 soluciones sobrenadante de sideróforos: Ca7 (◆), Ca9m (■), Cavm (▲) y Agua (○). Promedio de tres repeticiones.....	82
75	Cinética de germinación de amaranto Nepal que germinó en presencia de 3 soluciones sobrenadante de sideróforos: Ca7 (◆), Ca9m (■), Cavm (▲) y Agua (○). Promedio de tres repeticiones.....	83
76	Cinética de germinación de amaranto Tulyehualco que germinó en presencia de 3 soluciones sobrenadante de sideróforos: Ca7 (◆), Ca9m (■), Cavm (▲) y Agua (○). Promedio de tres repeticiones.....	83
77	Cinética de germinación de amaranto Criolla Tulyehualco que germinó en presencia de 3 soluciones sobrenadante de sideróforos: Ca7 (◆), Ca9m (■), Cavm (▲) y Agua (○). Promedio de tres repeticiones.....	84
78	Cinética de germinación de amaranto Criolla Mixteca que germinó en presencia de 3 soluciones sobrenadante de sideróforos: Ca7 (◆), Ca9m (■), Cavm (▲) y Agua (○). Promedio de tres repeticiones.....	84
79	Germinación acumulada de semillas que germinó en presencia de la solución de 100 µg/mL de CuSO ₄ . Promedio de tres repeticiones. Línea 1 (◆), Mercado (▲), Nepal (■) y Tulyehualco (●).....	85
80	Germinación acumulada de semillas que germinó en presencia de la solución de 100 µg/mL de CuSO ₄ . Promedio de tres repeticiones. Criolla Tulyehualco (◆) y Criolla Mixteca (●).....	85
81	Germinación acumulada de amaranto Línea 1 que germinó en presencia de 3 soluciones sobrenadante de sideróforos: Ca7 (◆), Ca9m (■), Cavm (▲) y Agua (○). Promedio de tres repeticiones.....	86
82	Germinación acumulada de amaranto Mercado que germinó en presencia de 3 soluciones sobrenadante de sideróforos: Ca7 (◆), Ca9m (■), Cavm (▲) y Agua (○). Promedio de tres repeticiones.....	86
83	Germinación acumulada de amaranto Nepal que germinó en presencia de 3 soluciones sobrenadante de sideróforos: Ca7 (◆), Ca9m (■), Cavm (▲) y Agua (○). Promedio de tres repeticiones.....	87

Lista de Figuras

Figura		Página
84	Germinación acumulada de amaranto Tulyehualco que germinó en presencia de 3 soluciones sobrenadante de sideróforos: Ca7 (◆), Ca9m (■), Cavm (▲) y Agua (○). Promedio de tres repeticiones.....	87
85	Germinación acumulada de amaranto Criolla Tulyehualco que germinó en presencia de 3 soluciones sobrenadante de sideróforos: Ca7 (◆), Ca9m (■), Cavm (▲) y Agua (○). Promedio de tres repeticiones.....	88
86	Germinación acumulada de amaranto Criolla Mixteca que germinó en presencia de 3 soluciones sobrenadante de sideróforos: Ca7 (◆), Ca9m (■), Cavm (▲) y Agua (○). Promedio de tres repeticiones.....	88
87	Aspecto de las plántulas de amaranto desarrolladas durante 3 días (A, C y E) y 4 días (B, D y F).....	90
88	Emergencia de plántulas de amaranto generadas a partir de semilla germinada en agua o en presencia de la solución 0.006 µL/mL del herbicida Doblete Super. S: Sin herbicida Doblete Super, C: Con herbicida Doblete Super.....	97
89	Aspecto de las plántulas de amaranto a los 27 días, generadas a partir de semilla germinada en presencia de agua.....	98
90	Aspecto de las plántulas de amaranto a los 27 días, generadas a partir de semilla germinada en presencia de la solución 0.006 µL/mL de herbicida Doblete Super.....	99
91	Aspecto general de las plántulas de los seis fenotipos de amaranto generadas a partir de semilla germinada en agua y en presencia de la solución de Doblete Super antes de la aspersión del herbicida.....	100
92	Aspecto general de las plántulas de los seis fenotipos de amaranto después de la aspersión de la solución de herbicida a los tres días.....	101
93	Aspecto de las inflorescencias de plantas de los fenotipos de amaranto indicados a los días, generadas a partir de semilla germinada en presencia del herbicida Doblete Super (0.006 µL/mL).....	102
94	Aspecto de las inflorescencias en la etapa de llenado de grano de panojas de los 5 fenotipos de amaranto indicados a los días, generadas a partir de semilla germinada en presencia del herbicida Doblete Super (0.006 µL/mL), Fecha: 15 de enero de 2007.....	103
95	Cinética de crecimiento de plántulas de amaranto Línea 1. Las determinaciones fueron a partir de los seis días después de la siembra de la semilla germinada. Cada determinación representa el promedio de cinco plántulas. Semilla germinada en agua (◆) y en presencia de Doblete Super 0.006 µL/mL (▲).....	105

Lista de Figuras

Figura		Página
96	Cinética de crecimiento de plántulas de amaranto Mercado. Las determinaciones fueron a partir de los seis días después de la siembra de la semilla germinada. Cada determinación representa el promedio de cinco plántulas. Semilla germinada en agua (◆) y en presencia de Doblete Super 0.006 $\mu\text{L}/\text{mL}$ (▲).....	105
97	Cinética de crecimiento de plántulas de amaranto Nepal. Las determinaciones fueron a partir de los seis días después de la siembra de la semilla germinada. Cada determinación representa el promedio de cinco plántulas. Semilla germinada en agua (◆) y en presencia de Doblete Super 0.006 $\mu\text{L}/\text{mL}$ (▲).....	106
98	Cinética de crecimiento de plántulas de amaranto Tulyehualco. Las determinaciones fueron a partir de los seis días después de la siembra de la semilla germinada. Cada determinación representa el promedio de cinco plántulas. Semilla germinada en agua (◆) y en presencia de Doblete Super 0.006 $\mu\text{L}/\text{mL}$ (▲).....	106
99	Cinética de crecimiento de plántulas de amaranto C. Tulyehualco. Las determinaciones fueron a partir de los seis días después de la siembra de la semilla germinada. Cada determinación representa el promedio de cinco plántulas. Semilla germinada en agua (◆) y en presencia de Doblete Super 0.006 $\mu\text{L}/\text{mL}$ (▲).....	107
100	Cinética de crecimiento de plántulas de amaranto C. Mixteca. Las determinaciones fueron a partir de los seis días después de la siembra de la semilla germinada. Cada determinación representa el promedio de cinco plántulas. Semilla germinada en agua (◆) y en presencia de Doblete Super 0.006 $\mu\text{L}/\text{mL}$ (▲).....	107
101	Longitud y coloración de las hojas de seis fenotipos de amaranto indicados a los 27 días después de la siembra de las plantas generadas a partir de semilla germinada en agua. En cada caso, el aspecto del haz es la primera hoja y el envés la segunda.....	111
102	Longitud y coloración de las hojas de seis fenotipos de amaranto indicados a los 27 días después de la siembra de las plantas generadas a partir de semilla germinada en la concentración 0.006 $\mu\text{L}/\text{mL}$ de herbicida Doblete Super. En cada caso, el aspecto del haz es la primera hoja y el envés la segunda.....	112

Lista de Figuras

Figura		Página
103	Aspecto de los sobrenadantes de medio gastado de los cultivos de las cepas bacterianas de <i>P. fluorescens</i> utilizadas Ca7, Ca9m y Cavm. A) Aspecto de los cultivos desarrollados en 3 mL de medio B de King líquido B) Aspecto de los sobrenadantes de medio gastado de los cultivos desarrollados en el medio B de King líquido. C) Aspecto de estos sobrenadantes de medio gastado observados bajo luz ultravioleta.....	113
104	Aspecto de las plantas de amaranto Línea 1 en campo obtenidas a los 114 días.....	118
105	Aspecto de las raíces y tallos de los fenotipos de amaranto Línea 1 obtenidas a los 114 días.....	119
106	Aspecto de las plantas de amaranto Mercado en campo obtenidas a los 49 días.....	120
107	Aspecto de las raíces y tallos de los fenotipos de amaranto Mercado obtenidas a los 49 días.....	121
108	Aspecto de las plantas de amaranto Nepal en campo obtenidas a los 97 días.....	122
109	Aspecto de las raíces y tallos de los fenotipos de amaranto Nepal obtenidas a los 97 días.....	123
110	Aspecto de las plantas de amaranto Tulyehualco en campo obtenidas a los 114 días.....	124
111	Aspecto de las raíces y tallos de los fenotipos de amaranto Tulyehualco obtenidas a los 114 días.....	125
112	Aspecto de las plantas de amaranto Criolla Tulyehualco en campo obtenidas a los 114 días.....	126
113	Aspecto de las raíces y tallos de los fenotipos de amaranto Criolla Tulyehualco obtenidas a los 114 días.....	127
114	Aspecto de las plantas de amaranto Criolla Mixteca en campo obtenidas a los 114 días.....	128
115	Aspecto de las raíces y tallos de los fenotipos de amaranto Criolla Mixteca obtenidas a los 114 días.....	129

CARACTERIZACIÓN DE SEIS GENOTIPOS DE AMARANTO (*Amaranthus hypochondriacus* L.) MEDIANTE LOS PATRONES DE GERMINACIÓN DE LA SEMILLA EXPUESTA A HERBICIDAS, ÁCIDO SALICÍLICO Y COMPUESTOS ANÁLOGOS, SULFATO DE COBRE Y CARENCIA DE HIERRO

Hebert Jair Barrales Cureño, M. C.
Colegio de Postgraduados, 2007

Resumen

En México, existen algunas variedades seleccionadas de amaranto (*A. hypochondriacus*) para las zonas templadas como la Línea 1, Mercado, Nepal, Azteca y Mexicano, así como algunas razas criollas como la Tulyehualco y la Mixteca, que por sus características agronómicas y potencial de rendimiento son de las más importantes. El aprovechamiento del amaranto es integral por utilizarse el grano y la planta como verdura y forraje. Las variedades de amaranto Línea 1, Mercado, Nepal, Tulyehualco, Criolla Tulyehualco y Criolla Mixteca fueron caracterizadas para diferenciar a cada una de estas variedades de las demás de acuerdo a características físicas: peso de 100 semillas y patrón de imbibición; así como características fisiológicas de la semilla: cinética y velocidad de germinación (T_{50}) y acumulación de biomasa. También se determinó cuáles de éstos son los más seguros y a la vez confiables para tal fin, en primer término y cuáles de estos criterios son los más prácticos y sencillos para determinar. Los resultados obtenidos permitieron definir que: ninguno de los criterios fue capaz de diferenciar a plenitud a cada uno de los fenotipos de los demás. La diferenciación de 5 variedades de las 6 se logró mediante el patrón de imbibición para diferenciar Nepal, Tulyehualco, Criolla Tulyehualco y Criolla Mixteca entre sí, mientras que Línea 1 y Mercado presentaron el mismo patrón. El criterio de germinación en presencia del herbicida Doble Super, en cambio, permitió diferenciar a Mercado, Nepal Tulyehualco y Criolla Tulyehualco entre sí, pero Línea 1 y Criolla Mixteca presentaron el mismo patrón de germinación. La diferenciación de 4 variedades de las 6 se logró mediante el criterio físico peso de 100 semillas el cual permitió diferenciar a Línea 1 y Criolla Tulyehualco entre sí, en tanto que Mercado y Tulyehualco así como Nepal y Criolla Mixteca presentaron pesos similares. El criterio de germinación en presencia de ácido sulfosalicílico permitió diferenciar a Mercado, Nepal y Criolla Tulyehualco entre sí, en cambio Línea 1, Tulyehualco y Criolla Mixteca presentaron el mismo patrón de germinación. El criterio velocidad de germinación en presencia de ácido salicílico permitió diferenciar a Línea 1 y Criolla Tulyehualco entre sí, mientras que Tulyehualco y Criolla Mixteca así como Mercado y Nepal presentaron velocidades de germinación similares. El criterio de germinación en presencia de ácido sulfosalicílico permitió diferenciar a Línea 1, Mercado y Criolla Tulyehualco entre sí, mientras que Nepal, Tulyehualco y Criolla Mixteca presentaron velocidades similares. El criterio de germinación en presencia de Ca7 (carencia de hierro) permitió diferenciar a Mercado, Nepal y Criolla Tulyehualco entre sí, pero la Línea 1, Tulyehualco y Criolla Mixteca presentaron el mismo patrón de germinación. El criterio longitud de plántulas a las 72 h permitió diferenciar a Línea 1, Criolla Tulyehualco y Criolla

Mixteca entre sí, pero la Mercado, Nepal y Tulyehualco presentaron longitudes similares. La diferenciación de 3 variedades de las 6 se logró mediante el criterio de germinación en presencia del herbicida Hierbamina y 2,4-D el cual permitió diferenciar a Línea 1 y Criolla Tulyehualco entre sí, mientras que Mercado, Nepal, Tulyehualco y Criolla Mixteca presentaron el mismo patrón de germinación. El criterio de germinación en presencia de ácido salicílico permitió diferenciar a Criolla Tulyehualco, mientras que Línea 1, Tulyehualco y Criolla Mixteca así como Mercado y Nepal presentaron el mismo patrón de germinación. El criterio velocidad de germinación en presencia de ácido acetilsalicílico permitió diferenciar a Línea 1 y Criolla Tulyehualco, pero no a Mercado, Nepal, Tulyehualco y Criolla Mixteca que presentaron velocidades similares. El criterio longitud de plántulas efectuada a las 96 h permitió diferenciar a Criolla Tulyehualco, en cambio Línea 1, Mercado y Tulyehualco, así como Nepal y Criolla Mixteca presentaron longitudes similares. El criterio número de panojas y peso de raíz permitió diferenciar a Nepal y Mercado entre sí, mientras que Línea 1, Tulyehualco, Criolla Tulyehualco y Criolla Mixteca presentaron número de panojas y peso de raíces similares. El criterio peso de tallo permitió diferenciar a Nepal, Mercado y Criolla Tulyehualco entre sí, mientras que Línea 1, Tulyehualco y Criolla Mixteca presentaron peso de tallo similar. El criterio relación raíz/tallo permitió diferenciar a Nepal y Criolla Mixteca, Línea 1 y Tulyehualco y Mercado y Criolla Tulyehualco entre sí. De los 54 criterios utilizados, únicamente 20 no permitieron la diferenciación de ninguna de las variedades. Finalmente, los criterios más confiables y prácticos de determinar fueron: el peso de 100 semillas, el color, la determinación de la germinación, la longitud de las plántulas y el peso de materia seca y el criterio que requiere más tiempo y mayor manipulación de la semilla, pero también confiable, fue la velocidad de germinación (T_{50}).

Palabras clave: Calidad de semilla, germinación, T_{50} , vigor, sideróforos.

CHARACTERIZATION OF SIX GENOTYPES OF AMARANTH (*Amaranthus hypochondriacus* L.) THROUGH THE PATTERNS OF GERMINATION OF THE SEEDS IN THE PRESENCE OF HERBICIDES, ACID SALICILIC AND COMPOUND SIMILAR, COPPER SULPHATE AND LACK OF IRON

Hebert Jair Barrales Cureño, M. C.

Colegio de Postgraduados, 2008

Abstract

In Mexico, there are varieties selected from amaranth (*A. hypochondriacus* L.) which grow in the temperate zone, like Line 1, Mercado, Nepal, Aztec and Mexican, as well as some landraces Creole Tulyehualco and Creole Mixtec, which by their agronomic traits and yield potential are among the most important. The use of amaranth is integral used by the grain and plant as a vegetable and fodder. The varieties of amaranth Line 1, Mercado, Nepal, Tulyehualco, Creole Tulyehualco and Creole Mixtec were marked to distinguish each of these varieties of the other according to physical characteristics: weight of 100 seeds and pattern of imbibition, as well as physiological characteristics the seed: kinetics and speed germination (T_{50}) and biomass accumulation. It was also determined which of these are the most secure and reliable time for that purpose in the first place and what these criteria are the most practical and simple to determine. The results have defined that: none of the criteria was fully capable of differentiating each of the phenotypes of others. Differentiation of 5 varieties of 6 was achieved by the pattern of imbibition we could differentiate Nepal, Tulyehualco, Creole Tulyehualco and Creole Mixtec among themselves, while Line 1 and Mercado submitted the same pattern. The criterion for germination in the presence of the herbicide Super doublet, however, allowed to differentiate Mercado, Nepal Tulyehualco and Creole Tulyehualco among themselves, but Line 1 and Creole Mixtec presented the same pattern of germination. Differentiation of 4 varieties of 6 was achieved through the physical test weight of 100 seeds which enabled differentiate Line 1 and Creole Tulyehualco among themselves, while Mercado and Tulyehualco well as Nepal and Creole Mixtec presented similar weights. The criterion for germination in the presence of sulphosalicylic acid allowed to differentiate Mercado, Nepal and Creole Tulyehualco among themselves, while Line 1, Tulyehualco and Creole Mixtec presented the same pattern of germination. The approach speed germination in the presence of salicylic acid allowed to differentiate Line 1 and Creole Tulyehualco among themselves, while Tulyehualco and Creole Mixtec and Mercado and Nepal had similar speeds germination. The criterion for germination in the presence of sulphosalicylic acid allowed to differentiate Line 1, Mercado and Creole Tulyehualco among themselves, while Nepal, Tulyehualco and Creole Mixtec presented similar speeds. The criterion for germination in the presence of Ca7 (iron deficiency) allowed differentiate Mercado, Nepal and Creole Tulyehualco among themselves, while Line 1, Tulyehualco and Creole Mixtec presented the same pattern of germination. The standard length of seedlings at 72 h allowed to differentiate Line 1, Creole Tulyehualco and Creole Mixtec among themselves, while Mercado, Nepal and Tulyehualco

presented similar lengths. Differentiation of 3 varieties of 6 was achieved by the standard germination in the presence of the herbicide Hierbamina and 2,4-D which allowed differentiate Line 1 and Creole Tulyehualco among themselves, while Mercado, Nepal, Tulyehualco and Creole Mixteca presented the same pattern of germination. The criterion for germination in the presence of salicylic acid allowed to differentiate Creole Tulyehualco, while Line 1, Tulyehualco and Creole Mixtec and Mercado and Nepal presented the same pattern of germination. The approach speed germination in the presence of acetylsalicylic acid allowed to differentiate Line 1 and Creole Tulyehualco, while Mercado, Nepal, Tulyehualco and Creole Mixtec presented similar speeds. The standard length of seedlings made at 96 h allowed to differentiate Creole Tulyehualco, while Line 1, Mercado and Tulyehualco, as well as Nepal and Creole Mixtec presented similar lengths. The criterion panicles number and weight of root allowed to differentiate between Nepal and market it, while Line 1, Tulyehualco, Creole Mixtec and Creole Tulyehualco presented panicles number and weight of similar roots. The test weight of differentiating stem allowed to Nepal, Market and Creole Tulyehualco among themselves, while Line 1, Tulyehualco and Creole Mixtec presented weight stem similar. The criterion regarding root/stem allowed to differentiate Nepal and Creole Mixtec, Line 1 and Tulyehualco and Market and Creole Tulyehualco one another. Of the 54 criterias used, only 20 did not allow differentiation none of the varieties. Finally, the most reliable but also to identify practical procedure were: the weight of 100 seeds, color, germination determination, seedling length and the weight of dry matter and approaches that require more time and more manipulation of the seed, but also reliable, it was the speed of germination (T_{50}).

Keywords: Quality of seed, germination, T_{50} , force, siderophores.

I. INTRODUCCIÓN

En México, existen algunas variedades seleccionadas de amaranto (*A. hypochondriacus*) que por sus características agronómicas y potencial de rendimiento son importantes como: Línea 1, Mercado, Nepal, Azteca y Mexicano, así como algunas razas criollas como Criolla Tulyehualco y Criolla Mixteca. El aprovechamiento del amaranto es integral por utilizarse como grano, verdura o forraje. Pero el principal objetivo de este cultivo es para la producción de semilla, cuyo rendimiento está determinado por el genotipo, el manejo del cultivo, las condiciones ecológicas (Espitia, 1991a), resistencia a sequía, plagas y a su adaptación en diferentes tipos de climas y suelo (Casillas, 1990).

El grano, es un valioso complemento de los cereales y leguminosas debido al alto contenido de proteína y de ciertos aminoácidos esenciales ausentes en otros granos (Olguín, 1991). Esta proteína se acerca a la ideal (FAO, 1975) y tiene una proporción de aminoácidos aceptable, en particular de L-lisina, la cual, en los cereales es deficiente. El grano contiene de 15-17% de proteína y 48-69% de almidón. Existen variedades que tienen almidón ceroso, es decir, rico en amilopectina, lo que le da un comportamiento especial para usarse como ingrediente alimentario, además posee un contenido relativamente alto de ácidos grasos siendo de 6-10% como el escualeno, grasa que hasta ahora se obtenía especialmente de tiburones y ballenas. El aceite de amaranto es de buena calidad y su contenido es superior al del maíz; contiene altos niveles de ácido linoleico, ácido graso esencial precursor de prostaglandinas, cuya función es análoga a la de las hormonas. El aceite no tiene colesterol y las semillas prácticamente no tienen factores antinutricionales, tan frecuentes en leguminosas como la soya (SDR, 2007).

El amaranto es un cultivo tradicional en los valles altos de México con alto potencial agrícola e industrial, siendo una opción viable con énfasis en zonas de baja o poca tecnología (Espitia *et al.*, 1992). Los principales estados productores de amaranto son: Morelos, Puebla, Distrito Federal y Tlaxcala (SAGARPA, 2003). Actualmente la producción en la zona rural del Distrito Federal es en promedio de 250 t de semilla de amaranto, en una superficie cultivada de aproximadamente 200 ha; el tamaño de las parcelas oscila de 0.5 a 1.0 ha, y el rendimiento promedio de producción por hectárea es de 1.27 t (Sistema Producto Amaranto).

Las especies cultivadas son *A. hypochondriacus* en el noroeste y centro de México y *A. cruentus* en el sureste de México y en Centroamérica. Estas especies crecen satisfactoriamente desde el nivel del mar hasta los 3 200 msnm, en lugares semicálidos con temperaturas de 29°C y en localidades templadas con temperaturas medias anuales de 14°C donde las precipitaciones son de 400 a 1 300 mm anuales. La temperatura óptima para la germinación es de 16 a 35°C. (National Research Council, 1984).

Las zonas de producción y cultivo de amaranto son las mismas que las de la época precolombina, siendo Puebla el mayor productor del mismo con el 51 % de la producción total nacional, entidad a la que le siguen los estados de Morelos, Tlaxcala, Distrito Federal, México y Guanajuato, con el 22, 18, 19, 6 y 2%, respectivamente. En 2006, dos grandes empresas de transformación de alimentos, Bimbo y Kellog's, iniciaron sus operaciones con amaranto las cuales demandaron alrededor de 1 500 t de grano. Dentro de los estados productores, Puebla ocupa el primer lugar aportando más de 50% del total nacional (SDR, 2007).

También, se cultiva amaranto en otros países como Ecuador, Perú, Bolivia, Argentina, y Guatemala bajo distintos sistemas de producción que van desde siembra directa, transplante, bajo riego o temporal; siembras asociadas, intercaladas, como bordes y monocultivos, dependiendo de las condiciones ambientales y locales (Early, 1986). China actualmente es el país que cultiva la mayor extensión de amaranto: en 1998 se sembraron 150,000 ha, y actualmente cuentan con una importante colección de germoplasma localizada en el Institute of Crop Germplasm Resources, en Beijing. En otros países de Asia y África las diferentes especies de *Amaranthus* son utilizadas fundamentalmente como verduras en la preparación de muy variados platillos (Becerra, 2000). Para el cultivo de amaranto, la calidad de semilla es trascendental para los agricultores y para la industria semillera, ya que una semilla de alta calidad es un factor determinante en la elaboración de un producto y en la rentabilidad final de un negocio agropecuario vinculado a la producción. La semilla de amaranto se comercializa mejor con una pureza garantizada y sin semilla de calidad ningún sistema es sustentable. Los análisis de la germinación de la semilla de amaranto pueden ser establecidos mediante indicadores rápidos, confiables, repetitivos y con un costo económico bajo.

En el Colegio de Postgraduados se llevan a cabo investigaciones para generar fenotipos seleccionados de amaranto y a largo plazo, variedades. La presente investigación tiene los objetivos e hipótesis siguientes:

OBJETIVO GENERAL

1. Caracterizar seis fenotipos de amaranto (*A. hypochondriacus* L.), que actualmente se consideran adaptables y de buena productividad en la parte alta de México. Estas son Línea 1, Mercado, Nepal, Tulyehualco, Criolla Tulyehualco y Criolla Mixteca mediante los patrones de germinación, velocidad de germinación, emergencia de semilla sometida a germinación en presencia de herbicidas, ácido salicílico y compuestos análogos, sulfato de cobre y carencia de hierro.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Caracterizar la semilla de amaranto de los seis fenotipos seleccionados mediante pruebas de calidad física y fisiológica.

2. Determinar el grado de susceptibilidad de la semilla de seis fenotipos de amaranto en la germinación y emergencia de plántulas, a diferentes concentraciones de los herbicidas Doble Super, Hierbamina Comercial y ácido 2,4-diclorofenoxiacético utilizando como criterios la germinación total y la emergencia de plántulas.
3. Determinar el grado de susceptibilidad de la semilla de los seis fenotipos de amaranto al ácido acetilsalicílico, ácido salicílico y ácido sulfosalicílico, utilizando como criterios la germinación total y vigor de plántulas de amaranto.
4. Determinar el grado de susceptibilidad de la semilla de los seis fenotipos de amaranto al CuSO_4 y a la presencia de tres cepas bacterianas productoras de sideróforos utilizando como criterios la germinación total.

HIPÓTESIS

1. Es factible diferenciar a los seis fenotipos de amaranto basándose en el comportamiento de la germinación de la semilla y el vigor de las plántulas.
2. El someter la semilla de amaranto a condiciones de estrés (germinación en presencia de herbicidas, ácido salicílico, ácido acetilsalicílico, ácido sulfosalicílico, CuSO_4 y carencia de hierro) permitirá diferenciar de manera más precisa a los seis fenotipos de amaranto.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Antecedentes históricos

El uso del amaranto data de 8,000 a 4,000 años a. C. siendo los Mayas quienes lo domesticaron y lo convirtieron en un cultivo de rendimiento comparativamente alto (Peña, 1997). El amaranto de grano se domesticó en América hace más de 4,000 años por las culturas precolombinas y posiblemente se difundió a otras partes del mundo. Fue cultivado y utilizado junto al maíz, frijol y calabaza por los Aztecas en el valle de México (en rituales del Sol Nuevo, en el templo de Tenochtitlan), por los Mayas en Guatemala y por los Incas en Sudamérica tanto en Perú, Bolivia como Ecuador junto a la papa, maíz y quinua. Las hojas de amaranto como verdura de hoja fueron utilizadas en América y en otras partes del mundo desde la prehistoria, incluso desde mucho antes de su domesticación como lo demuestran las excavaciones arqueológicas, ya que en muchas zonas tropicales y subtropicales el amaranto era una planta importante de recolección sobre todo por sus hojas (Transue, 1994).

2.2 Importancia del amaranto

El amaranto es una planta originaria de América, cuya calidad y cantidad de aminoácidos lo convierte en un alimento excelente, sobre todo porque posee un alto valor nutritivo, es decir, un alto contenido proteico y una buena proporción de aminoácidos, dado indudablemente por la L-lisina, aminoácido esencial en la nutrición humana y deficiente en la proteína de los cereales. Las hojas se aprovechan como hortalizas y sus semillas en calidad de cereal. Las especies silvestres se empleaban como verduras, llegando a constituir una fuente de energía, por su alto contenido en proteínas, minerales y vitaminas. A nivel internacional se le conoce con distintos nombres como alegría, Kiwicha, icapachi, sangorache e ilmi.

Además el amaranto se adapta a diversos climas; su cultivo es fácil y puede ofrecer rendimientos aceptables. El amaranto es una planta de excelente follaje y abundantes semillas, por lo que resulta altamente recomendable promover el aprovechamiento alimentario de sus semillas, hojas y tallo, dada la extraordinaria composición química de todas sus partes de la planta (Saina, 1973) y el bajo costo tanto de su cultivo como de su procesamiento a nivel rural. El valor alimenticio de la semilla de amaranto es superior a cinco alimentos importantes: maíz, trigo, frijol, cacahuate y leche de vaca.

Las semillas de amaranto han sido reconocidas por su calidad nutritiva, puede ser un excelente complemento nutricional de la dieta humana y animal. Además, el amaranto es un cultivo con potenciales de rendimiento de 4000 Kg ha⁻¹. El contenido de proteína de los granos fluctúa entre 12 y 19 % y destaca por la alta concentración de aminoácidos esenciales, tales como lisina, metionina y triptófano, presentando un perfil de aminoácidos bien balanceado, de mejor calidad que el de los cereales. El almidón se almacena en el perisperma y representa entre 48 y 69 % de la semilla.

El amaranto contiene un bajo contenido de amilasa, de 5-8 %, con respecto a cereales como el trigo, que contiene tres veces más. Por ello, las propiedades físico-químicas de los almidones del amaranto son diferentes (Lorenz, 1981) y hacen que sea inadecuado para la panificación, por no presentar gluten en el grano. Al no contener gluten éste es especialmente indicado para personas celíacas (alérgicas al gluten) (<http://www.latinsalud.com>). Las plantas de amaranto se utilizan como ornamentales por sus colores atractivos y se menciona que algunas especies son medicinales (Casillas, 1986).

2.3 Distribución geográfica

El amaranto tiene una distribución cosmopolita, pues las características de clima, suelo y geografía donde prospera son muy diversas. De esta manera, se puede localizar desde el nivel del mar, donde predominan las zonas con clima cálido húmedo y subhúmedo hasta regiones altas (más de 2,500 msnm) con clima templado húmedo, subhúmedo, semiárido y árido. Latitudinalmente se distribuye desde el Ecuador hasta 30° en ambos hemisferios, lo que revela su potencialidad para adaptarse a diferentes ambientes y su resistencia a la sequía.

En América existen varias regiones donde el amaranto se cultiva para grano: México, suroeste de los Estados Unidos, Guatemala, Bolivia, Perú, Argentina y Chile. En Asia existe una zona de distribución para el amaranto de grano, que va desde Manchuria en el interior de China y del Himalaya hasta Afganistán y Persia en donde predominan *A. leucocarpus* y *A. caudatus*. En Europa, principalmente en España, Inglaterra, Hungría y Alemania, todas las especies de *Amaranthus* se esparcen en los terrenos cultivados, en los escombros, sobre los bordes de los caminos (Ramírez, 2005). En Oceanía se ha encontrado en Nueva Guinea y Australia *A. gangeticus*. En México se ha cultivado en diferentes regiones fisiográficas, crece bien en casi todos los tipos de suelos, desde el arenoso hasta el arenoso-calizo y humíferos (Ralph, 1950). El amaranto se puede encontrar como planta silvestre o cultivada en regiones como la Sierra Madre Occidental, Llanura Costera del Golfo de California, Altiplanicie Mexicana y Sierra Madre del Sur. En tiempos precolombinos *A. cruentus* se encontraba desde el Norte de México a América Central, *A. hypochondriacus* compartía su distribución con *A. cruentus* sólo que ésta comenzaba en el suroeste de Estados Unidos y a diferencia de las otras dos especies, la distribución de *A. caudatus* se encontraba dirigida a la zona andina sudamericana (Transue et al., 1994).

2.4 Características generales de la familia *Amaranthaceae*

2.4.1 Clasificación sistemática del amaranto

La familia *Amaranthaceae* comprende más de 60 géneros y alrededor de 800 especies. La clasificación sistemática designada es la siguiente:

Cuadro 1. Clasificación sistemática del amaranto (Mapes, 1997).

Reino	<i>Plantae</i>
Subreino	<i>Embriofitas</i>
División	<i>Magnoleophyta</i>
Clase	<i>Magnoleopsida</i>
Subclase	<i>Caryophyllidae</i>
Orden	<i>Caryophyllales</i>
Familia	<i>Amarantaceae</i>
Género	<i>Amaranthus</i>
Subgénero	<i>Acnida</i> (dioica) y <i>Amaranthus</i> (monoica)

Por su gran diversidad genética, plasticidad fenotípica y alta capacidad de hibridación, han surgido numerosas especies, variedades o razas agronómicas. Desde los primeros intentos de clasificación de las especies de amaranto, no existió unidad de criterios entre los taxónomos (Feine, 1980) y este problema se resolvió con la creación de claves, basadas en trabajos de investigación de Grubben (1980), donde las estructuras florales fueron las principales características botánicas que se utilizaron para la clasificación de esta planta (Huang, 1980). Al respecto, Sauer (1967) menciona que las dificultades en la clasificación taxonómica se atribuyen a la extrema plasticidad botánica que presentan las variedades por efecto de los cambios ambientales.

Para facilitar su ubicación, diferentes investigadores agruparon a las especies de amaranto de acuerdo con la región de procedencia y condiciones climáticas en las cuales se desarrollan. Las especies de amaranto de grano de Arizona comprenden a los siguientes géneros: *A. caudatus*, *A. cruentus*, *A. leucocarpus*, *A. powellii* y *A. retroflexus*; de México: *A. hypochondriacus*, *A. caudatus*, *A. cruentus*, *A. hybridus*, *A. leucocarpus* y *A. paniculatus*; de Sudamérica: *A. caudatus*, *A. edulis*, y *A. leucosperma*, de Asia: *A. anardana*, *A. caudatus*, *A. celosiodes*, *A. cruentus*, *A. farinaseus*, *A. flavus*, *A. frumentaceus*, *A. hybridus*, *A. hypochondriacus*, *A. paniculatus*, *A. sanguineus*, *A. especious* y *A. strictu*; y de África: *A. alopecurus* y *A. caudatus* (Pal, 1972). Espitia (1994) expone que la clasificación más apropiada para los tipos de grano es el de razas, debido a que cada raza tiene una distribución geográfica definida y se han desarrollado bajo diferentes condiciones agroclimáticas, lo que ha hecho que la evolución de cada una de ellas haya sido diferente.

2.4.2 Características morfológicas y anatómicas

Las plantas de amaranto (Figura 1) presentan las siguientes características morfológicas: raíz pivotante, con abundante número de raicillas y una longitud aproximada de 30 a 40 cm; tallo erecto, algunos con estrías longitudinales bien marcadas y de color morado, fibroso y succulento; su altura varía de 0.80 a 3.0 m; el tallo mide unos 2.5 cm de grosor y se adelgaza hacia su extremidad superior; se ramifica desde la base, las

ramificaciones nacen en las axilas de las hojas; estas presentan de 14 a 18 cm de longitud y de 3 a 5 cm de grosor, su estructura es alterna y están distribuidas en toda la extensión del tallo, hasta el ápice.



Figura 1. Aspecto de plantas de amaranto cultivadas.
Fuente: www.wikipedia.org.

Su inflorescencia es una panoja muy vistosa y se produce en racimos compuestos en forma de espigas en la región apical y en los tallos secundarios; su color presenta tonalidades que van desde morado, verde, hasta dorado; la inflorescencia presenta flores masculinas y femeninas, unisexuales, agrupadas en glomérulos, las femeninas se encuentran alrededor de una flor masculina y la semilla es anular, lenticular esférica, de color negra, roja, blanca o café oscura, con el embrión enrollado alrededor de un endospermo amiláceo (Bailey, 1914).

El fruto fue descrito por Feine (1980) como un pixidio (cápsula pequeña) con dehiscencia irregular que se abre transversalmente y contiene una sola semilla, es algo aplanada y de diámetro entre 1 y 2 mm; la semilla de este fruto varía de 0.06 a 0.09 g por 100 semillas, o sea de 0.6 a 0.9 mg por semilla.

La estructura de la semilla madura presenta una cubierta con dos capas celulares que son la exotesta y el endotegumento, posee engrosamientos fibriales en su pared en forma de bandas. El embrión maduro es curvo con dos cotiledones y abundantes cuerpos de proteínas. El desarrollo de su endospermo es de tipo libre embrionario y, cuando la semilla está madura, se moviliza hacia la radícula y los cotiledones. En el centro de la semilla se distingue un perispermo amiláceo del tipo "Waxy" o ceroso (Suárez *et al.*, 1991). Por los aspectos embriológicos del desarrollo estructural de la semilla y la canalización histoquímica de proteínas, lípidos y carbohidratos, se determinó que el óvulo del amaranto es campilótropo, bitegónico, basal, funiculado y crasinucilado; el óvulo maduro carece del espacio de aire entre los tegumentos (Suárez *et al.*, 1991).

Las semillas de amaranto tienen una amplia gama de coloraciones; en general, las semillas oscuras son características de las plantas ornamentales y de las especies silvestres y las semillas blancas de las plantas productoras de grano. Otras características son la rugosidad y ornamentación en la testa. Por ejemplo, la testa de las semillas negras del *A. hypochondriacus*, tipo Mixteca, es más gruesa y rugosa que la de las semillas blancas de la misma especie; en cambio, las semillas del *A. cruentus* no presentan rugosidades en la superficie del canto de la testa, como se puede observar en las semillas del *A. hypochondriacus*, tipo Mercado. En cuanto a las características morfológicas de los granos de polen, éstos son similares dentro de cada especie en el diámetro de los poros superficiales. La total ausencia o infertilidad de los granos de polen son indicios de la distante afinidad genética entre dos especies simpátricas que entre dos que tienen su centro de origen distante; la haploidía de un poliploide podría ser un recurso para recuperar la fertilidad.

Los estudios recientes sobre los caracteres anatómicos han determinado que el amaranto posee una lámina foliar con estomas en ambos lados, haz y envés, de tipo anomicético y estructura "Kraus", pecíolos con haces vasculares, independientes o asociados que forman un arco en media luna; tallo con abundante colénquima como tejido de soporte y, como rasgo más notorio, un crecimiento secundario anómalo en el sistema vascular; las raíces presentan segmentos de crecimiento secundario en donde los haces vasculares están organizados a manera de radio, derivándose de un sistema vascular diario a partir de los estadios juveniles (Bardales *et al.*, 1991).

2.4.3 Características generales de cultivares y variedades

El subgénero *Amaranthus* L. posee dos secciones: 1. *Blitopsis*, que muestra inflorescencias pequeñas y axilares de crecimiento determinado y una terminal muy pequeña, flores bímeras o trímeras, con un utrículo dehiscente irregular y 2. *Amaranthus*, con inflorescencias grandes y terminales de crecimiento indeterminado, flores pentámeras con un utrículo dehiscente y circunsésil (Covas, 1991).

La sección *Blitopsis* agrupa las especies *A. tricolor*, *A. lividus* y *A. viridis*, que son hortalizas de hoja, comunes en el este y suroeste de Asia, denominadas en el mundo occidental como "espinaca china", y se distinguen fácilmente de las productoras de grano por caracteres en el número de estambres, y el número y forma de los tépalos. Dentro de la sección *Amaranthus* está clasificado el *A. hypochondriacus* L., que consta de diferentes razas o tipos: Azteca, Mercado, Nepal y Mixteca. De la raza Azteca se han derivado varias selecciones: Tulyehualco, Línea 1, Línea 2 y Nutrisol; y de la raza Mercado se derivó la selección Frondosa. El *A. cruentus* L. comprende las razas o tipos: Mexicano, Africano y Guatemalteco; el *A. caudatus*, la raza Sudamericana y el *A. mantegazzianus* Pass, la raza *Mantegazzianus* o *Eduilis*, también de Sudamérica.

El *A. hypochondriacus* es la especie mejor definida taxonómicamente y existen múltiples estudios de esta especie en diversas áreas de la agronomía (Trinidad *et al.*, 1986; Tabeada, 1999), la ecofisiología (Naidú, 1982 citado por Díaz, 1994), la bioquímica (Velásquez, 1990), la anatomía (Bardales *et al.*, 1991) y la etnobotánica (Granados, 1986). Esta especie es una planta anual, herbácea, de tallo simple o ramificado; alcanza alturas de hasta 3 metros. Las hojas son simples, alternas, elípticas u ovado-oblongas y presentan ápice agudo acuminado y base cuneada o aguda.

La inflorescencia es de gran tamaño, con panículas y espigas laterales muy densas, erectas y espinosas. Las flores femeninas son pentámeras, con tépalos ligeramente curvados y más largos que los tépalos de las otras especies para producción de grano; la semilla es de color blanco, dorado, café y negro. Se utiliza como ornamental por sus inflorescencias que son muy vistosas (Mapes, 1997).

2.4.4 Características agronómicas de las principales variedades de *A. hypochondriacus*

***A. hypochondriacus* L. raza Azteca.** Se distribuye geográficamente en distintas zonas de México y en lugares aledaños a los volcanes de Tlaxcala y Puebla, y en Estados Unidos de América, en Pensilvania. Su ciclo biológico se clasifica como tardío y requiere entre 170 y 180 días para llegar a su madurez fisiológica (170 días en Chapingo, Estado de México). Alcanza alturas de hasta 3 m, su tallo es verde, con estrías de color púrpura y hojas elípticas de diversos colores. La inflorescencia puede alcanzar hasta 1 m de longitud y su color varía de verde a rosa, rojo y púrpura; tiene un promedio de 80 a 150 panículas erectas y puede producir un efecto espinoso al tacto, debido a que las brácteas son largas y puntiagudas, mayores que el utrículo. Presenta baja dehiscencia de la semilla, promedia alrededor de 100 gramos de semilla por planta y se considera de alto potencial de rendimiento. Esta raza presenta menor número de ramificaciones laterales (Espitia, 1994).

El *A. hypochondriacus* L., raza Azteca, selección Tulyehualco. Es una planta cultivada en el área de Tulyehualco y Xochimilco, en México, D.F., alcanza alturas de 2 a 2.5 m, el tallo es fuerte y con estrías rojizas; el color de la inflorescencia varía de verde a ligeramente rosada. Emite pequeñas ramas o bajas densidades de siembra y a altas densidades prácticamente no tiene ramas, observándose una sola panícula compacta en el ápice de la planta; en los glomérulos se concentran cuatro o cinco flores femeninas, con una masculina en el centro; las brácteas son ligeramente más grandes que el utrículo. La semilla es de color blanco a crema y supera ligeramente al tamaño mediano. Su ciclo a la madurez fisiológica es de 180 a 190 días.

***A. hypochondriacus* L. raza Mercado.** Presenta alturas de hasta 2 m y su ciclo biológico es intermedio (140 días), su tallo y hojas son verdes, su inflorescencia central llega a medir 60 cm, desarrolla numerosas ramificaciones laterales y adquiere la apariencia de un arbusto, sobre todo a bajas densidades de siembra. Las brácteas son más cortas que el utrículo y de ápice obtuso, por lo que resulta suave al tacto. Sus semillas son blancas,

doradas y raras veces negras; no es una raza pura y se ubica geográficamente en zonas de transición entre las zonas templadas, frías y tropicales.

A. *hypochondriacus* L. raza Nepal. Se caracteriza por tener plantas que alcanzan de 0.8 a 1.2 m de altura; maduran en 135 días y emiten ramificaciones laterales, aunque existen colectas que sólo requieren 110 días para su maduración. La inflorescencia puede alcanzar 0.8 m de longitud y su color es variable (verdes, amarillas, doradas, salmón, rosas, rojas o púrpuras), las brácteas suelen ser mayores que los utrículos. Esta raza produce buenos rendimientos y sus semillas son de buena calidad industrial, de color blanco, dorado o marrón; es de origen asiático y está muy difundida en la India y Nepal.

A. *hypochondriacus* L. raza Mixteca. Se utiliza para verdura y grano, es similar a la raza Azteca pero su madurez fisiológica se prolonga de 180 a 220 días; puede llegar a medir hasta 3 m y se caracteriza porque en sus hojas se observa una mancha en forma de V invertida de la base a la punta. Las ramificaciones de la inflorescencia son delgadas y la panícula presenta de 100 a 170 espigas erectas y cada una tiene de 5 a 27 ramas. Las brácteas son más largas que el utrículo y las semillas son blancas, marrón oscuro o negras y su tamaño es chico a mediano. Es originaria de los estados de Puebla, Oaxaca y Michoacán y muestra alta sensibilidad al fotoperíodo (Espitia 1992a y 1992b).

2.4.5 Especies productoras de grano

Debido a que su semilla presenta una gran versatilidad y se utiliza en la preparación de diversos alimentos, además de tener un alto potencial de aplicación industrial, se consideran como especies productoras de grano: **a)** *A. hypochondriacus* L. Azteca, **b)** *A. hypochondriacus* L. Mercado, **c)** *A. hypochondriacus* L. Nepal, **d)** *A. hypochondriacus* L. Mercado, selección Frondosa, **e)** *A. hypochondriacus* L. Tulyehualco, **f)** *A. hypochondriacus* L. Mixteco y **g)** *A. cruentus* L. Mexicano. Las razas domesticadas productoras de grano como Azteca, Mercado, Nepal y Mexicano, a excepción de la Mixteca, translocan sus fotosintatos a las estructuras reproductoras en más del 50 % del total de la materia seca.

2.4.6 Especies productoras de verdura

Generalmente, las especies productoras de verdura utilizan gran parte de sus fotosintatos en la producción de follaje, algunas presentan menor tamaño que las cultivadas, hojas anchas, con inflorescencias pequeñas y baja producción de semillas (200 a 500 kg ha⁻¹). Las hojas son ricas en proteínas, vitaminas y minerales, el sabor es suave y semejante al de las espinacas; en varias partes del mundo, se hierven las hojas y tallos que se colectan hasta antes de la floración, pues cuando ocurre la floración el sabor es amargo. Las razas utilizadas como verdura tienen las siguientes características: a) ramificación en la base de la planta que permite formar una planta arbustiva sin tallo principal, b) inflorescencias axilares, c)

floración tardía, d) buena respuesta a cortes repetidos y d) reducción de la calidad del vegetal, cuando las flores emergen en forma temprana (Weber, 1987). Se considera que el tipo ideal para verdura deberá poseer una óptima relación hoja/tallo mayor que 1, aunque es importante aclarar que no existe una clara separación entre las especies de amaranto que se usan como verdura y las que se usan como grano, ya que las hojas tiernas de ambas se pueden consumir como verdura.

Radosevich *et al.* (1997) demostraron que las variedades productoras de verdura prolongan la producción de follaje. Mapes (1997), Martín (1979) y Daloz (1980) mencionan que las variedades productoras de grano también pueden utilizarse como verdura cuando sus plantas están pequeñas.

A. hypochondriacus L. productor de grano presenta floración en sus espigas a temprana edad de la panoja y destina una gran proporción de su biomasa (50%) al desarrollo de sus estructuras reproductivas. Este patrón es diferente hasta antes del desarrollo de la panoja, debido a que un alto porcentaje (60%) de la producción de su biomasa es utilizada en la producción de hojas.

Por el contrario, *A. hypochondriacus* L. especie semicultivada productora de verdura, presenta una floración retardada y sólo 12 % de la biomasa se destina a estructuras reproductivas. Mapes (1991) coinciden en que las variedades de verdura usan un bajo porcentaje de su biomasa en estructuras reproductivas, en comparación con las variedades de grano. Además de las razas *A. hypochondriacus* L. Mixteca, *A. cruentus* L. Mexicano y *A. cruentus* L. Africano, también las especies de semillas silvestres o arvenses que crecen en las diferentes regiones se consumen como verdura (Casas *et al.*, 1996).

2.4.7 Especies productoras de forraje

En general, los residuos de las cosechas (pajas) se utilizan para la alimentación del ganado, al igual que la planta en pie o cortada y henificada; estas formas de forraje son ricas en proteína. Para la producción de forraje se consideran excelentes las variedades de *A. hypochondriacus* L. raza Mercado y *A. hypochondriacus* L. raza Mercado selección Frondosa, por su alta producción de biomasa. Según observaciones de campo la selección Frondosa tiene posibilidades de rebrote en el trópico húmedo, por lo que acepta dos a tres cortes durante el año para la producción de forraje.

Los rendimientos en materia seca fueron de 3 a 4 t ha⁻¹ por corte y de 90 a 100 t ha⁻¹ por año de materia verde, los cuales comparados con los rendimientos que ofrece la alfalfa, se consideran aceptables.

En una evaluación del uso de los tallos de amaranto de diversas especies como forraje, se encontró que en la etapa de floración contienen de 22 a 26 % de proteína, de 400 a 800 mg de calcio, de 50 a 90 mg de fósforo y de 18 a 25 mg de hierro en 100 g de tallo (Vera, 1986). Su valor bromatológico lo constituye, fundamentalmente, su alto contenido en calcio y vitaminas (C y

E). La cantidad de vitamina C varía de 62 a 228 mg/100 g de tallo, según las especies de amaranto (Kidway, 1969).

En cuanto al contenido de saponinas, presentes en la mayoría de los forrajes, se ha encontrado que sólo las leguminosas contienen cantidades apreciables que pueden causar irritación gastrointestinal, depresión del consumo de alimentos en monogástricos por baja palatabilidad, inhibición en procesos celulares metabólicos, inhibición de la tripsina, timpanismo en rumiantes y hemólisis de glóbulos rojos (Cervantes *et al.*, 1987). La intoxicación asociada con gastroenteritis, entre otros síntomas, se ha estudiado en diferentes cultivares de amaranto y se ha observado que presenta baja actividad hemolítica, sin embargo, no se recomienda utilizarlo como forraje a los tipos de amaranto que son malezas, ya que presentan alto contenido de saponinas.

2.4.8 Morfología de la semilla de amaranto

El grano de amaranto es pequeño y de forma lenticular, el diámetro de las semillas varía de 1.0 a 1.5 mm. El rango de color de la semilla se encuentra determinado por los pigmentos localizados en la cubierta de la semilla, variando generalmente del café claro al negro (Hauptli *et al.*, 1978). Irving *et al.*, (1981) al realizar estudios sobre la morfología del amaranto encontró que los principales componentes estructurales del grano son: procámbium, embrión (germen), endospermo, perispermo y cubierta.

El procámbium se encuentra compuesto de un conjunto de células de forma cilíndrica en el eje longitudinal del embrión, también esta presente como un simple haz en el centro de la raíz y algunas ramificaciones cerca de la base de los cotiledones principalmente en la región del hipocótilo (Irving *et al.*, 1981). El embrión (germen) está formado por células de diferentes tamaños ya que posee cuerpos proteicos embebidos en una matriz esponjosa. El perispermo es un tejido de almacenamiento, formado por células de parénquima, conteniendo pequeños gránulos de forma poligonal, los cuales al parecer se encuentran en forma de matriz. El perispermo contiene gránulos de almidón de tamaño de 1-3 micras de diámetro (Okuno *et al.*, 1981).

Las células del endospermo contienen un gran número de cuerpos esféricos de tamaño pequeño, embebidos en una matriz esponjosa. En semillas maduras, la mayor parte del endospermo se encuentra adherido a la cubierta de la semilla de manera adyacente a la porción del embrión. Esta estructura funciona también como una protección al germen (Irving *et al.*, 1981). La cubierta de la semilla se desarrolla desde el integumento del óvulo. El integumento colapsa dentro de una capa adyacente al perispermo y equivale aproximadamente al 25 % del peso total de la semilla (Saunders *et al.*, 1983).

En cuanto a la distribución de nutrientes, se tiene que los niveles de grasa, fibra cruda y cenizas, en la fracción cubierta-embrión son generalmente altos en comparación con los encontrados en el perispermo. También debido a

que el perispermo se encuentra principalmente constituido por almidón en forma de amilopectina, éste, posee niveles bajos para compuestos como: proteínas, vitaminas y minerales (Teutonico *et. al.*, 1985). La semilla de amaranto se caracteriza por tener altos valores nutritivos (Cuadro 2).

Cuadro 2. Composición del grano de amaranto y de algunos cereales (g).

Composición	Amaranto	Trigo	Maíz	Sorgo	Arroz
Proteína cruda	15.8	14.0	10.3	12.3	8.5
Grasa	6.2	2.1	4.5	3.7	2.1
Fibra	4.9	2.6	2.3	1.9	0.9
Cenizas	3.4	1.9	1.4	1.9	1.4
Calorías/100 g	366	343	352	359	353

Fuente: Paredes *et al.*, 1995.

2.5 Calidad física de las semillas

2.5.1 Peso de 100 semillas

La pureza, el peso de la semilla y el porcentaje de germinación son valores útiles para calcular la cantidad a utilizar en la siembra de semilleros o en la siembra directa en el terreno (camas). Este valor es afectado por el tamaño de la semilla, contenido de humedad y por la proporción de las semillas llenas (no vanas) en el lote, la basura que contiene el lote y la viabilidad de la semilla. El peso absoluto se evalúa con el objetivo de conocer el peso de 100 semillas de la muestra remitida, dato necesario para el cálculo de la densidad de siembra. Es importante calcular la varianza, la desviación estándar y el coeficiente de variación para el conjunto de repeticiones (Peretti, 1994).

2.5.2 Imbibición de agua

La imbibición es el incremento de peso como resultado de la ganancia de humedad. Se han reconocido tres estados o fases de imbibición. La fase uno es un periodo corto de 10 minutos de remojo físico; la fase dos es un periodo mas largo (una hora) en el que ocurre poca imbibición; y en la fase tres la absorción de agua es continua (Figura 2). Esta tercera fase coincide con un incremento en la respiración, en el caso de las semillas en germinación. El nivel de imbibición que alcance la semilla depende de tres factores: composición química de la semilla, permeabilidad de la cubierta de la semilla y disposición de agua en forma líquida o gaseosa en el medio (Mayer, 1978).

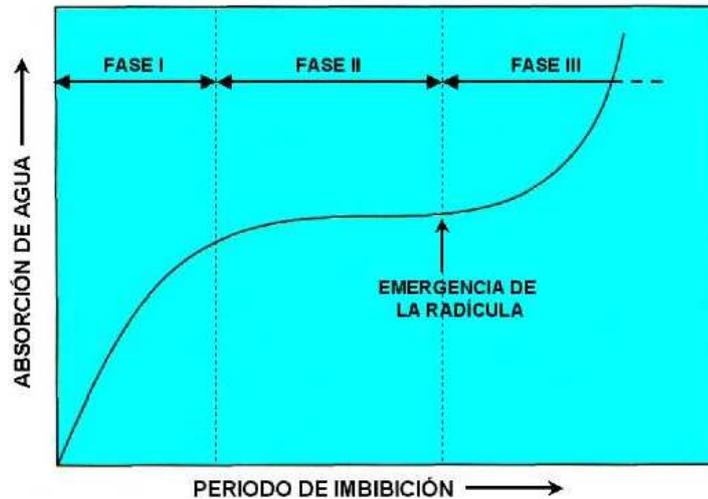


Figura 2. Esquema de las fases de la imbibición de agua por una semilla, medida mediante el incremento en peso fresco durante el proceso de germinación (Nieto, 2005).

Entre los principales componentes de las semillas responsables de la imbibición del agua están las proteínas. La entrada inicial de agua tiene lugar por el micrópilo, tras lo cual, al hincharse las semillas, las cubiertas se rajan y se hacen más permeables (Besnier, 1989). La imbibición de agua torna funcional a los sistemas metabólicos de las semillas, al desencadenar los procesos anabólicos y catabólicos conducentes a la germinación seminal (Ching, 1973). Mayer (1978) establece que la imbibición de la semilla, en su fase inicial, ocasiona pérdidas de metabolitos por lixiviación u oxidación de los mismos. La síntesis de proteínas también se puede iniciar durante la imbibición y el ARN almacenado por la semilla durante su desarrollo es esencial para la referida síntesis inicial, mediante la cual se suple con proteínas de diversos tipos (enzimáticas, estructurales y solubles) al crecimiento del embrión.

2.6 Calidad fisiológica de las semillas

2.6.1 Germinación y velocidad de germinación (T_{50})

La germinación es el crecimiento y continuación del desarrollo del embrión, hasta el momento de romper sus envolturas (pericarpio o testa) para que la radícula y el talluelo o gémula broten y salgan. En genotecnia es muy importante conocer o determinar la capacidad de germinación de las semillas correspondientes al material genético o germoplasma con que se está trabajando; esta determinación se realiza mediante pruebas del porcentaje de germinación (Robles, 1995). Para que una semilla germine tiene que ser morfológicamente madura.

Para Bewley (1997), la germinación comprende todos aquellos eventos que inician con la absorción de agua por la semilla y terminan con el alargamiento del eje embrionario. El proceso de la germinación comprende una serie de cambios morfológicos, anatómicos y fisiológicos que incluyen según Daniel *et al.* (1982): (1) absorción de agua (imbibición); (2)

alargamiento y división celular; (3) activación de enzimas; (4) hidrólisis de los carbohidratos insolubles, el almidón, los lípidos y las proteínas, que producen sustancias químicas simples solubles que se translocan del endospermo al embrión; (5) elongación y división celular; (6) aumento de la tasa de respiración y de la energía liberada que se utiliza para el crecimiento y se desprende como calor; (7) pérdida de peso; (8) diferenciación celular para originar diferentes tejidos y estructuras de la plántula.

La Asociación Internacional de Pruebas de Semillas (ISTA por sus siglas en inglés, Internacional Seed Testing Association) (1985) define la germinación en una prueba de laboratorio como la emergencia y desarrollo de una plántula a una fase donde el aspecto de sus estructuras esenciales indica si puede o no desarrollar más allá en una plántula satisfactoria bajo condiciones favorables de suelo. Para resumir las tres etapas de la germinación, Bewley (1997) esquematiza los principales eventos que se asocian con el proceso de germinación y el subsiguiente crecimiento postgerminativo, como se puede observar en la Figura 3.

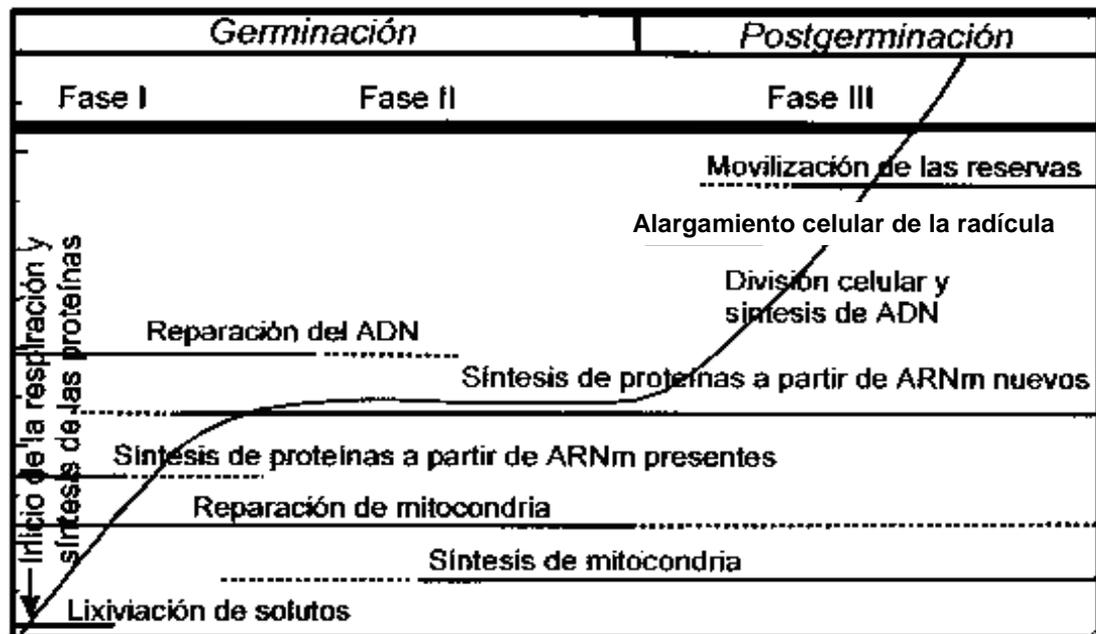


Figura 3. Principales eventos asociados con el proceso de germinación y subsiguiente crecimiento post-germinativo (Bewley, 1997).

Durante el proceso de germinación ocurren las siguientes etapas:

- ✓ **Rehidratación y reactivación.** En semillas quiescentes, los procesos metabólicos normales se efectúan a muy baja velocidad debido a la insuficiencia de agua; la imbibición provoca la reactivación de estos procesos.
- ✓ **Reanudación del crecimiento.** La actividad metabólica que ocurre durante las etapas iniciales de la germinación, esta dirigida hacia el crecimiento del embrión, y no todas las partes de este inician su crecimiento al mismo tiempo.

- ✓ **Movilización de reservas.** La mayoría de las semillas contienen reservas como carbohidratos, lípidos, proteínas, aminoácidos, ésteres de fosfato orgánico y minerales. La función de las reservas es mantener el crecimiento de las plántulas hasta que estas sean autotróficas. La movilización masiva de reservas desde los cotiledones o del endospermo, es un proceso posterior a la protrusión radicular después de la germinación. Una característica de dicha movilización es la gran actividad de enzimas hidrolíticas, que se encargan de la reducción de las reservas a unidades más pequeñas y fácilmente transportables.
- ✓ **Expresión génica:** ARN mensajero nuevo y viejo. La reanudación de la actividad metabólica, que ocurre enseguida de la hidratación, incluye la síntesis de ADN, ARN y proteínas.

2.6.2 Vigor

En 1977 el Comité de Pruebas de Vigor de la ISTA, definió al vigor como: “la suma total de aquellas propiedades de la semilla que determinan el nivel de actividad y comportamiento de la semilla o lote de semillas durante su germinación y emergencia de la plántula”, y desarrollo uniforme, además de hacerlo con rapidez y producir altos niveles de materia seca (Villaseñor, 1984) variando la respuesta de las semillas entre lotes de semilla, especies, variedades, ambientes de producción o por las condiciones de germinación a que se sometan. Esta definición engloba aquellos procesos que directamente han sido relacionados con las diferencias en el vigor de las semillas; éstos son:

- ✓ Proceso y reacciones bioquímicas durante la germinación, tales como reacciones enzimáticas y actividad respiratoria
- ✓ Velocidad y uniformidad de la emergencia de la plántula en el campo
- ✓ Capacidad de emergencia de las plántulas bajo condiciones desfavorables del medio ambiente

Entre las causas de la variabilidad del vigor de las semillas se citan las siguientes:

- ✓ Genotipo
- ✓ Medio ambiente y nutrición de la planta
- ✓ Estado de madurez al momento de la cosecha
- ✓ Tamaño, peso y peso volumétrico
- ✓ Daño físico
- ✓ Deterioro y envejecimiento
- ✓ Patógenos

Dentro del vigor, se distinguen 2 tipos, el genético y el fisiológico. El primero se produce por heterosis o por disparidad de vigor entre líneas no parentales; mientras que el segundo, con origen en el anterior, se manifiesta por diferencias en vigor entre lotes de semillas del mismo genotipo (Pollock, 1972). Varios autores coinciden en señalar que el vigor de la semilla es un factor de la calidad de la misma, siendo importante incluir su evaluación en el análisis de laboratorio (Villaseñor, 1984). La elaboración del concepto de vigor se ha basado en dos ideas fundamentales:

1. Vigor intrínseco. Es la capacidad de las semillas para producir, rápida y uniformemente, plántulas normales en condiciones específicas de laboratorio (Besnier, 1989).

2. Vigor extrínseco. Es la capacidad de las semillas para producir plántulas normales en condiciones normales de cultivo. Esto implica establecer, para cada especie y región climática, que es lo que hay que considerar como “condiciones normales de cultivo”, y además, cuales son las condiciones anormales en las que el vigor del lote de semillas tiene la más decisiva importancia.

Medición de las plántulas. Este método es aplicable a las plántulas que presentan una plúmula recta, como en los cereales, o bien raíces no ramificadas, como la lechuga. Se ha usado principalmente para cereales, cebada, trigo, maíz, aunque también se ha usado para soya, remolacha y para medir la longitud de la raíz de la lechuga. Se requiere para esta prueba papel absorbente grueso que al estar húmedo no se doble y que se mantenga firme. Las hojas de papel deberán ser de 30 x 25 cm; el papel deberá ser firme y absorbente. El contenido de humedad en cada lote por comparar deberá ser similar, ya que afecta la velocidad de la germinación (Moreno, 1984).

Peso de las plántulas. Esta prueba se desarrolló con el objeto de facilitar la clasificación de las plántulas débiles y vigorosas.

2.7 Herbicidas

2.7.1 Aspectos generales

Los herbicidas son compuestos químicos que suprimen el crecimiento y desarrollo de las plantas. Una de las características más importantes de algunos herbicidas está en su selectividad. En general, selectividad es una expresión de diferencias en las respuestas de las plantas vegetales a la aplicación de herbicidas (Anderson, 1996). Sin embargo, hay un sinnúmero de herbicidas que no son selectivos donde se destacan los herbicidas esterilizantes y semiesterilizantes, su acción impide la germinación y el crecimiento de toda vegetación (Cárdenas y Romero, 1973).

Es necesario definir conceptos fundamentales que permiten clasificar a los herbicidas según normas aceptadas mundialmente y que configuran las bases para su utilización racional, sobre todo en los tiempos actuales, caracterizados por una creciente preocupación de su impacto ambiental y por la aparición de resistencia a herbicidas.

El modo de acción de un herbicida se refiere a la razón biológica por la cual ocurre la muerte de la planta. En general, el modo de acción comprende todos los eventos que implican la absorción, el transporte y la acción tóxica del mismo. El sitio de acción se restringe exclusivamente al nivel o ruta metabólica específica afectada por el herbicida.

Desde el punto de vista de su transporte, conviene recordar que los herbicidas se clasifican en sistémicos, cuando, absorbidos por el tejido foliar o radical y transportados vía floema, xilema o ambos, alcanzan el sitio específico en donde ejercen su acción tóxica (generalmente los centros de crecimiento y elevada actividad metabólica). Los herbicidas sistémicos pueden ser aplicados al suelo y en ese caso se transportan vía xilema hacia el follaje o al follaje cuando se transportan vía floema hacia el resto de los tejidos aéreos y subterráneos.

Por el contrario, los herbicidas de contacto, una vez que atraviesan la cutícula se transportan muy limitadamente, ejerciendo su acción en forma muy rápida. La mayoría de los herbicidas de contacto ejercen su acción sobre el follaje, aunque existen herbicidas de suelo que afectan tejidos radicales. La selectividad, hace referencia a la capacidad que posee un herbicida de ejercer su modo de acción y causar daños en la maleza pero no a la especie cultivada.

Conviene puntualizar que en algunos casos la selectividad es nula (caso de paraquat) y en otras es total, es decir el cultivo puede tolerar niveles muy altos de herbicida en cualquier momento de su ciclo sin evidenciar efectos fitotóxicos o depresiones del rendimiento (caso de los graminicidas en soya). En otros casos, sin embargo, el rango de selectividad es estrecho, no sólo por la dosis tolerada (caso de metribuzín), sino por el estadio de crecimiento del cultivo. Los herbicidas hormonales aplicados durante el periodo de macollaje de trigo son selectivos, pero pueden causar daños más o menos severos si se pulverizan en estadios muy tempranos.

Finalmente es importante señalar que las condiciones ambientales inadecuadas para el buen crecimiento y metabolismo de la planta (ej. el estrés causado por sequía en suelo y/o ambiente o temperaturas excesivamente bajas) pueden ocasionar una severa pérdida de selectividad (caso de nicosulfuron en maíz o de herbicidas para el control de avena fatua en trigo) (Heap, 2000).

2.7.2 Clasificación de los herbicidas

No existe un solo sistema de clasificación de los herbicidas. Los diferentes sistemas se basan en criterios muy dispares, como su naturaleza química, su mecanismo de acción o su toxicidad. Los herbicidas empleados para el combate de malas hierbas son de dos tipos: no selectivos y selectivos. Ambos actúan como herbicidas de contacto.

1. Herbicida no selectivo es cualquier producto químico que si se aplica al follaje o al suelo, mata toda la vegetación sin distinción de especies.

2. Herbicida selectivo es cualquier producto químico que pueda destruir las malas hierbas en un cultivo en germinación o en crecimiento, sin dañar a la planta cultivada en grado tal, que no pueda recobrase (Kohashi, 1956). Los herbicidas selectivos matan ciertos objetivos, mientras preservan la cosecha relativamente indemne. Algunos actúan interfiriendo con el crecimiento de

las malas hierbas y se basan frecuentemente en las hormonas de las plantas. Los herbicidas utilizados para limpiar grandes terrenos no son selectivos y matan toda planta con la que entran en contacto.

3. Herbicidas residuales. Éstos se aplican al suelo, sobre la tierra desnuda y forman una película tóxica que cuando la tocan las malas hierbas que germinan mueren. Dos aplicaciones al año de herbicidas residuales pueden ser suficientes para mantener un suelo limpio de malas hierbas que nacen de semilla, de las anuales. A las perennes que rebrotan a partir de rizomas, estolones o bulbillos, no les hace nada; si nacen de semillas, sí. (<http://es.wikipedia.org>).

En el cuadro 3 se aprecia un bosquejo de la clasificación de los herbicidas utilizados en la presente investigación.

Cuadro 3. Clasificación de los herbicidas diquat, paraquat y 2,4-D por su modo de acción, sitios de acción específicos asociados al modo de acción, velocidad de aparición de los efectos y descripción de los principales síntomas que pueden visualizarse en malezas y/o cultivos. Fuente: www.inia.org.uy/publicaciones.

Modo de acción	Sitio de acción asociado	Familia química	Ingredientes activos	Acción	Velocidad de acción. Síntomas de su acción en malezas y especies cultivadas (fitotoxicidad).
Disruptores de la membrana celular	Desvío de electrones de (plastoquinona). Formación de peróxidos. Inhibición del fotosistema I.	Dipiridilos	Diquat y Paraquat	Contacto	<p>Rápida. Necrosis. En el caso de paraquat, la desorganización de las membranas conduce en primer lugar a una apariencia húmeda del follaje, seguida de un rápido marchitamiento y eventualmente una apariencia de daño por calor (quemadura o helada en el follaje).</p> <p>Inhiben el proceso fotosintético interfiriendo en la reacción de Hill, en el flujo de electrones en el fotosistema I ó II. Estos herbicidas no son metabolizados por las plantas superiores. En especies tolerantes resultan reducidos interviniendo el aparato fotosintético, la luz y el oxígeno forman un radical libre (OH) o el peróxido (P₂O₂) los cuales aparentemente son los agentes tóxicos (radicales libres), provocando un rompimiento de las membranas del cloroplasto. Son herbicidas de contacto aplicados al follaje debido a que son retenidos con fuerza por los coloides del suelo.</p> <p>Causan una rápida desecación del follaje, seguida de necrosis. En la célula ocurre una rápida pérdida de integridad de la membrana celular y del cloroplasto; por esto el movimiento vía apoplasto es limitado, por el simplasto no ocurre movimiento. Si estuviera a disposición del sistema radical, podría haber algún movimiento vía apoplasto, no obstante se absorben a constituyentes celulares del parénquima cortical.</p> <p>El paraquat no inhibe el transporte de electrones en el FSII, sino que más bien, se los quita a la ferredoxina provocándole su reducción y la liberación de radicales libres, y por ende, la peroxidación de las membranas.</p>
Reguladores de crecimiento	Alteración del balance hormonal y de síntesis proteica. Varios niveles y sitios de acción.	Fenoxiacéticos	2,4-D	Sistémica	<p>Lenta. Follaje. Nastías y agallas. Detención del crecimiento. Necrosis. La mayoría de los herbicidas de esta familia son altamente sistémicos si se aplican en el periodo de crecimiento apropiado. En general son tóxicos para las malezas de hoja ancha, pero pueden dañar algunas gramíneas si se aplican en estadios sensibles.</p> <p>Los síntomas de daño en las plantas sensibles se desarrollan primero en los tejidos meristemáticos o de reciente formación. Los herbicidas de este grupo presentan anomalías en las plantas susceptibles que inicia con malformación de láminas foliares, nervaduras anastomóticas, tallos retorcidos, rasgaduras y agallas. En las gramíneas los síntomas incluyen la aparición de hojas similares. En cebolla, raíces fusionadas y aplanadas, tallos curvos, malformación de espiguillas y espigas.</p> <p>Disruptores del crecimiento celular. Auxinas sintéticas (acción probable hacia el ácido indolacético). Estos herbicidas interfieren en la síntesis de ácidos nucleicos, controlando la síntesis proteica en diferentes etapas, afectando la regulación de ADN durante la formación de ARN, efecto que puede ser alcanzado por la despresión de un gene o activación de ARN polimerasa, o simplemente afectar el mensaje del ARN a las proteínas. En general, se pierde el control del crecimiento por atrofia o malformación de los haces vasculares.</p> <p>Se caracterizan por tener una mayor fitotoxicidad hacia las dicotiledóneas y ciperáceas que hacia las gramíneas; actúan como reguladores del crecimiento; el transporte ocurre vía simplasto con los asimilados de la fuente de producción a los órganos en consumo o almacenamiento. Generalmente exhiben un corto efecto residual. Las gramíneas son tolerantes porque no tienen cámbium, además los nudos y entrenudos dificultan la llegada del herbicida al sitio de acción. Fuente: www.inia.org.uy/publicaciones.</p>

2.7.3 Absorción y transporte de los herbicidas en los vegetales

La penetración en los vegetales es el primer paso que tienen que dar los herbicidas para controlar las malas hierbas. Esto lo hacen fundamentalmente por dos vías o sistemas: radicular o foliar. La cutícula es la primera barrera que deben franquear los herbicidas que se absorben por el sistema foliar, bien directamente, destruyendo sus componentes (cutícula, pectina, celulosa, ceras) o bien a través de los estomas. Las materias activas que penetran en los vegetales a través de sus órganos subterráneos, lo hacen a través de las raicillas, disueltos en el agua conjuntamente con las sustancias alimenticias del suelo. Una vez dentro del vegetal, el herbicida puede ejercer su fitoacción alrededor de su zona de penetración, o moverse a lo largo de la planta, si el herbicida es de traslocación. En este caso el herbicida produce su acción tóxica en donde se almacena, o a lo largo de su trayecto.

La traslocación se efectúa a través del apoplasto, que es el conjunto de células muertas de la planta, espacios intercelulares, vacuolas, vasos leñosos que constituyen el xilema, o del simplasto, que está formado por las células vivas, citoplasmas y vasos liberianos o floema. Los herbicidas de traslocación apoplástica de aplicación foliar se desplazan poco hacia los ápices de las hojas. Si se absorbe por las raíces, irá hacia las hojas siguiendo el xilema con la corriente de transpiración. Generalmente, cuando un herbicida se trasloca por vía simplástica y se aplica al sistema foliar, se moverá hacia las raíces. Si se absorbe por las raíces, se moverá poco.

De acuerdo con su forma de actuar internamente sobre las plantas, los herbicidas se pueden dividir en la forma siguiente:

1. Inhibidores de la germinación. Estos herbicidas actúan sobre las plantas que les son susceptibles, interfiriendo los procesos de división celular. Son, por lo tanto, inhibidores de la mitosis. Dentro de los herbicidas que agraden en esta forma están los del grupo de los carbamatos, tiolcarbamatos, alfa-cloro-acetilamida, toluidina.

2. Inhibidores de la respiración. Estos herbicidas actúan sobre las plantas que les son susceptibles, interfiriendo con la formación del ATP (ácido adenosintrifosfato), fuente de energía del metabolismo celular. Los típicos inhibidores de la respiración impiden la formación del ATP y la planta se muere a causa de una respiración exagerada. Ejemplos de estos herbicidas son los dinitrofenoles, pentaclorofenol, loxinil o el Bromoxinil.

3. Inhibidores de la fotosíntesis. La fotosíntesis operación clave de la vida vegetal (y por derivación de la animal), consiste en la captación, por la planta, del anhídrido carbónico del aire, conjuntamente con la luz solar y el agua.

Por síntesis orgánica se forman los hidratos de carbono, que se almacenan en la planta. A su vez, estos hidratos de carbono dan origen a otros productos tales como albúminas, grasas, celulosa, entre otros, y la presencia de la clorofila es indispensable para estas síntesis. La inhibición de la fotosíntesis es uno de los efectos más espectaculares realizados por determinados herbicidas, puesto que actúan sobre un mecanismo que no existe en el organismo humano y animal. Esto podría ser la razón por la cual los inhibidores más importantes de la fotosíntesis son los herbicidas con la menor toxicidad en el organismo no vegetal. Los herbicidas que actúan sobre las plantas, en esta forma, están representados por los grupos de las triazinas, ureas, uracilo y amidas. Algunos compuestos clorofenólicos se mezclan en ocasiones en fertilizantes comerciales para controlar el crecimiento de hierbas de hoja ancha. Cientos de productos comerciales contienen herbicidas clorofenólicos en varias formas, concentraciones y combinaciones.

En algunos casos, se usa el mismo nombre para productos con diferentes ingredientes, por lo tanto, la composición exacta debe consultarse en la etiqueta del producto.

2.8 Herbicidas comerciales

2.8.1 Doble Super Comercial

El herbicida Doble Super es un herbicida agrícola que se comercializa en suspensión acuosa. Es un producto moderadamente tóxico. Las características de este herbicida son: producto de uso restringido, es un herbicida de contacto, eficaz en el control de maleza anual de hoja ancha y angosta. Doble Super es compatible con herbicidas residuales (ametrina, atrazina, diurón, oxifluorfén, metribuzin), siempre y cuando estén aprobados para su uso en algún cultivo en particular. No se debe mezclar con productos de fuerte reacción alcalina. Por ser un herbicida de contacto no selectivo es fitotóxico a cualquier parte verde si no se emplea adecuadamente y si se guardan las medidas necesarias. Las medidas de protección al ambiente mencionan que este producto es de baja toxicidad para los peces (DEA, 2003).

2.8.2 Diquat

El modo de acción de la molécula de diquat (Figura 4) ocurre cuando se absorbe por el sistema foliar de las plantas y se trasloca localmente por el resto del vegetal, mostrando las partes afectadas síntomas semejantes a los de los herbicidas de contacto. Ocasiona la eliminación total de la parte aérea de los vegetales.

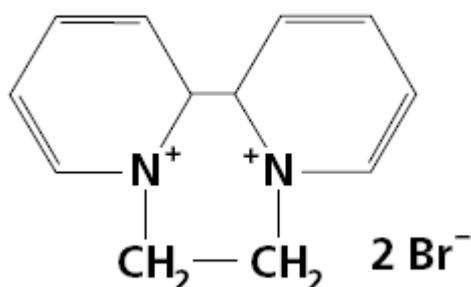


Figura 4. Estructura química de la molécula de diquat. Fuente: www.wikipedia.org

El comportamiento de la movilidad en el suelo de la molécula de diquat es rápida y completamente inactivada en contacto con el suelo. Esto es el resultado de la doble carga de la molécula de diquat, que es inmediatamente neutralizada por las arcillas minerales. Se ha podido ver que, aun en ausencia del suelo, varios microorganismos son capaces de degradarlo. Se producen también pérdidas por fotodescomposición al quedar en las superficies de las hojas expuesto a la luz solar.

La dosificación varía con el estado de desarrollo de las malas hierbas entre 0.4 y 1 kg/ha de materia activa, utilizando las más elevadas para los que se encuentren más grandes. La época de utilización es la postemergencia de las malas hierbas. Otras precauciones que se deben de tener en el manejo del diquat es: no tocar con el producto herbicida las partes verdes de los cultivos. No se debe usar con aparatos de ultra bajo volumen (Villarias, 1981).

2.8.3 Paraquat

El modo de acción de la molécula de paraquat (Figura 5) ocurre vía absorción por el sistema foliar de las plantas (y se trasloca rápidamente por el resto vegetal), mostrando las partes afectadas síntomas semejantes a los de los herbicidas de contacto, eliminando toda su parte aérea; pero no mata los órganos de reproducción asexual. Se trasloca por el xilema, pero no llega a rizomas ni tubérculos.

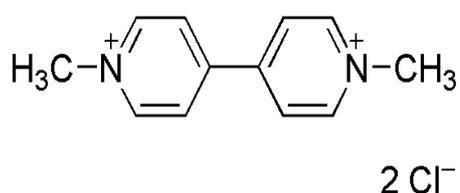


Figura 5. Estructura química de la molécula de paraquat. Fuente: www.wikipedia.org

El paraquat es un herbicida de contacto no selectivo y no sistémico. “No selectivo” implica que ataca y mata todas las partes verdes de la planta con las que entra en contacto. “No sistémico” significa que no ataca las raíces ni

se desplaza libremente dentro de la planta. “De contacto” quiere decir que necesita tener contacto físico con la superficie del follaje que destruye. Ejerce su acción interfiriendo con el proceso de fotosíntesis y es de acción rápida.

El paraquat es un herbicida que mata rápidamente las partes verdes de las plantas bajo la acción de la luz solar. La molécula de paraquat tiene la característica de ser un di-cación plano (es decir, con dos cargas positivas), y por ello se funde fuertemente con las partículas de arcilla del suelo, especialmente las que se derivan de arcillas de celosía expandible como la montmorillonita.

Este fuerte vínculo con el suelo reduce las concentraciones de paraquat en las aguas del suelo, a tal grado que se desactiva inmediatamente debido a su falta de accesibilidad para las plantas; en esto, el paraquat es diferente es su comportamiento de la mayoría de los demás herbicidas, que permanecen activos mediante la absorción desde el suelo durante algún tiempo después de su aplicación y por ello no pueden ser usados inmediatamente antes de la siembra. El comportamiento en el suelo es rápido y completamente inactivado en contacto con el suelo. Esto es el resultado de la doble carga de la molécula de paraquat, que es inmediatamente neutralizada por las arcillas minerales. Se ha podido ver que, aún en ausencia de suelo, varios microorganismos son capaces de degradarlo.

Se producen también pérdidas por fotodescomposición al quedar en las superficies de las hojas expuesto a la luz solar. Las condiciones de utilización en el manejo del paraquat deben tener una dosificación que varía con el estado de desarrollo de las malas hierbas entre 0.8 y 1.6 kg/ha de materia activa, utilizando las más elevadas para las que se encuentren más grandes. La época de utilización es por lo tanto la postemergencia de las malas hierbas. Otras precauciones que se deben tener en torno a la utilización de este producto es que no se debe tocar con el producto herbicida las partes verdes de los cultivos. No debe utilizarse este fitofármaco con máquinas de ultra bajo volumen (Villarías, 1981).

2.8.4 Hierbamina Comercial

El producto Hierbamina comercial es un herbicida agrícola en solución acuosa, es un producto moderadamente tóxico, y sus características son: es un herbicida selectivo que se emplea para el control de maleza de hoja ancha en cultivos de gramíneas (DEA, 2003).

2.8.5 Ácido 2,4-Diclorofenoxiacético (2,4-D)

Es un derivado clorado del ácido fenoxiacético con actividad como regulador del crecimiento de las plantas, el peso molecular es de 221.04 g/mol, punto de fusión de 140,5°C. El 2,4-D (Figura 6) es un herbicida hormonal selectivo y sistémico utilizado en el control de malezas de hoja ancha. El herbicida

2,4-D fue identificado por primera vez en 1942 y su venta comercial inició en 1944 (De Liñan, 1997).

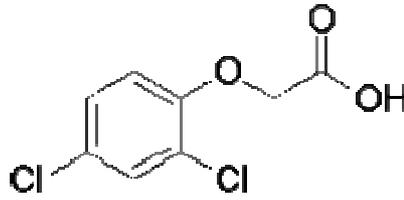


Figura 6. Estructura química de la molécula de ácido 2,4-D. Fuente: www.wikipedia.org

Su principal uso es para el control de malezas de hoja ancha en los cultivos de cereales. El 2,4-D está clasificado en la categoría toxicológica II. La exposición ocupacional a 2,4-D ha producido serias irritaciones de ojos y de piel. Respecto a efectos crónicos parece que la exposición a largo plazo de 2,4-D puede afectar a diferentes animales de una variedad de maneras.

Por ejemplo, las ratas parece que no son muy afectadas cuando se les somete a cantidades moderadamente grandes en su dieta por largos períodos, aunque se han demostrado patologías en riñones. Sin embargo, perros murieron cuando se les dieron pequeñas cantidades por períodos cortos. También diferentes formas químicas de 2,4-D pueden tener diferentes efectos tóxicos; el ácido, la sal y varios ésteres difieren en algún grado en sus efectos tóxicos, pero la mayoría de datos toxicológicos se relacionan solo con la forma ácida.

Efectos reproductivos. La exposición a herbicidas fenoxi ácidos y sus dioxinas contaminantes se ha asociado con desarrollo esquelético anormal de los fetos, mayor mortalidad fetal y otros efectos reproductivos. El 2,4-D también ha sido clasificado como un alterador endocrino y ha ocurrido daño cromosómico significativo en cultivos de células humanas en presencia de 2,4-D, pero no se ha encontrado evidencia de mutagénesis en células humanas de pulmones.

Destino ambiental. El 2,4-D tiene baja sorción en el suelo y un alto potencial para percolación. Realmente se han encontrado residuos de 2,4-D muchas veces en aguas subterráneas en el Reino Unido o en Estados Unidos y en Canadá. La degradación del 2,4-D por acción microbiana comprende hidroxilación, descarboxilación, ruptura de la cadena lateral del ácido y apertura del anillo. La vida media en el suelo es inferior a 7 días (De Liñan, 1997).

Vida silvestre. Algunas formulaciones de 2,4-D son altamente tóxicas a peces mientras otras lo son menos. Los invertebrados acuáticos en general no parecen ser muy sensibles al 2,4-D. Moderada exposición de abejas al 2,4-D alteró severamente la reproducción. La toxicidad a aves es de baja a moderada.

Sin embargo se ha anotado que hay insuficientes datos disponibles para evaluar correctamente la seguridad para la vida acuática, si se usa en o cerca de los sistemas acuáticos.

2.9 Ácido acetilsalicílico, ácido salicílico y ácido sulfosalicílico.

Estos compuestos presentan en común un radical 2-hidroxibenzoico en su molécula.

2.9.1 Ácido acetilsalicílico

El AAS (Figura 7), tiene un peso molecular de 180.15, con punto de fusión de 137°C y un pK de 3.5 (Merck y Co. Inc., 1976). Se obtiene por acetilación del ácido salicílico y se le conoce comúnmente como aspirina.

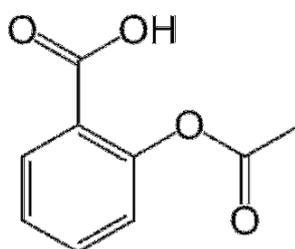


Figura 7. Estructura química del ácido acetilsalicílico. Fuente: www.wikipedia.org

2.9.2 Ácido salicílico

El AS (Figura 8) puro es un polvo cristalino, de peso molecular de 138.12, con punto de fusión entre 157 y 159°C, Después del calentamiento, hay fusión y luego sublimación. El olor inicial se transforma en un intenso olor a fenol (Pradeau, 2001). Es moderadamente soluble en agua y muy soluble en disolventes orgánicos polares. El pH de una solución acuosa saturada de AS es 2.4 y flúorese a 412 nm; esta propiedad es utilizada para detectarlo en sistemas vegetales (Raskin *et al.*, 1987).

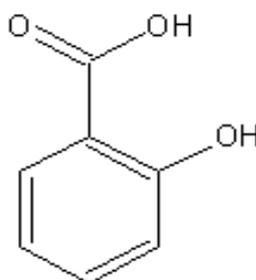


Figura 8. Estructura química del ácido salicílico. Fuente: www.wikipedia.org

El nombre de AS, proviene del latín salix, dado por Rafael Piria en 1838. El AS y otros salicilatos principalmente metil ésteres y glucósidos fácilmente convertibles a AS, fueron aislados de una amplia variedad de plantas, incluyendo espirea y pirola. Johann Buchner, aisló exitosamente salicina, principal glucósido obtenido de la corteza del sauce (Weissman, 1991). El AS es un compuesto fenólico que recientemente ha cobrado importancia debido a la función que tiene en las plantas y por los efectos que induce cuando es aplicado exógenamente, debido a ello actualmente se le considera un regulador de desarrollo vegetal (Khan, *et al.*, 2003). El AS se encuentra como éster en plantas de Salix, Spirea y Gautheria (Weissman, 1991).

De acuerdo a un modelo matemático desarrollado recientemente, las propiedades físicas del AS son: $pka= 2.98$, $\log Kow$ (octanol/coeficiente de partición de agua)=2.26 (Hansch, 1967). Este coeficiente le confiere la propiedad de ser fácilmente transportable a grandes distancias, vía el floema. Por consiguiente, a no ser que el AS libre sea transportado activamente, metabolizado o conjugado, este compuesto es rápidamente translocado desde el punto de aplicación o síntesis a otras partes de la planta (Hsu, 1990).

En plantas superiores el AS es un derivado de la vía del ácido shikimico. La biosíntesis del AS se ha demostrado que puede suceder por dos rutas a partir de fenilalanina, las que difieren en el paso que involucra hidroxilación del anillo aromático.

La fenilalanina es convertida a ácido cinámico por la fenilamonioliasa y éste es hidroxilado para formar ácido orto-cumarina seguido por la oxidación de la cadena lateral (Chadna y Brown, 1974), o la cadena lateral del ácido cinámico es inicialmente oxidada para formar ácido benzoico, el cual es entonces hidroxilado en la posición orto (Ellis y Armhein, 1971). La diversidad en las respuestas de defensa que inducen los ataques por patógenos, sugiere que estas pueden estar controladas por varias señales que actúan a través de diferentes vías, una de estas señales es el ácido salicílico (Klessig y Malamy, 1994).

El AS también es el responsable de la termogenicidad en las inflorescencias de *Sauromatum guttatum*. Este fenómeno ocurre justo antes de la polinización como consecuencia de un incremento en la tasa de respiración en los apéndices de la inflorescencia, debido a ello, la temperatura incrementa hasta 25°C sobre la temperatura ambiental por un periodo de hasta 7 horas. Como consecuencia, ciertas aminas, indoles y terpenoides son volatilizados dando olores putrefactos. La función de este aroma es la de atraer insectos polinizadores (Taiz y Zeiger, 2002).

El AS se sintetiza de manera natural en las plantas en hojas jóvenes y meristemos florales y vegetativos, se puede encontrar de forma libre o conjugada como glucósido. El AS puede ser originado a partir del ácido shikimico, vía ácido benzoico. El ácido shikimico se forma a partir de la D-eritrosa-4, fosfato, proveniente de la vía de las pentosas fosfato y del

fosfoenolpiruvato, el cual a su vez proviene de la glucólisis (Taiz y Zeiger, 2002).

El ácido shikímico deriva en la fenilalanina, la cual es transformada a ácido trans-cinámico, por acción de la enzima fenilalanina-amonioliasa (PAL) (Taiz y Zeiger, 2002). El ácido cinámico puede ser hidroxilado para formar ácido orto-cumárico o alternativamente puede ser oxidado para formar ácido benzoico, por la enzima ácido benzoico-2-hidroxilasa (Smith *et al.*, 1998), el cual, posteriormente es hidroxilado en la posición orto para formar al ácido orto-hidroxibenzoico o ácido salicílico (Figura 9).

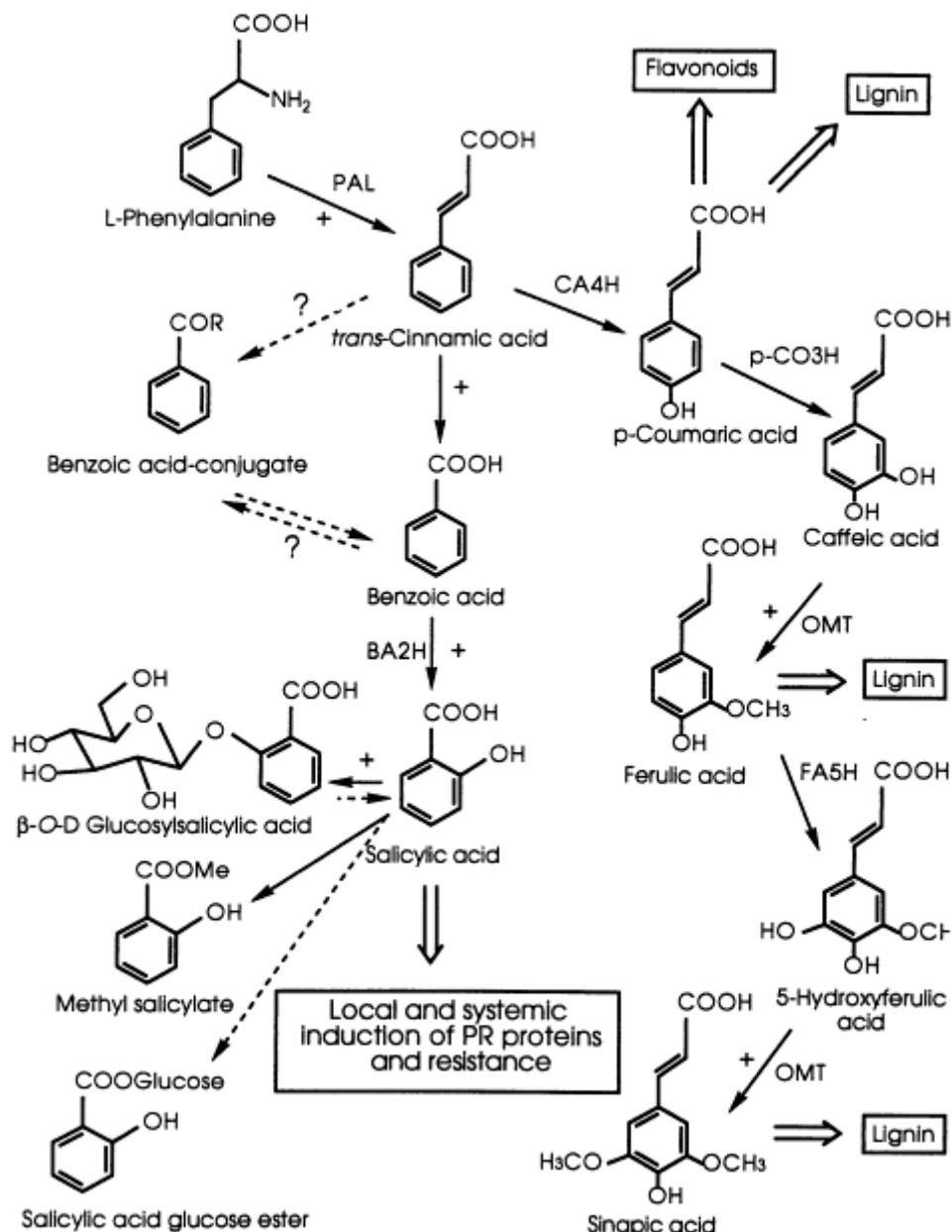


Figura 9. Diagrama esquemático de la ruta biosintética y metabólica del ácido salicílico y fenilpropanoides. Fuente: www.wikipedia.org

En tabaco, inicialmente fue propuesto que el ácido salicílico es sintetizado a partir del ácido benzoico libre, aunque después se encontró que el glucósido de este ácido es de quien realmente se derivaba.

La síntesis de ácido salicílico también puede ser a partir del ácido orto-cumárico, como ocurre en plantas de pepino, papa y arroz, o a través del ácido shikímico pero por la ruta del isocorismato, una ruta biosintética típica de bacterias (Metraux, 2002).

Efectos de la aplicación exógena del AS en las plantas. El AS aplicado exógenamente afecta diversos procesos en las plantas, uno de ellos es el desarrollo.

- ✓ En jitomate adelanta la madurez fisiológica (García, 1981)
- ✓ En zanahoria y betabel incrementa en 60 % y 15% el peso fresco de raíz comestible, respectivamente. Mientras que en rábano lo duplica (Aristeo, 1997)
- ✓ En cebolla y ajo, aumenta 2.5 veces y 38% el peso fresco de bulbo, respectivamente y la concentración de alicina se triplica en ajo (Reséndiz, 1999)
- ✓ En soya, tabaco y algodón estimula en forma altamente significativa el desarrollo de raíz y vástago. Además, incrementa el amarre de fruto y rendimiento agronómico en soya y algodón; así como el contenido de azúcares reductores y alcaloides totales en hojas de tabaco (Gutiérrez, 1997)
- ✓ En *pinus patula* aumenta 33% la biomasa del tallo y raíz (San-Miguel *et al.*, 2003)
- ✓ En frambuesa, el ácido salicílico disminuye la dominancia apical y estimula significativamente la formación de yemas adventicias radicales (Reséndiz, 1999)

Estos efectos son de gran importancia en el ámbito agropecuario, por lo que el ácido salicílico es capaz de inducirlos, pero, la forma en como lo hace es poco clara, por esto, son necesarios estudios fisiológicos con el fin de darles mayor certidumbre.

Larque-Saavedra (1979) indicó que en frijol (*Phaseolus vulgaris*) el AAS a concentración de 10^{-3} M disminuyó la transpiración en un 43% y en epidermis desprendida de *Commelina communis* provocó cierre de estomas a los 13 y 75 minutos después de haber iniciado el tratamiento.

2.9.3 Ácido sulfosalicílico

El ASS (Figura 10) tiene un peso molecular de 218.18, su punto de fusión es de 120°C en su forma anhidra, a temperaturas más altas se descompone en fenol y AS. El ASS es un compuesto aromático que sufre reacciones típicas del grupo de los fenoles (Otiniano, 2003).

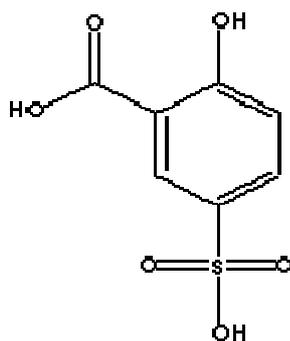


Figura 10. Estructura química del ácido sulfosalicílico. Fuente: www.wikipedia.org

Carrillo (2001) indica que el ASS incrementa la actividad de la fosfatasa a pH 5.8 a 160% con respecto a plántulas desarrolladas en el medio MS. La expresión de especies de peroxidasa disminuyó en general por la presencia de salicilatos en el medio pero fue identificada una en plántulas de “Atlantic” que habían sido desarrolladas en presencia de AAS (ciclo de inducción). Aparecieron dos proteínas nuevas de 188 y 31 kd. El mayor contenido de clorofila fue detectado en las plántulas desarrolladas en los medios ASS y el control.

Salazar y Carrillo (2000) mencionan que el ASS incrementa la producción de raíces en vitroplántulas de *S. tuberosum* “Alpha” con respecto al AS y AAS, también resultó ser el mejor tratamiento para la tuberización, cantidad de clorofila a, b y total, mientras que los menores valores fueron para AS y AAS.

Hay varios métodos cualitativos disponibles en la evaluación diagnóstica de la proteinuria (excreción de proteína urinaria mayor de 150 mg/día, el nivel normal son 100 mg/día), uno de ellos es el test de turbidez de ácido sulfosalicílico (ASS), el cual detecta cualquier tipo de proteína urinaria mediante precipitación de ácido. Este método es especialmente útil si se sospecha la presencia de cadenas proteínicas livianas en la orina (riñón de mieloma) (<http://www.nefro.cl/pt.doc>).

2.10 Sulfato de cobre

2.10.1 Características generales

El sulfato de cobre pentahidratado ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) es una sal de color azul, que en su forma anhidra (CuSO_4) es blanca, es muy soluble en agua, metanol y glicerina e insoluble en alcohol y acetona (Pradeau, 2001). Se conoce comercialmente con el nombre de sulfato de cobre, vitriolo azul o piedra azul, y cristaliza en el sistema triclinico. Se emplea, por su acción bactericida y alguicida, en el tratamiento del agua para combatir las algas en depósitos y piscinas, en agricultura como desinfectante y para la formulación de fungicidas e insecticidas, en la conservación de la madera, como pigmento, en el tratamiento de textiles y cueros, en la preparación del

reactivo de Benedict y de Fehling para la detección de azúcares. El sulfato de cobre es tóxico por ingestión, inhalación y contacto, siendo las dos primeras vías de intoxicación las más peligrosas (Heredia, 2006). El sulfato de cobre cristaliza en la red triclínica, la menos simétrica de las 14 redes de Bravais tridimensionales, con parámetros de red $a= 6.12 \text{ \AA}$, $b= 10.7 \text{ \AA}$, $c= 5.97 \text{ \AA}$, $\alpha= 82.27^\circ$, $\beta= 107.43^\circ$ y $\gamma= 102.67^\circ$ (Beever, 1934). A modo de comparación el cloruro sódico, que es el ejemplo típico al estudiar el enlace iónico, cristaliza en la red cúbica centrada en las caras, con parámetros de red $a=b=c=5.63 \text{ \AA}$ y $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ (Kittel, 1998). El color azul de la sal se debe a la presencia de moléculas de agua en su estructura cristalina.

2.10.2 Efectos fisiológicos y absorción del cobre por las plantas

El cobre (Cu) proviene de fuentes naturales y actividades humanas. En las rocas de la corteza terrestre el Cu se encuentra principalmente asociado a sulfuros, como la calcosita (Cu_2S) o complejos integrando otros metales, por ejemplo la calcopirita (CuFeS_2) que es el mineral de Cu más abundante. La concentración de Cu en la corteza terrestre es de 55 a 70 mg/Kg^{-1} , y en la solución del suelo usualmente es baja entre 10^{-8} y 10^{-6} M. En un suelo deficiente de Cu, hay de 1 a 2 mg/Kg^{-1} (Rechigl, 1995).

En suelos no contaminados aproximadamente encontramos 30 mg/kg^{-1} de Cu total. Sin embargo, son las actividades humanas las que han favorecido el incremento de los niveles de Cu en suelos y aguas a concentraciones tóxicas, lo cual ha sido documentado en muchas partes del mundo (Japón, Francia y Kenya) (Rechigl, 1995). Cuando se drenan sedimentos de canales, ríos y presas aledaños a minas e industrias, los cultivos que crecen en estos sedimentos presentan altos contenidos de Cu y otros metales en sus tejidos. El Cu ha sido intensamente utilizado como fungicida, tal es la mezcla de CuSO_4 y CaCO_3 (caldo bordeles) asperjado en plantas (Carro, 1990), para el control de enfermedades en muchos cultivos, esta mezcla es utilizada en muchas partes del mundo. La presencia de minerales arcillosos o materia orgánica en la solución del suelo, reduce la concentración del cobre. También algunos microorganismos del suelo participan en los mecanismos de desintoxicación del suelo al precipitar el Cu, reduciendo así su concentración en el suelo.

El Cu es un micronutriente esencial para el crecimiento y desarrollo de las plantas, pero puede ser tóxico cuando su contenido en tejidos es más alto que los niveles óptimos. Los requerimientos de Cu por las plantas son relativamente pequeños, la concentración normal en los tejidos de las plantas es de 5 a 20 mg; los niveles óptimos de cobre en hojas oscilan entre 3 y 7 mg de materia seca. Las concentraciones entre 20-30 mg son tóxicas para las plantas, aunque en ocasiones, grandes cantidades de cobre (20-200 mg) pueden ser toleradas por las plantas, si éste elemento es aplicado como fungicida. Niveles menores de 4 mg de materia seca, indican deficiencia en las plantas.

Generalmente, cuando el Cu está en niveles tóxicos puede inducir alteraciones en las células, debido a sus propiedades redox. El Cu cataliza

la formación de algunos radicales libres dañinos, como algunas especies reactivas de oxígeno y compuesto peróxidos, los cuales causan una oxidación rápida. Estos efectos tóxicos que inducen el incremento en los estados de oxidación de las células, pueden ser inhibidos por mecanismos antioxidativos. Varias enzimas del metabolismo oxidativo están involucradas en estos mecanismos, algunas de éstas son las peroxidasa (PODs), catalasas y superóxido dismutasas (SODs) (Ei-Lu *et al.*, 2002).

El cobre forma parte de tres enzimas: la ácido ascórbico oxidasa, la polifenol oxidasa y la tirosinasa. Este elemento también está presente en las amino oxidasas. Numerosas enzimas requieren como cofactor al cobre. Algunos ejemplos de estas es la plastocianina, la cual interviene en la fotosíntesis y la hemocianina que interviene en el transporte de oxígeno de los invertebrados. La rusticianina, es una proteína que contiene Cu en su molécula. El cobre es un componente de las enzimas citocromo oxidasa, ácido ascórbico oxidasa y polifenol oxidasa que reducen el oxígeno molecular. El cobre también participa en la desnaturalización e hidroxilación de ácidos grasos.

La concentración de cobre en la solución del suelo, así como su disponibilidad está controlada por el pH, textura, interacción con otros nutrientes, adsorción a arcillas y superficies orgánicas en el suelo.

Las concentraciones de cobre en solución disminuyen con el incremento de pH y el suministro a las plantas disminuye por el incremento en adsorción. Las especies dominantes en la solución del suelo son Cu^{2+} a $\text{pH} < 7$ y $\text{Cu}(\text{OH})_2$ a $\text{pH} > 7$.

El cobre es absorbido por las plantas como ion cúprico, Cu^{2+} . Al ingresar, el cobre a los tejidos vegetales, pasa a ser un componente de la proteína del cloroplasto denominada plastocianina que participa en el sistema de transporte de electrones en el fotosistema I y II. El cobre es utilizado para la formación de clorofila. Cuando la absorción de cobre por las plantas llega a concentraciones elevadas, sus efectos incluyen reducción en vigor, disminución en el desarrollo radical y clorosis en las hojas.

Los síntomas comunes de la deficiencia de cobre incluyen la muerte descendente de las plantas de cítricos y el rajado de la cebolla y otras hortalizas. Los cereales de grano pequeño con deficiencia de cobre pueden dejar de formar panoja o grano. La toxicidad por cobre se ha asociado con suelos conteniendo de 110 a 1500 mg/kg^{-1} .

2.11 Sideróforos

Los sideróforos (del griego: transportador de hierro) son compuestos quelantes de hierro y son secretados por microorganismos. El ión férrico Fe^{3+} tiene muy poca solubilidad a pH neutro, por ende no puede ser utilizado por los organismos. Los sideróforos disuelven estos iones a complejos de Fe^{3+} que pueden ser asimilados por mecanismos de transporte activo.

Bajo condiciones anóxicas, el hierro está generalmente en el estado de oxidación $+2$ (ferroso) y soluble. Sin embargo, bajo condiciones óxicas, el hierro se encuentra generalmente en la valencia $+3$ (férrico), formando varios minerales insolubles. Para obtener hierro de dichos minerales, las células producen sideroforos acoplables al hierro para la unión y transporte hacia dentro de la célula. Gran parte de los sideroforos consisten de derivados del ácido hidroxámico, el cual actúa muy fuerte como quelante férrico.

Otras estrategias para aumentar la solubilidad del hierro y su aceptación por parte de la célula son: la acidificación del entorno (usado por raíces de plantas) o la reducción extracelular del Fe^{3+} a iones de Fe^{2+} más solubles.

2.11.1 *Pseudomonas fluorescens* como productoras de sideróforos

Es un bacilo Gram-negativo (Figura 11), recto o ligeramente curvado pero no vibrioide, es saprófito, (todo lo que ingiere pasa a través de la pared de su citoplasma) y se puede encontrar en suelo y agua.



Figura 11. Micrografía electrónica de raíz de trigo colonizada por *P. fluorescens*. Tomado de: www.wikipedia.org

La clasificación sistemática de *P. fluorescens* se consigna en el siguiente cuadro.

Cuadro 4. Clasificación sistemática de *P. fluorescens*.

Reino: *Bacteria*

Filo: Proteobacteria
Clase: Gamma Proteobacteria
Orden: Pseudomonadales
Familia: Pseudomonadaceae
Género: Pseudomonas
Especie: P. fluorescens

Es incapaz de formar esporas y crece aeróbicamente. La temperatura óptima para su desarrollo es de 25 a 30°C, aunque puede crecer desde los 5 hasta los 42°C aproximadamente. No crece bajo condiciones ácidas (pH ≤ 4.5) y necesita preferentemente pH neutro. Tiene movimiento activo en líquido por sus flagelos polares (más de 1). Su pigmento fluorescente (fluoresceína) la hace reaccionar frente a la luz ultravioleta. Crecen en un medio mineral con iones de amonio o nitrateo y un solo compuesto orgánico que funciona como única fuente de carbono y energía. La ganancia energética es obtenida por respiración aeróbica, no por fermentación y su crecimiento es rápido. Abundan en la superficie de las raíces, ya que son versátiles en su metabolismo y pueden utilizar varios sustratos producidos por las mismas, pero no establecen una relación simbiótica con la planta.

Una de las características de *P. fluorescens* es su alta capacidad de solubilización del fósforo y la realizan por dos vías: la primera es la producción de ácidos orgánicos (ácido cítrico, ácido oxálico, ácido glucónico) que actúan sobre el pH del suelo favoreciendo la solubilización del fósforo inorgánico y liberando el fosfato a la solución del suelo. La otra vía de acción es a través de las fosfatasas que son enzimas hidrolasas (monoesterasas y diesterasas fosfóricas) que actúan sobre las uniones ésteres liberando los grupos fosfatos de la materia orgánica a la solución del suelo. Ambas vías generan una mayor cantidad de fosfato para ser absorbido por las raíces de las plantas. Otro aspecto destacable es la posibilidad de que las *P. fluorescens* posean la virtud de producir sustancias estimuladoras del crecimiento, ya que las *Pseudomonas* en general pertenecen a un grupo llamado “estimuladores del crecimiento vegetal (MECV)” que poseen la propiedad de producir estas sustancias, cuyas principales ventajas son las de estimular la germinación de las semillas.

También acelera el crecimiento de las plantas especialmente en sus primeros estadios, induce la iniciación radical e incrementa la formación de raíces y pelos radiculares. Las principales sustancias estimuladoras producidas son de tipo hormonal como auxinas, giberelinas y citoquininas, pero también producen sustancias de otro tipo como aminoácidos y promotores específicos del crecimiento. Estos efectos se dan siempre que sea adecuada la concentración de organismos en el sistema radicular y en el suelo haya suficiente cantidad de materia orgánica.

Los sideróforos tienen grandes potencialidades en el control biológico, de hongos y bacterias fitopatógenas y han despertado gran interés en los últimos años. La producción de sideróforos por *Pseudomonas* spp., es una alternativa a tener en cuenta para la preparación de productos biológicos, en el control de microorganismos fitopatógenos en la agricultura (Díaz, 2002).

Particularmente las bacterias del género *Pseudomonas* familia *Pseudomonadeaceae* producen sideróforos tipo hidroxamatos generalmente, siendo algunos carentes de este grupo como la pioquelina de la especie *P. aeruginosa*. Sin embargo, como *P. stutzeri* que produce un trihidroxamato incoloro llamado nocardamina, *P. fluorescens* produce pseudobactina y otros como: ferribactina, siringomicina y ferrioxamina.

La pseudobactina producida por un miembro de la *P. fluorescens* B10, es un pigmento verde-amarillento, soluble en agua, extracelular, el cual fluoresce bajo irradiación con luz ultravioleta. Su estructura química consiste en un hexapéptido lineal, con L-lys-D-threoB-OH asp-L-ala-D-allo-thr-L-ala-D-N5-OH-orn, en el cual el N5-OH nitrógeno de la ornitina está ciclizado con el grupo carboxilo terminal, y el grupo amino N5 de la lisina, fue ligado vía unión amida a un derivado quinoleina fluorescente. Este compuesto es caracterizado por su espectro en el rango visible. El rango del espectro del quemador libre incluye un pico a 400 nm. Como pseudobactina férrica un borde es formado a 450 nm y la fluorescencia es menor. Análisis espectroscópico NMR del compuesto pioverdina producido por *P. fluorescens* ATCC-13525 sugiere una estrecha similitud a la estructura de pseudobactina, con una discrepancia posible en que la cadena diamina succinil unido a la quinoleina puede no ser el mismo.

La producción de sideróforos es sensitivo a la temperatura, como se ha encontrado en cepas de RPCP B10 y B4 a 33°C fue únicamente 92% y 13.5% respectivamente, que a 28°C. Por otro lado se ha encontrado que un mínimo de 20 genes arreglados en cuatro grupos de genes ligados han sido identificados como esenciales para la biosíntesis de pseudobactina. Asimismo, en otra cepa de *P. syringae* pv. *syringae* JL-200 se ha encontrado que cuatro genes ligados están envueltos en la biosíntesis de su pigmento fluorescente, estos genes salvo pocas excepciones también controlan la habilidad de la cepa JL-200 a crecer bajo condiciones limitantes de fierro. Finalmente la habilidad de una *P. fluorescente* para usar otro sideróforo de otras bacterias productoras, parece depender de que éstos tengan posesión de una proteína receptora de la membrana externa para el sideróforo.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación de los Experimentos

La presente investigación se llevó a cabo en el Colegio de Postgraduados en tres etapas: La primera se realizó en el Laboratorio de Genética

Molecular del Instituto de Recursos Genéticos y Productividad (IREGEP), la segunda en un invernadero perteneciente al programa de Edafología del Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas, y la tercera en campo.

Ubicación: Montecillo, Mpio. de Texcoco, Edo. de México, situado geográficamente a una altitud de 2250 msnm, latitud norte 19° 29' y longitud oeste 98° 54' (información de la estación Agroclimatológica del Colegio de Postgraduados en Montecillo, México).

3.2 Material Biológico

El material genético utilizado en esta investigación consistió de 6 variedades de semillas de Amaranto selección 2005, proporcionadas por el Dr. Antonio Trinidad Santos del programa de Edafología del Instituto de Recursos Naturales (IRENAT) del Colegio de Postgraduados. Cuatro son fenotipos seleccionados: **1.** Línea 1, **2.** Mercado, **3.** Nepal y **4.** Tulyehualco; y dos son fenotipos criollos: **5.** Criolla Tulyehualco y **6.** Criolla Mixteca, las que fueron utilizadas para el desarrollo del presente trabajo.

3.3 Caracterización de las semillas

Las semillas de los seis fenotipos de amaranto (*A. hypochondriacus* L.) fueron caracterizados de acuerdo a dos pruebas de calidad física: peso de 100 semillas e incremento en peso por absorción de agua (imbibición) y las pruebas de calidad fisiológica: porcentaje de germinación, velocidad de germinación (T_{50}) que es el tiempo en que germina el 50% de la semilla viable, emergencia de plántulas y vigor. Las cinéticas de germinación y de germinación acumulada también fueron determinadas.

3.4 Calidad física

3.4.1 Determinación del peso de 100 semillas

El peso de 100 semillas (mg) se obtuvo con la ayuda de una balanza analítica (Mettler Zurich, No. 123521 cap. 160 g.), en la cual se pesaron 10 lotes de 100 semillas de cada uno de los seis fenotipos de semilla de amaranto referidas, para después obtener los siguientes parámetros estadísticos: peso promedio de 100 semillas, varianza, desviación estándar y el coeficiente de variación.

3.4.2 Determinación del incremento en peso por absorción de agua (imbibición)

En una balanza electrónica Sartorius se pesaron 3 gramos de cada fenotipo de semilla de amaranto y se colocaron en bolsas de tela de plástico, y la boca fue sujeta con bandas elásticas. Las semillas se sometieron a un

proceso de imbibición durante 2 minutos en un recipiente con 1 L de agua destilada aireada mediante burbujeo constante y mantenida a temperatura ambiente. Inmediatamente después las semillas se centrifugaron durante 3 minutos en una centrifuga clínica (Damon/IEC DIVISION) a 2400 x g para eliminar el agua externa de las semillas. A continuación, el peso de las semillas se determinó con una balanza electrónica Sartorius. Este proceso se repitió cada hora a lo largo de un periodo de seis h para evaluar el incremento en peso por absorción de agua, expresado en gramos.

3.5 Germinación de la semilla de amaranto en presencia de soluciones de herbicidas, ácido acetilsalicílico, ácido salicílico, ácido sulfosalicílico, sulfato de cobre y el sobrenadante de medio gastado

Los productos agroquímicos que se eligieron para tratar a las semillas de amaranto fueron: el herbicida Doble Super de la casa Syngenta cuyos ingredientes activos son: Paraquat y Diquat, las concentraciones utilizadas fueron, en $\mu\text{L}/\text{mL}$: 1, 0.6 y 0.006; el herbicida Hierbamina Comercial de la casa Syngenta su ingrediente activo es el ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D), 0.006 $\mu\text{L}/\text{mL}$, y el reactivo químicamente puro 2,4-D de la casa *Nutritional Biochemicals Corporation*, 1.35×10^{-5} M; ácido acetilsalicílico (AAS) de la casa Sigma, ácido salicílico (AS) de la casa Sigma y ácido sulfosalicílico (ASS), 1.35×10^{-5} M; sulfato de cobre de la casa Baker, 100 $\mu\text{g}/\text{mL}$ y el sobrenadante de medio gastado de los cultivos bacterianos Ca7, Ca9m y Cavm. La germinación se registró como: germinación diaria, germinación acumulada y basados en las gráficas de germinación acumulada se determinó la velocidad de germinación (T_{50}).

3.6 Calidad fisiológica

3.6.1 Pruebas de germinación y determinación de la velocidad de germinación (T_{50})

El proceso de germinación se llevó a cabo de la siguiente forma: 3 lotes de 100 semillas fueron colocados sobre dos capas de papel filtro en cajas Petri de plástico transparente (90 mm de diámetro x 15 mm de altura). Para humedecer el papel filtro fueron agregados 3.5 mL de agua destilada, o de las soluciones de herbicida Doble Super, Hierbamina, 2,4-D, AAS, AS y ASS, solución de CuSO_4 , así como sobrenadante de medio gastado de los cultivos bacterianos. La semilla fue colocada en una cámara de germinación mantenida a la temperatura de $26 \pm 1^\circ\text{C}$ y en oscuridad. A los tiempos indicados se contaron las semillas germinadas que fueron aquellas en las que la radícula había emergido y tenía aproximadamente menos de 1 mm de longitud. Las determinaciones se hicieron diariamente durante 12 días. Los resultados se expresan en porcentaje, considerando la germinación diaria así como la germinación acumulada.

3.6.2 Vigor de plántulas

Para determinar el vigor de plántulas se utilizaron 3 repeticiones de 25 semillas de cada uno de los fenotipos de amaranto, las cuales se germinaron conforme a la metodología descrita de la prueba de germinación (3.6.1), durante 16 h se germinaron; de estas 25 semillas, se seleccionaron

20 semillas de cada fenotipo, las cuales fueron colocadas en uno de los márgenes de toallas de papel absorbente clásica interdoblada de 22 x 24 cm, previamente humedecido y retirado el exceso de agua. Previo a esto cada papel en posición vertical se rotuló en la esquina superior derecha indicando la variedad y número de repetición. Las toallas se enrollaron de tal forma que todas las semillas quedaran en un extremo del rollo.

Después, cada uno de los rollos correspondientes a un mismo fenotipo se colocaron en posición vertical dentro de una bolsa de plástico transparente (30 x 45 cm) con el propósito de mantenerlos con humedad y temperatura constante. Finalmente la bolsa se colocó en posición vertical con las semillas germinadas en la parte superior de los rollos, como se muestra en la Figura 12 dejando espacio para el desarrollo de los tallos y en presencia de la luz. El cuarto de incubación se mantuvo a una temperatura de 26-29°C y fotoperíodo de 16 h luz. Después de 3 ó 4 días se procedió a evaluar la longitud de la parte aérea de los 6 diferentes fenotipos de amaranto, utilizando una regla graduada.



Figura 12. Método seguido para el desarrollo de las plantulas de amaranto.

3.6.3 Determinación del peso de materia seca

El peso de materia seca de lotes de 50 plántulas, 5 días después de la germinación se llevó a cabo separando con un bisturí las raíces de los tallos, los cuales se colocaron sobre papel de cera (11 x 14 cm). Después de secarlos en una estufa Blue M por lapso de 1 h a 26°C, se transfirieron a una cámara de secado (Curtin Scientific Co.) conservada a 65°C donde permanecieron durante 1 semana.

El peso de la biomasa de la raíz y del tallo fue determinado en una balanza analítica Metler y el peso de la materia seca total se determinó sumando los valores obtenidos de la materia seca de raíz con el peso de materia seca del tallo con el follaje, donde permanecieron hasta obtener un peso constante (1 semana).

3.7 Determinación de emergencia en invernadero

De acuerdo al método de germinación descrito (3.6.1), 100 semillas de cada fenotipo fueron germinadas en agua y en presencia de la solución 3 de Doble Super. Después de 16 h de incubación, 25 semillas germinadas en agua destilada y 25 semillas germinadas con la solución 3 de cada uno de los fenotipos fueron seleccionadas.

3.7.1 Contenedores y sustrato

Las semillas germinadas en un término de 16 h (3 de octubre de 2006) fueron transferidas a contenedores de plástico de 128 cavidades que contenían *peat moss* y arena de monte 3:1 y se conservaron en un invernadero de vidrio.

3.7.2 Riego

Los riegos fueron realizados diariamente con agua de la llave y aplicada con sumo cuidado para evitar la pérdida de sustrato.

3.7.3 Aspersión con soluciones de herbicida Doble Super

A los 27 días después de la germinación, cuando las plántulas alcanzaron la longitud aproximada de 15 cm, una plántula de cada fenotipo fue transferida a maceta de 4 kg que contenía el mismo tipo de sustrato. Todas las demás plántulas fueron asperjadas con una solución que contenía 1 mL del herbicida Doble Super en 100 mL de agua destilada con cuidado y a todas las hojas. El desarrollo de todas las plántulas fue seguido de cerca hasta que éstas produjeran semilla.

El peso de 100 semillas producidas por estas plántulas fue determinado de acuerdo al método descrito.

3.8 Variables morfológicas determinadas

3.8.1 Longitud de planta

A las 25 plantas de cada tratamiento se tomaron datos de longitud, color de haz, envés y tallo así como número de hojas. Con la ayuda de una regla de plástico de 30 cm de longitud fue determinada diariamente la longitud de las plantas (del nivel del suelo hasta el ápice). Estas determinaciones se llevaron a cabo diariamente durante 23 días.

3.8.2 Número de hojas

Todas las plantas con hojas fotosintéticamente activas que midieran más de 1 cm de longitud fueron consideradas.

3.8.3 Color de hojas (haz y envés) y tallo

De manera visual se estimó la coloración de las hojas (haz y envés) así como la coloración del tallo.

3.9 Obtención de los cultivos bacterianos de *P. fluorescens*

Tres cepas bacterianas de *P. fluorescens*: Ca7, Ca9m y Cavm del cepario del Laboratorio de Genética Molecular fueron utilizadas. De cada una se prepararon cultivos en medio B de King sólido que sirvieron para preparar los correspondientes cultivos (3 mL) de medio B de King líquido, transfiriendo con una asa las células de los tubos de agar inclinado al medio de cultivo líquido bajo condiciones de asepsia. Los cultivos se incubaron durante 24 horas en un agitador (150 oscilaciones por minuto) a la temperatura de $29 \pm 1^\circ\text{C}$. En matraces de 125 mL de capacidad que contenían 20 mL de medio mínimo sin hierro (M-Fe) fueron transferidas muestras alícuotas de 100 μL del cultivo desarrollado en el medio B de King.

Estos cultivos fueron incubados en las mismas condiciones descritas durante 72 h para finalmente determinar su grado de turbidez con la ayuda de un espectrofotómetro Coleman Junior modelo II a 660 nm. Los cultivos fueron centrifugados en tubos de ensaye en una centrifuga clínica (Damon/IEC DIVISION) a $2400 \times g$ durante 10 min. a temperatura ambiente. Después de separar por decantación el sobrenadante de las células, se determinó en dicho espectrofotómetro la producción de pigmento verde fluorescente a 440 nm.

3.10 Estimación de 10 características fenotípicas de plantas de amaranto desarrolladas en campo

El día 7 de julio de 2007 se establecieron 3 plantas de cada fenotipo de amaranto en campo a 1 metro de distancia entre planta, en un área de 28 m². Las plantas se desarrollaron hasta el estado fenológico de maduración de grano para posteriormente en el invernadero, después de lavar las raíces con abundante agua de la llave fueron separados el tallo de la raíz. Los dos órganos de cada planta, fueron secados de acuerdo al procedimiento descrito (3.6.3) con las siguientes variantes: los órganos permanecieron en la incubadora Blue M durante 1 semana y en la cámara de secado Curtin Scientific durante 8 días. La materia seca fue pesada en una balanza Sartorius, se promedió y se determinó la relación raíz/tallo. También se estimaron 7 características fenotípicas más: días a la maduración de la semilla, longitud de raíz y de tallo, número de ramificaciones, número de hojas, número de panojas, color de panojas y con los datos obtenidos se obtuvieron los promedios.

3.11 Diseño experimental y análisis de datos

El diseño experimental utilizado fue un diseño factorial para evaluar los efectos principales de las soluciones sobre las variedades: 6 x 6, correspondiente a las seis soluciones de herbicidas y seis variedades, 4 x 6 correspondiente a las cuatro soluciones de ácido salicílico y compuestos análogos, 5 x 6 correspondiente a las cinco soluciones de sulfato de cobre y

sobrenadantes de medio gastado. La unidad experimental consistió de 100 semillas y el número de repeticiones fueron 3.

Posteriormente, en caso de efecto significativo de las interacciones, se procedió a analizar mediante la utilización de un diseño completamente al azar, la interacción, tomando en cuenta las combinaciones de tratamientos para poder discriminar las diferencias entre soluciones por variedad.

Las variables de respuesta fueron: peso de 100 semillas, porcentaje de germinación total, velocidad de germinación, longitud de plántulas y peso de materia seca, a las cuales, se les practicó el análisis de varianza con un nivel de significancia de 5% y la comparación múltiple de medias se llevó a cabo por el método de Tukey y la información se analizó con el sistema SAS (Statistical Analysis System versión 8).

Los datos fueron capturados en una computadora portátil, directamente en el campo las fotografías fueron tomadas con una cámara digital CASIO® de 5 megapíxeles. Los resultados se representaron gráficamente utilizando el programa Excel de Microsoft® y SigmaPlot de Jandel Scientific, para computadora personal.

IV. RESULTADOS

4.1 Material Biológico

La apariencia física de las semillas se presenta en la Figura 13. El fenotipo Criolla Mixteca es diferente a las demás semillas porque su color es negro y brillante.

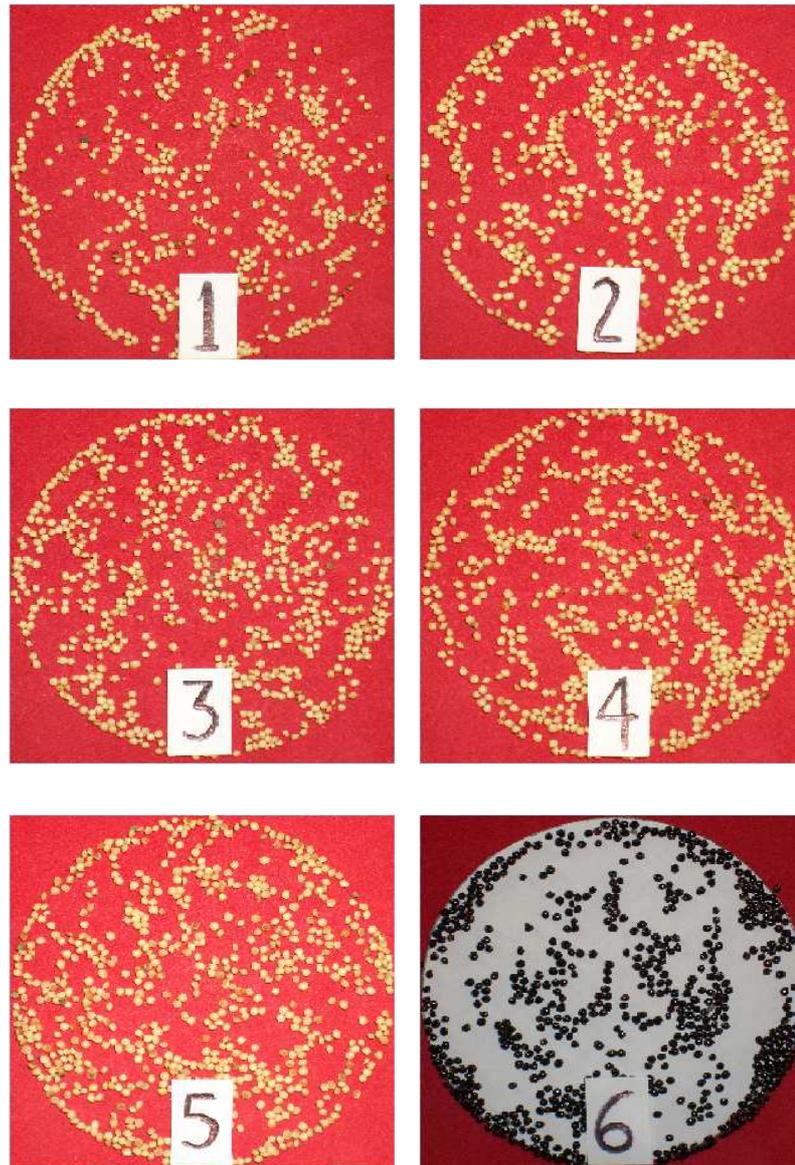


Figura 13. Aspecto de la semilla de los fenotipos de semillas de amaranto utilizadas en la presente investigación: **1.** Línea 1; **2.** Mercado; **3.** Nepal; **4.** Tulyehualco; **5.** Criolla Tulyehualco y **6.** Criolla Mixteca.

4.2 Análisis de las características físicas de la semilla

4.2.1 Peso de 100 semillas

Los resultados obtenidos para la variable peso de 100 semillas de los seis fenotipos de amaranto se presentan en el Cuadro 5, se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$). Los fenotipos Tulyehualco y Mercado corresponden a las semillas de mayor peso con 93 mg y 92 mg, respectivamente. Criolla Mixteca es el que tiene el menor peso

con un promedio de 67 mg. En las Figuras 14 y 15 se presentan los valores de los pesos de 10 lotes de 100 semillas de manera descendente.

Cuadro 5. Peso de 100 semillas de fenotipos de amaranto. Los pesos representan el promedio de 10 muestras de semilla de cada fenotipo.

Fenotipo	Peso de 100 semillas (mg)*
Tulyehualco	93 a
Mercado	92 a
Criolla Tulyehualco	80 b
Línea 1	75 c
Nepal	80 d
Criolla Mixteca	67 d

*Valores de la media con letra distinta son estadísticamente diferentes (Tukey; 0.05).

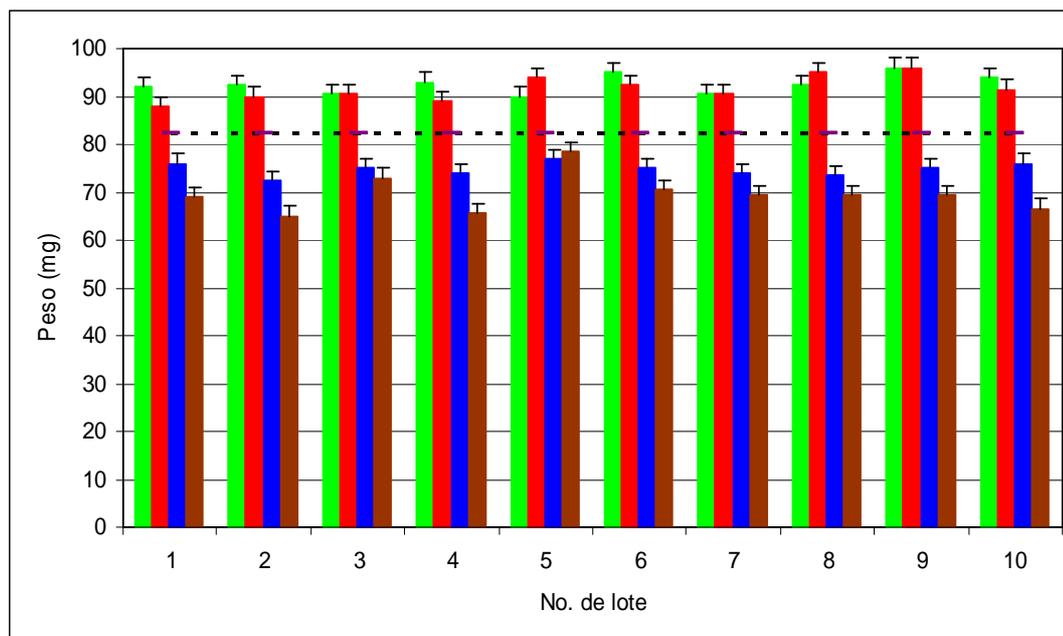


Figura 14. Peso de 10 lotes de 100 semillas de los 4 fenotipos seleccionados de amaranto: Línea 1 (■), Mercado (■), Nepal (■) y Tulyehualco (■). Línea punteada indica la media.

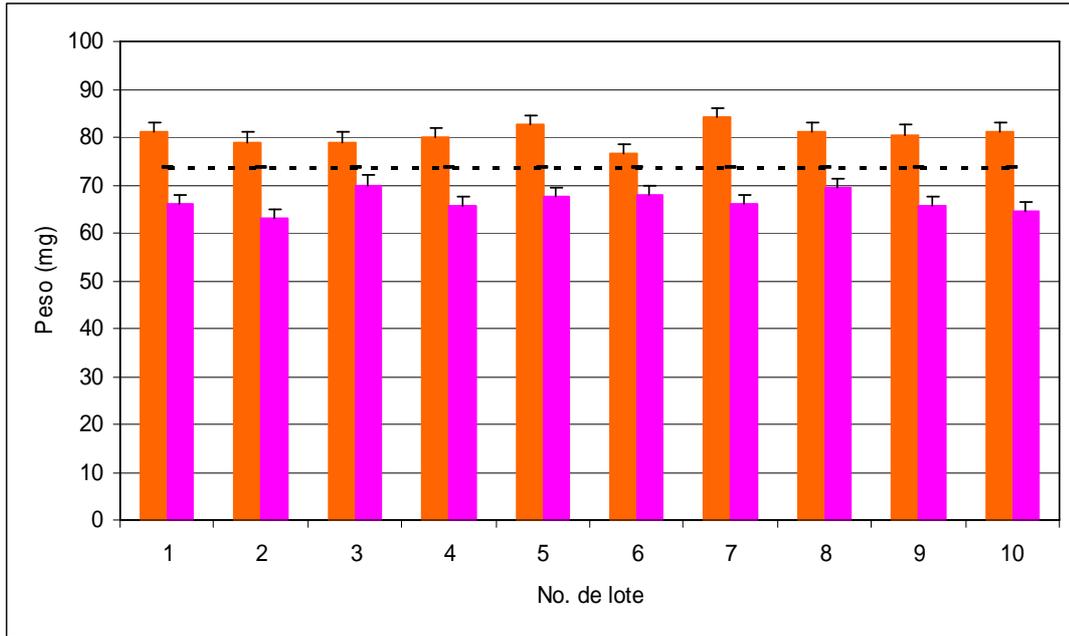


Figura 15. Peso de 10 lotes de 100 semillas de los 2 fenotipos criollos de amaranto: Criolla Tulyehualco (■) y Criolla Mixteca (■). Línea punteada indica la media.

En la Figura 16 se observa el peso promedio de 10 lotes de 100 semillas.

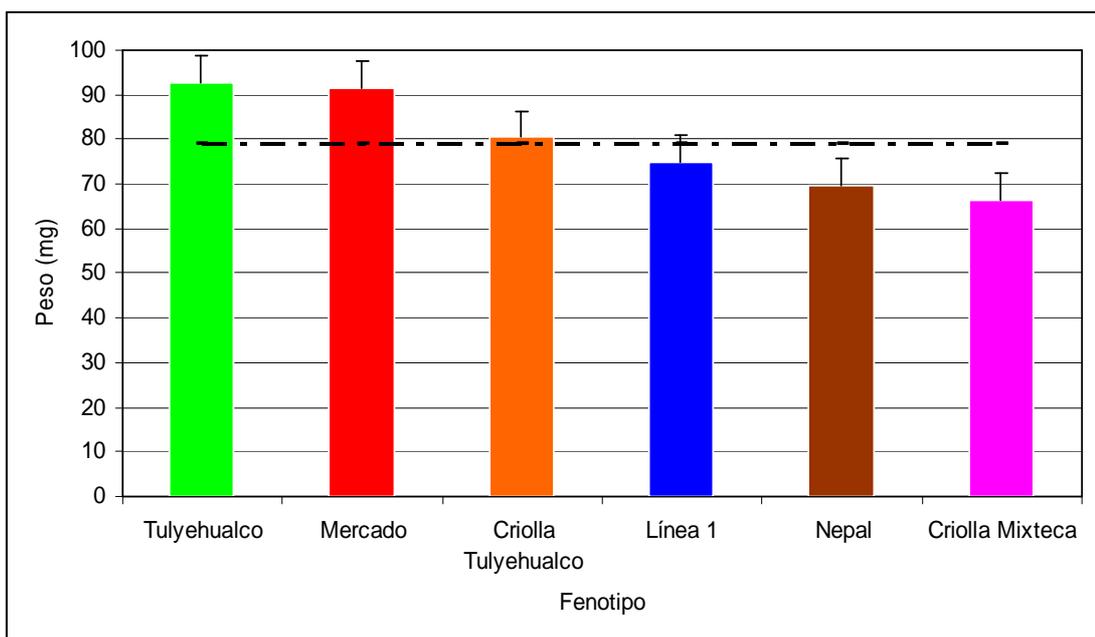


Figura 16. Peso promedio de 10 lotes de 100 semillas de los 6 fenotipos de amaranto indicados. Línea punteada indica la media.

Los resultados de los cálculos del coeficiente de variación, desviación estándar y varianza del peso de 10 lotes de 100 semillas de cada fenotipo se presentan en el Cuadro 6. Una observación importante fue que el fenotipo Nepal presentó la variabilidad más alta que el resto de los fenotipos: 15.5, lo cual nos indica que es la semilla más heterogénea en tamaño por consiguiente del peso y forma, mientras que la menor variabilidad fue registrada por el fenotipo Línea 1, lo que nos indica que es la semilla más homogénea.

Cuadro 6. Descripción del coeficiente de variación y desviación estándar de 10 lotes de 100 semillas de los 6 fenotipos de amaranto indicados.

	Coeficiente de variación (%)	Desviación estándar (mg)
Línea 1	1.8	1.3
Mercado	2.9	2.6
Nepal	4.9	3.9
Tulyehualco	2.1	2.0
Criolla Tulyehualco	2.6	2.0
Criolla Mixteca	3.3	2.2

4.2.2 Imbibición

Los resultados del incremento en peso por absorción de agua se presentan en el Cuadro 7. Se aprecia que el incremento en peso por absorción de agua, de los 6 fenotipos empleados se encontró entre 1.13 g (Mixteca) y 1.54 g (Criolla Tulyehualco), (Figuras 17 y 18). En cada caso, 3 g de semilla seca fue sometida a imbibición en agua destilada a temperatura ambiente durante 6 h.

Cuadro 7. Determinación del incremento de peso por absorción de agua de la semilla de amaranto. En cada caso, 3 g de semilla fue pesado y los valores del incremento se obtuvieron después de imbibir la semilla durante 6 h.

Fenotipo	Incremento en peso (g)
Línea 1	1.37
Mercado	1.37
Nepal	1.38

Tulyehualco	1.31
Criolla Tulyehualco	1.54
Criolla Mixteca	1.13

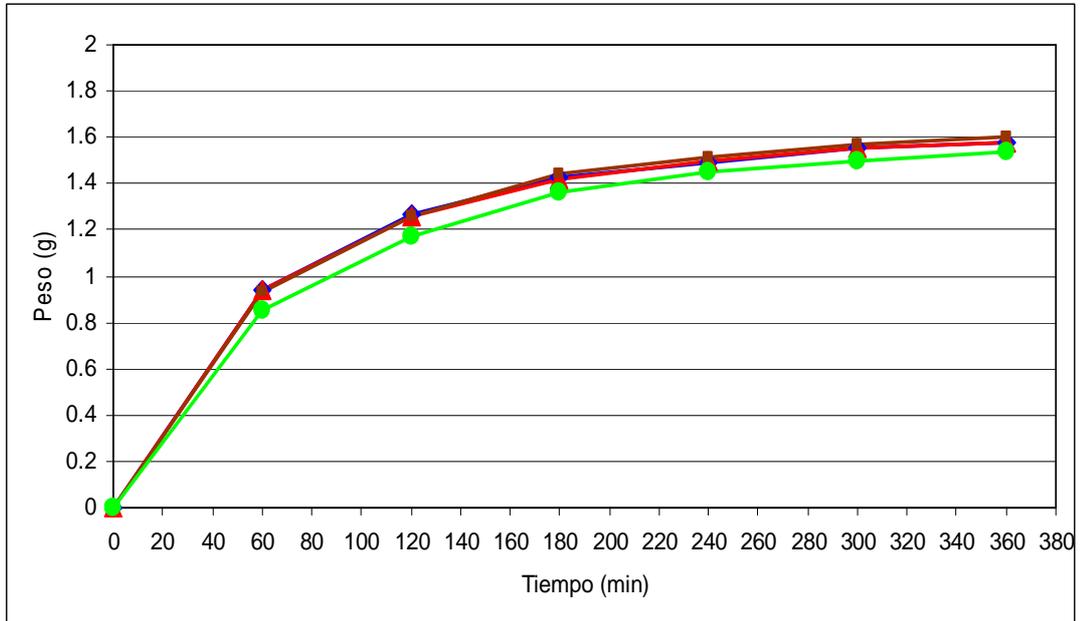


Figura 17. Incremento en peso por absorción de agua de lotes de 3 g cada uno de semillas de los 4 fenotipos seleccionados de amaranto: Línea 1 (◆), Mercado (▲), Nepal (■) y Tulyehualco (●).

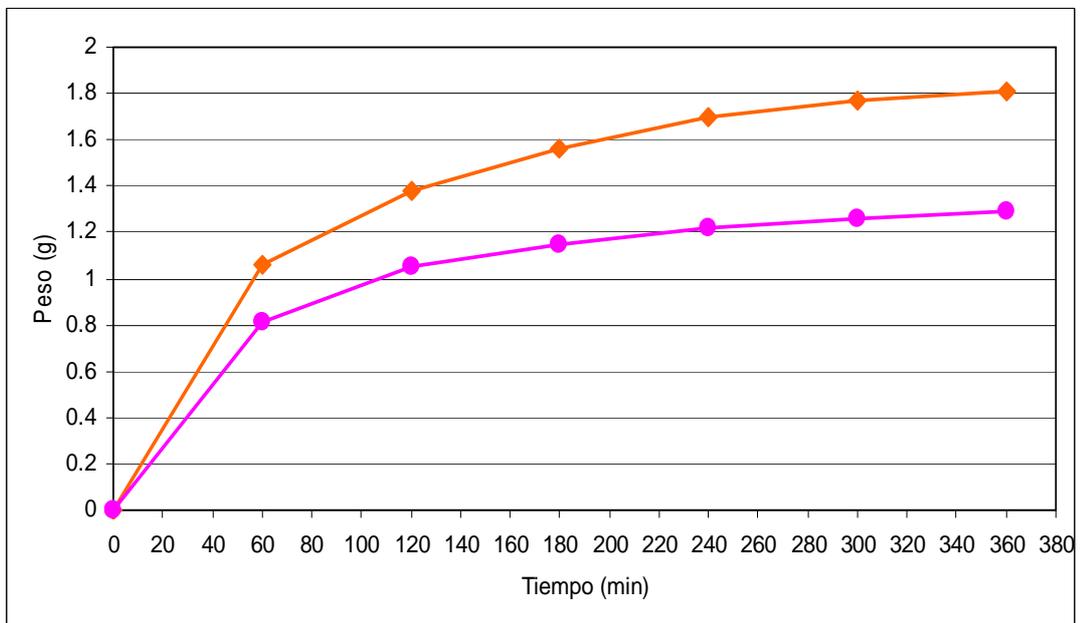


Figura 18. Incremento en peso por absorción de agua de lotes de 3 g cada uno de semillas de los 2 fenotipos criollos de amaranto: Criolla Tulyehualco (◆) y Criolla Mixteca (●).

4.3 Análisis de las características funcionales de la semilla: germinación y vigor (Velocidad de germinación: T₅₀)

4.3.1 Germinación en presencia de agua

Los resultados obtenidos para la variable porcentaje de germinación en presencia de agua se presentan en el Cuadro 8, donde se aprecian diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$). Se formaron dos grupos diferentes. El mayor porcentaje de germinación total se registró en los fenotipos Línea 1 y Tulyehualco, los fenotipos criollos presentaron una condición intermedia y la menor germinación total se registró en los fenotipos Mercado y Nepal.

Cuadro 8. Germinación obtenida de semilla de amaranto sometida a germinar en agua a la temperatura de $26 \pm 1^\circ\text{C}$. Las determinaciones de la germinación se llevaron a cabo a los 12 días y los resultados son el promedio de 3 lotes de 100 semillas.

Fenotipo	Germinación total (%)*
Línea 1	97 a
Tulyehualco	97 a
Criolla Mixteca	95 a
Criolla Tulyehualco	90 ab
Mercado	85 b
Nepal	84 b

*Valores de la media con letra distinta son estadísticamente diferentes (Tukey; 0.05).

En la Figura 19 se ilustran las cinéticas de germinación diaria de los cuatro fenotipos seleccionados y en la Figura 20 de los dos fenotipos criollos.

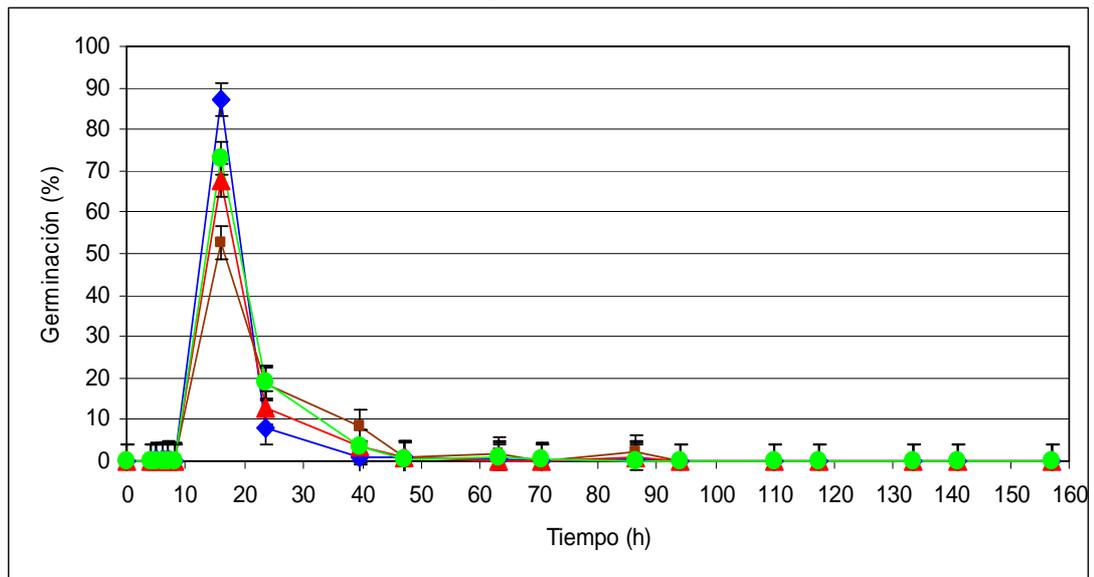


Figura 19. Cinéticas de germinación de semillas de los 4 fenotipos seleccionados de amaranto: Línea 1 (◆), Mercado (▲), Nepal (■) y Tulyehualco (●). Promedio de 3 repeticiones.

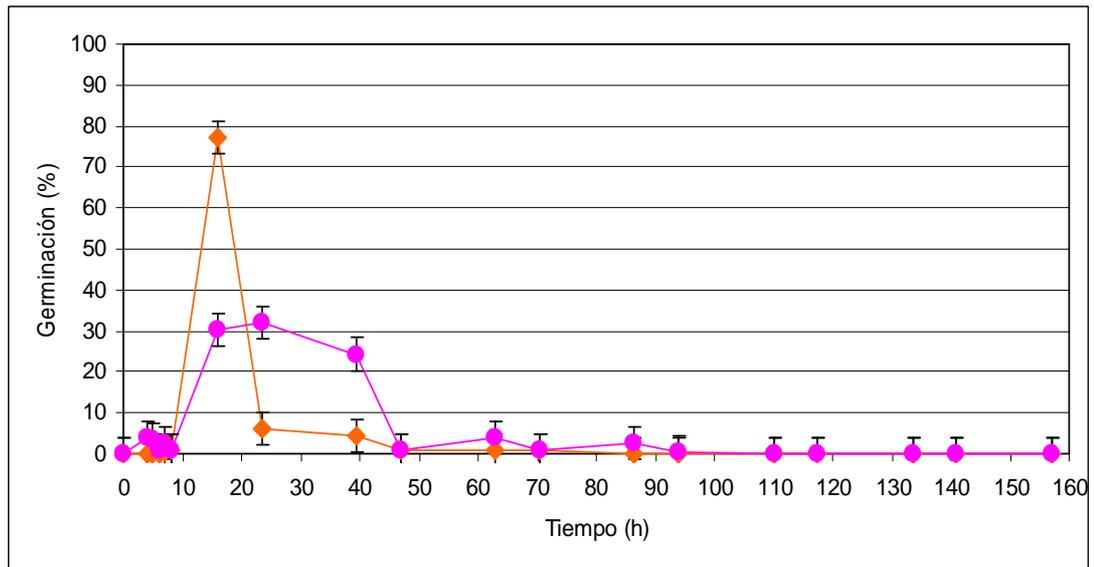


Figura 20. Cinéticas de germinación de semillas de los 2 fenotipos criollos de amaranto: Criolla Tulyehualco (♦) y Criolla Mixteca (●). Promedio de 3 repeticiones.

En la Figura 21 se ilustra la germinación acumulada de los cuatro fenotipos seleccionados y en la Figura 22 de los fenotipos criollos.

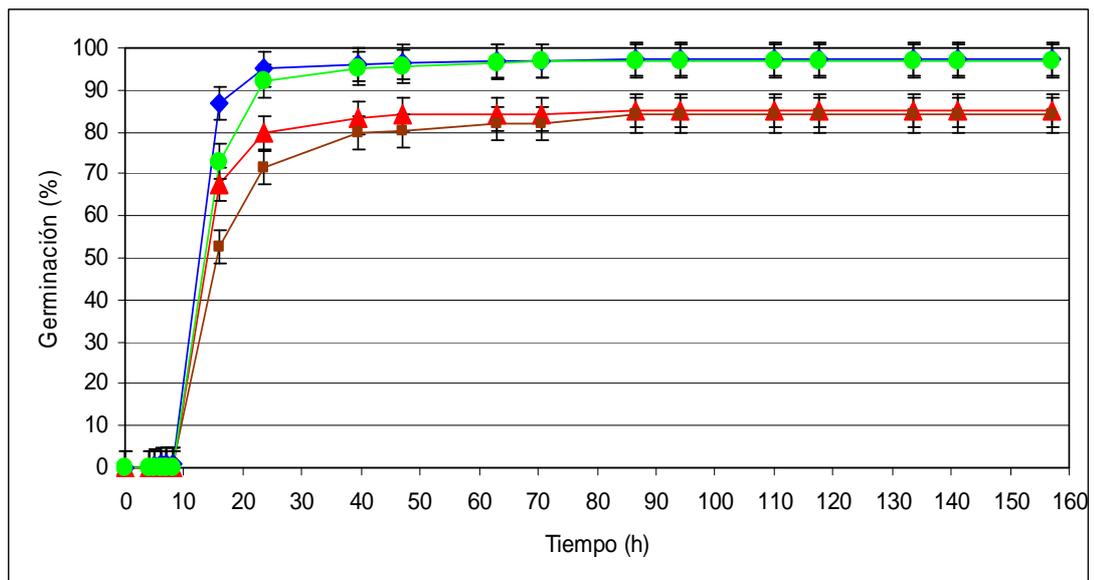


Figura 21. Germinación acumulada de semillas de los 4 fenotipos seleccionados de amaranto: Línea1 (♦), Mercado (▲), Nepal (■) y Tulyehualco (●). Promedio de 3 repeticiones.

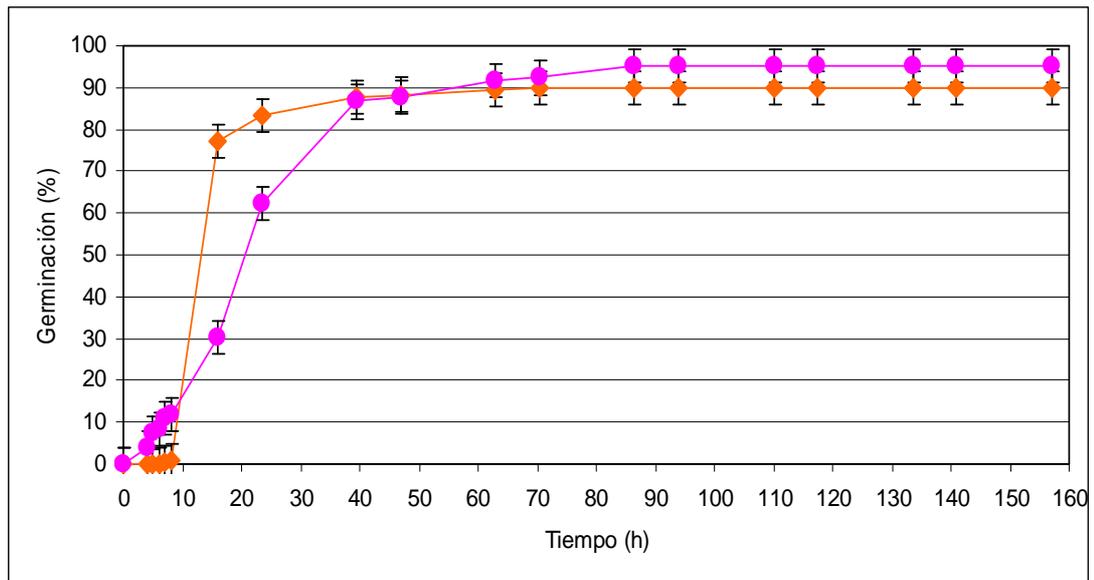


Figura 22. Germinación acumulada de semillas de los 2 fenotipos criollos de amaranto: Criolla Tulyehualco (♦) y Criolla Mixteca (●). Promedio de 3 repeticiones.

Los resultados obtenidos para la variable velocidad de germinación en presencia de agua se presentan en el Cuadro 9, donde se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$). El mayor tiempo de velocidad de germinación se registró con el fenotipo Criolla Mixteca, mientras que los otros fenotipos registraron velocidades de germinación entre 12 y 14 h.

Cuadro 9. Velocidad de germinación obtenida de semilla de amaranto sometida a germinar en agua a la temperatura de $26 \pm 1^\circ\text{C}$. Las determinaciones de la germinación se llevaron a cabo hasta los 12 días y los resultados son el promedio de 3 lotes de 100 semillas.

Fenotipo	T_{50} (h)*
Criolla Mixteca	20 a
Nepal	14 b

Mercado	13 b
Tulyehualco	13 b
Línea 1	12 b
Criolla Tulyehualco	12 b

*Valores de la media con letra distinta son estadísticamente diferentes (Tukey; 0.05).

4.3.2 Germinación en presencia de herbicidas

Los resultados obtenidos para la variable porcentaje de germinación en presencia de herbicidas se presentan en el Cuadro 10, donde se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$). En presencia de agua, no hubo diferencias en el porcentaje de germinación entre fenotipos. En presencia de la solución 1 y 2 del herbicida Doble Super hubo diferencias en el porcentaje de germinación. No hubo diferencias en el porcentaje de germinación entre fenotipos con la solución 3. El porcentaje de germinación total de todos los fenotipos fue mayor cuando germinaron en presencia de: agua, de la solución 3 del herbicida Doble Super, de la solución de Hierbamina Comercial a excepción del fenotipo Nepal; y con la solución de 2,4-D, a excepción de los fenotipos Nepal y Tulyehualco los cuales tuvieron disminución en el porcentaje de germinación. Todos los fenotipos registraron una menor germinación con las soluciones de la concentración 1 y 2 del herbicida Doble Super.

Cuadro 10. Germinación obtenida de semilla de amaranto sometida a germinar en agua, Doble Super. Hierbamina Comercial y 2,4-D a la temperatura de $26 \pm 1^\circ\text{C}$. Las determinaciones de la germinación se llevaron a cabo a los 12 días y los resultados son el promedio de 3 lotes de 100 semillas.

	Germinación total (%)*					
	Solución					
	Agua	1 $\mu\text{L}/\text{mL}$	0.6 $\mu\text{L}/\text{mL}$	0.05 $\mu\text{L}/\text{mL}$	Hm	2,4-D
Línea 1	97 ab	61 hij	69 fgh	100 a	96 abc	97 ab
Mercado	85 abcdefg	14 n	42 klm	86 abcdef	84 abcdefg	82 abcdefg
Nepal	84 abcdefg	25 mn	46 jkl	84 abcdefg	81 bcdefg	77 defgh
Tulyehualco	97 ab	31 lmn	50 ijk	95 abc	87 abcdef	97 abc
Criolla Tulyehualco	90 abcde	67 ghi	73 efgh	85 abcdefg	83 abcdefg	79 cdefg
Criolla Mixteca	95 abc	59 hijk	72 efgh	92 abcd	92 abcd	93 abcd

*Valores de la media con letra distinta son estadísticamente diferentes (Tukey; 0.05).

En las Figuras 23-28 se representan los porcentajes de germinación diaria de los seis fenotipos de amaranto en presencia del herbicida Dobleto Super.

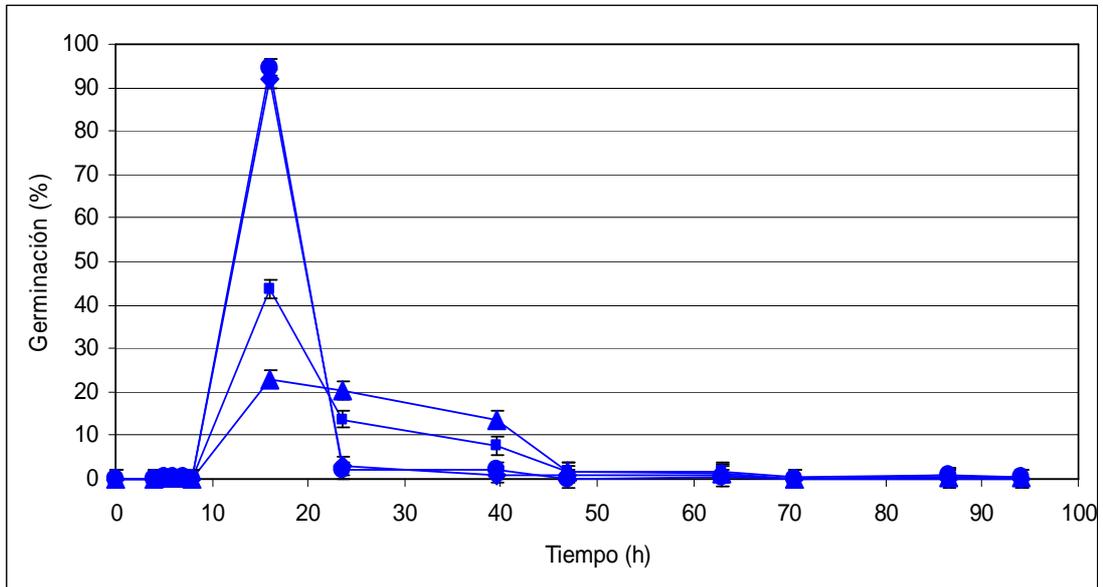


Figura 23. Cinética de germinación de amaranto Línea 1 en presencia de agua (♦), y las soluciones de herbicida Dobleto Super: Sol. 1: 1 µL/mL (▲), Sol. 2: 0.6 µL/mL (■) y Sol. 3: 0.006 µL/mL (●). Promedio de 3 repeticiones.

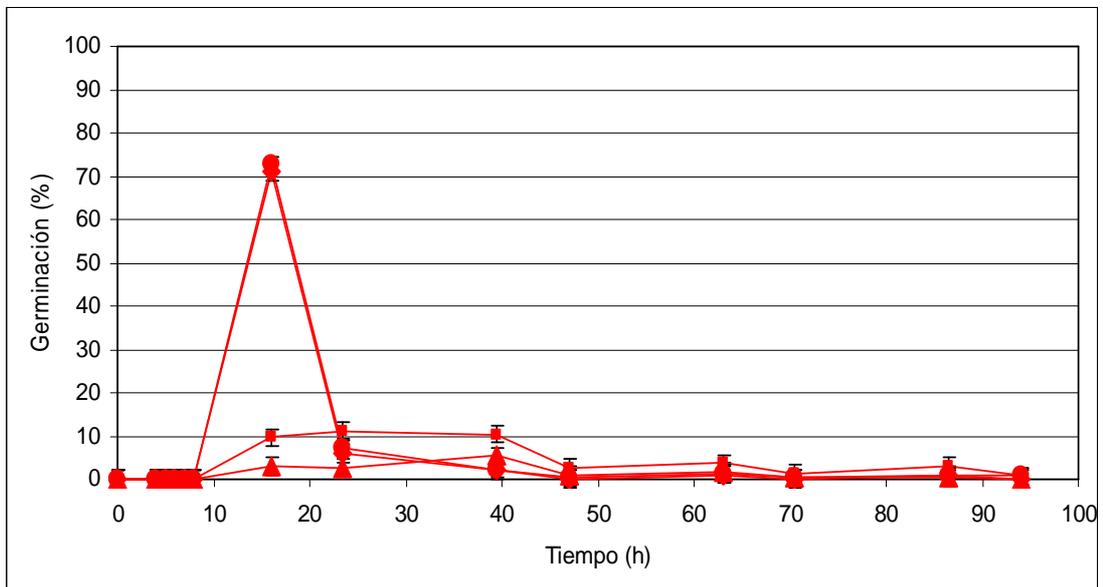


Figura 24. Cinética de germinación de amaranto Mercado en presencia de agua (♦), y tres soluciones de herbicida Dobleto Super: Sol. 1: 1 µL/mL (▲), Sol. 2: 0.6 µL/mL (■) y Sol. 3: 0.006 µL/mL (●). Promedio de 3 repeticiones.

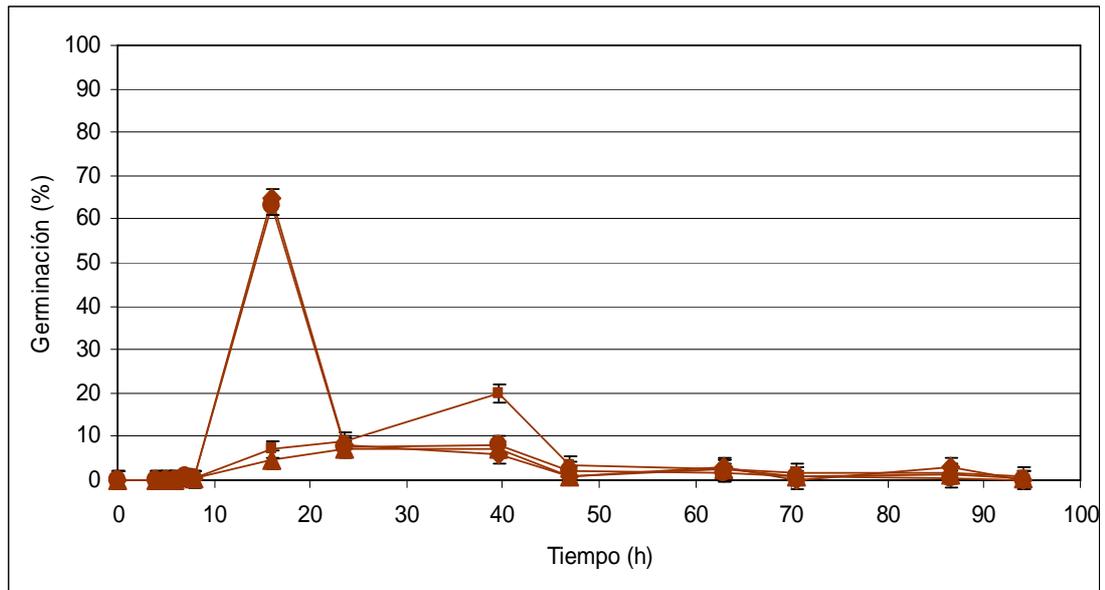


Figura 25. Cinética de germinación de amaranto Nepal en presencia de agua (♦), y tres soluciones de herbicida Doble Super: Sol. 1: 1 µL/mL (▲), Sol. 2: 0.6 µL/mL (■) y Sol. 3: 0.006 µL/mL (●). Promedio de 3 repeticiones.

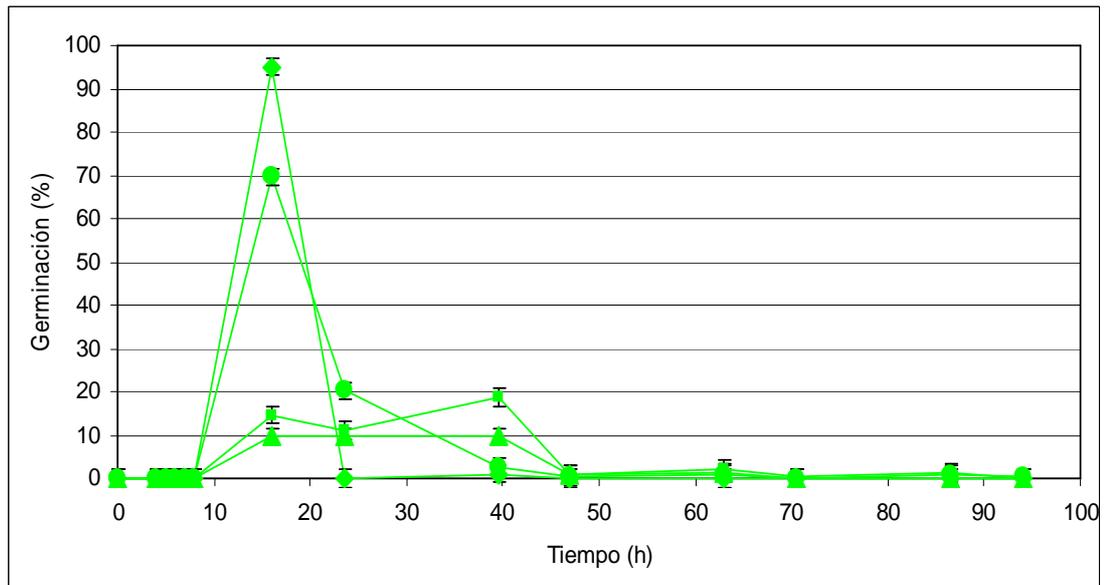


Figura 26. Cinética de germinación de amaranto Tulyehualco en presencia de agua (♦), y tres soluciones de herbicida Doble Super: Sol. 1: 1 µL/mL (▲), Sol. 2: 0.6 µL/mL (■) y Sol. 3: 0.006 µL/mL (●). Promedio de 3 repeticiones.

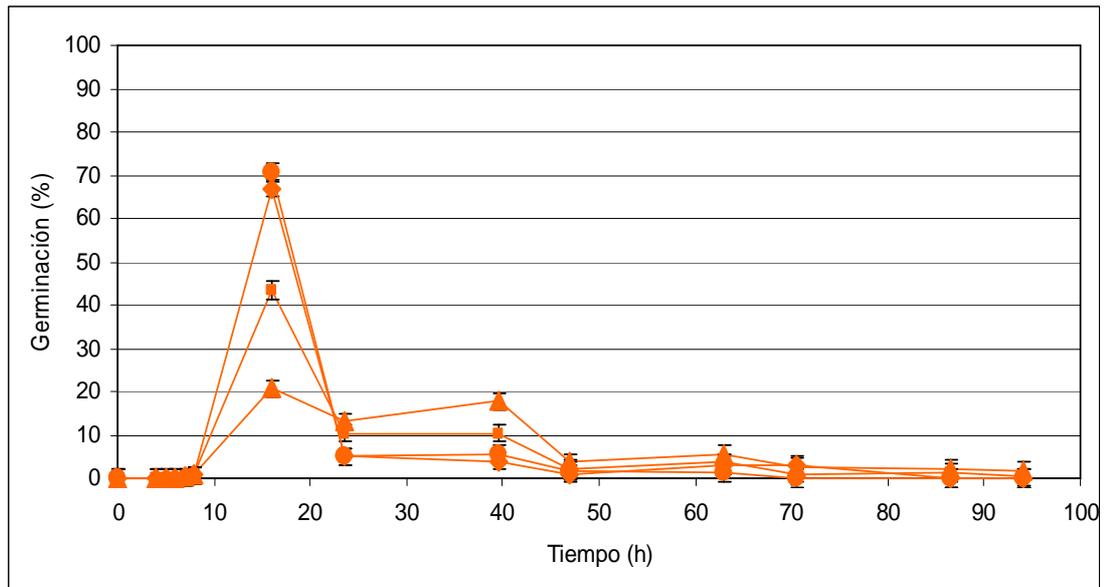


Figura 27. Cinética de germinación de amaranto Criolla Tulyehualco en presencia de agua (♦), y tres soluciones de herbicida Doble Super: Sol. 1: 1 µL/mL (▲), Sol. 2: 0.6 µL/mL (■) y Sol. 3: 0.006 µL/mL (●). Promedio de 3 repeticiones.

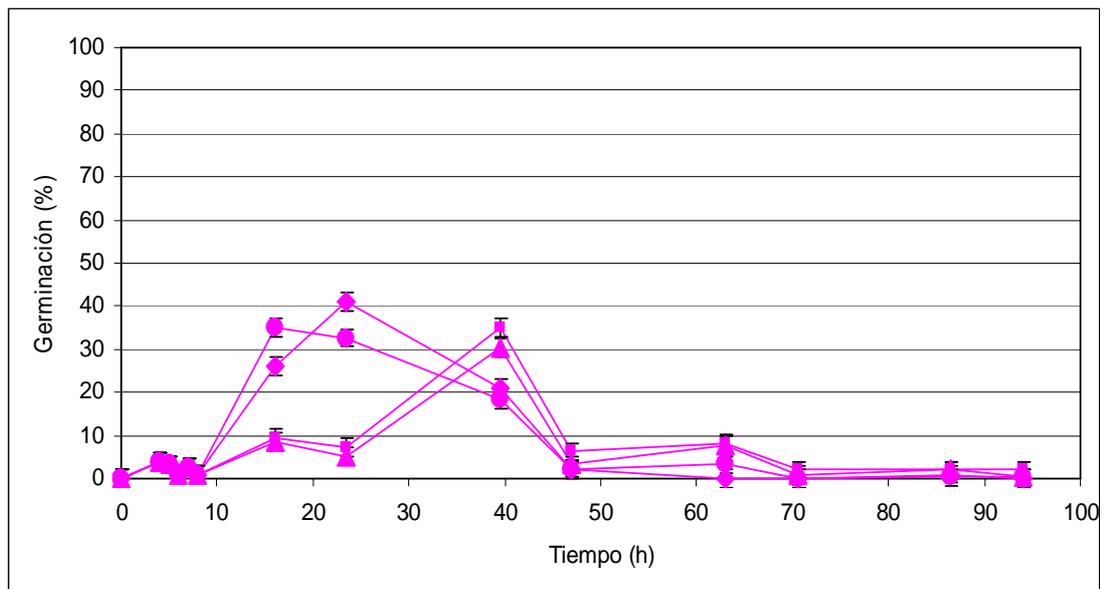


Figura 28. Cinética de germinación de amaranto Criolla Mixteca en presencia de agua (♦), y tres soluciones de herbicida Doble Super: Sol. 1: 1 µL/mL (▲), Sol. 2: 0.6 µL/mL (■) y Sol. 3: 0.006 µL/mL (●). Promedio de 3 repeticiones.

En las Figuras 29-34 se ilustran las cinéticas de germinación de los seis fenotipos de amaranto en presencia del herbicida Doblete Super.

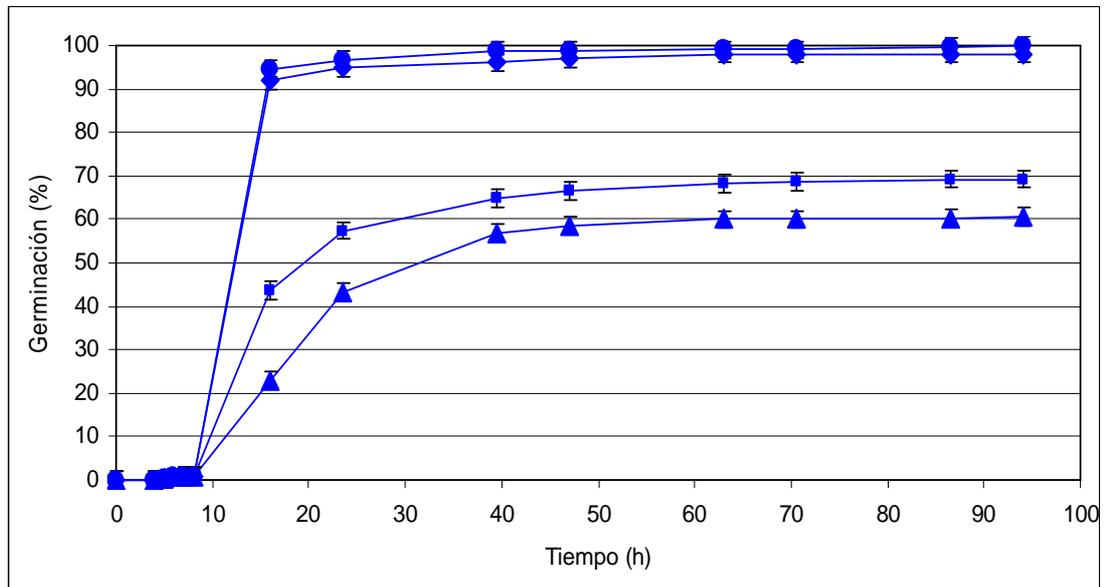


Figura 29. Germinación acumulada de amaranto Línea 1 en presencia de agua (♦), y en las soluciones de herbicida Doblete Super: Sol. 1: 1 µL/mL (▲), Sol. 2: 0.6 µL/mL (■) y Sol. 3: 0.006 µL/mL (●). Promedio de 3 repeticiones.

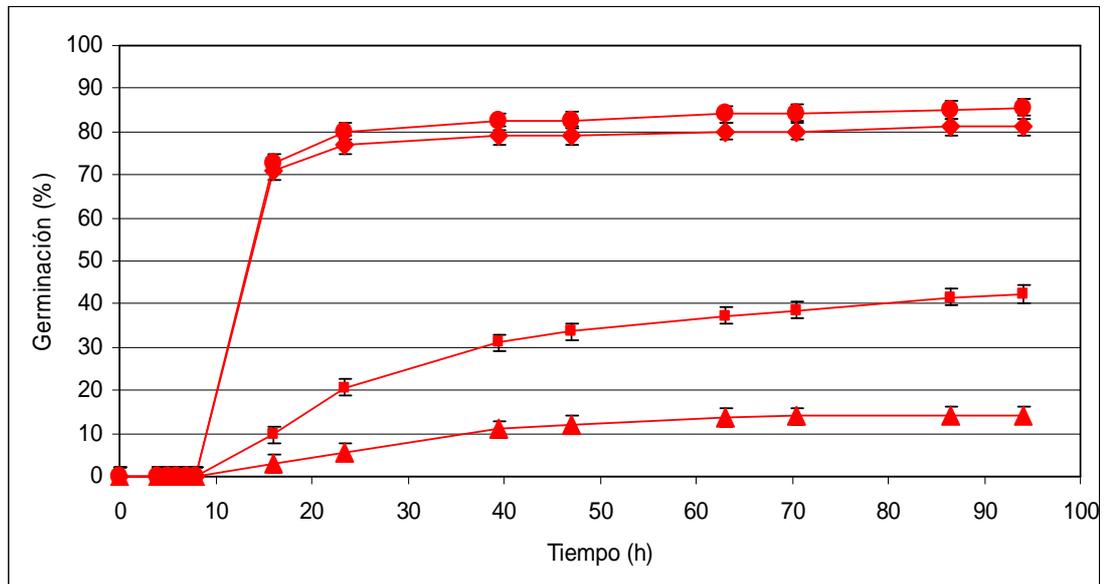


Figura 30. Germinación acumulada de amaranto Mercado en presencia de agua (♦), y en las soluciones de herbicida Doblete Super: Sol. 1: 1 µL/mL (▲), Sol. 2: 0.6 µL/mL (■) y Sol. 3: 0.006 µL/mL (●). Promedio de 3 repeticiones.

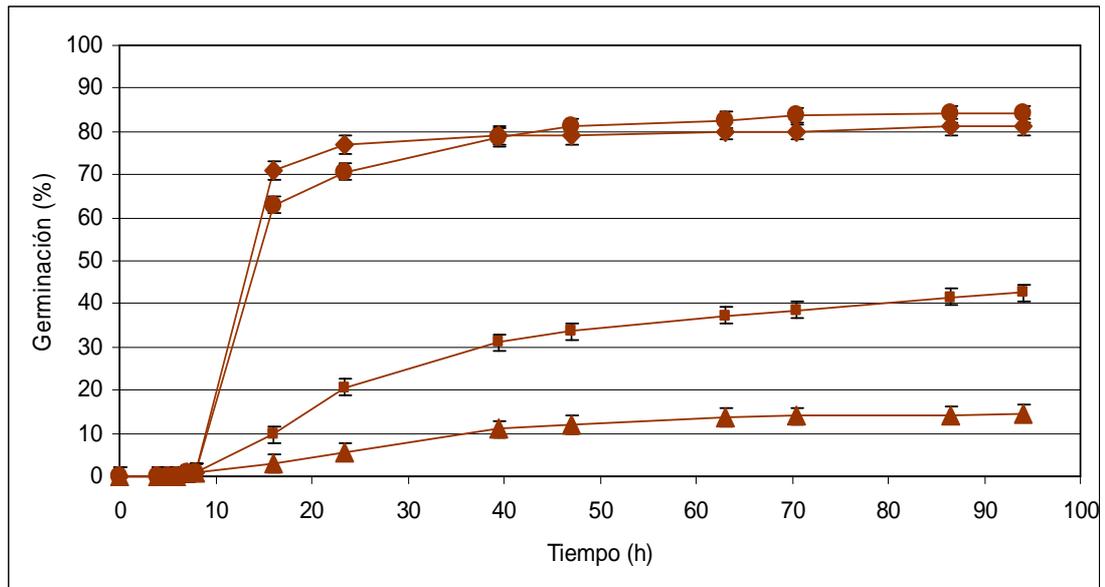


Figura 31. Germinación acumulada de amaranto Nepal en presencia de agua (♦), y en las soluciones de herbicida Doble Super: Sol. 1: 1 µL/mL (▲), Sol. 2: 0.6 µL/mL (■) y Sol. 3: 0.006 µL/mL (●). Promedio de 3 repeticiones.

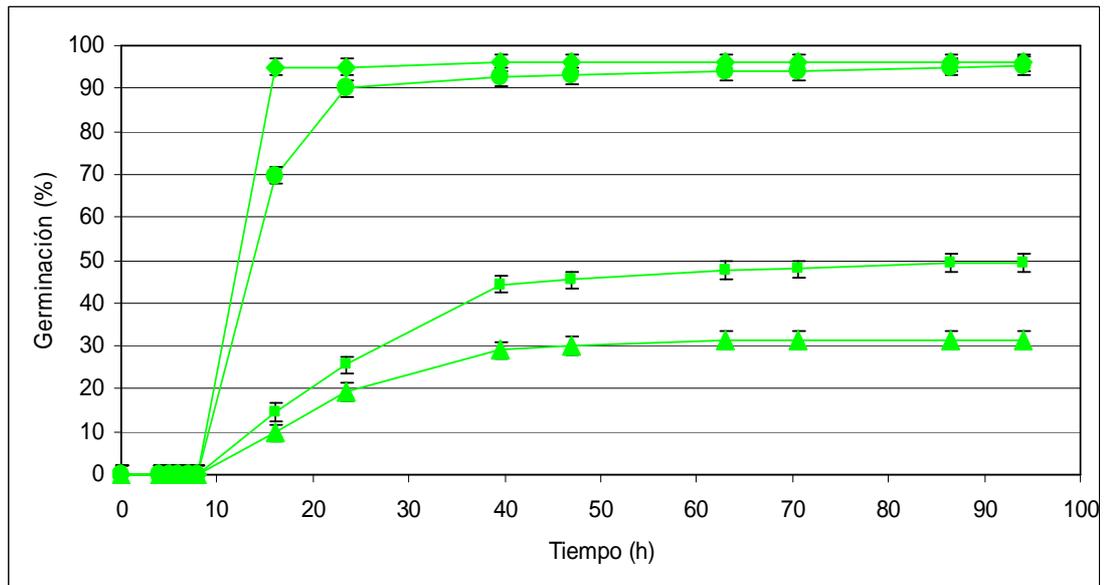


Figura 32. Germinación acumulada de amaranto Tulyehualco en presencia de agua (♦), y en las soluciones de herbicida Doble Super: Sol. 1: 1 µL/mL (▲), Sol. 2: 0.6 µL/mL (■) y Sol. 3: 0.006 µL/mL (●). Promedio de 3 repeticiones.

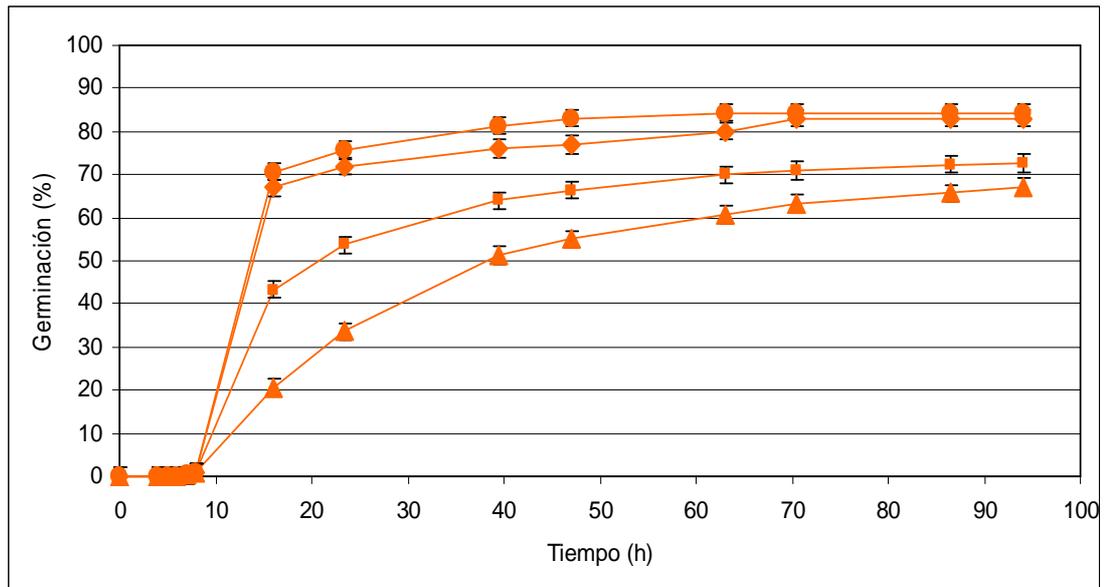


Figura 33. Germinación acumulada de amaranto Criolla Tulyehualco en presencia de agua (♦), y en las soluciones de herbicida Doble Super: Sol. 1: 1 $\mu\text{L}/\text{mL}$ (▲), Sol. 2: 0.6 $\mu\text{L}/\text{mL}$ (■) y Sol. 3: 0.006 $\mu\text{L}/\text{mL}$ (●). Promedio de 3 repeticiones.

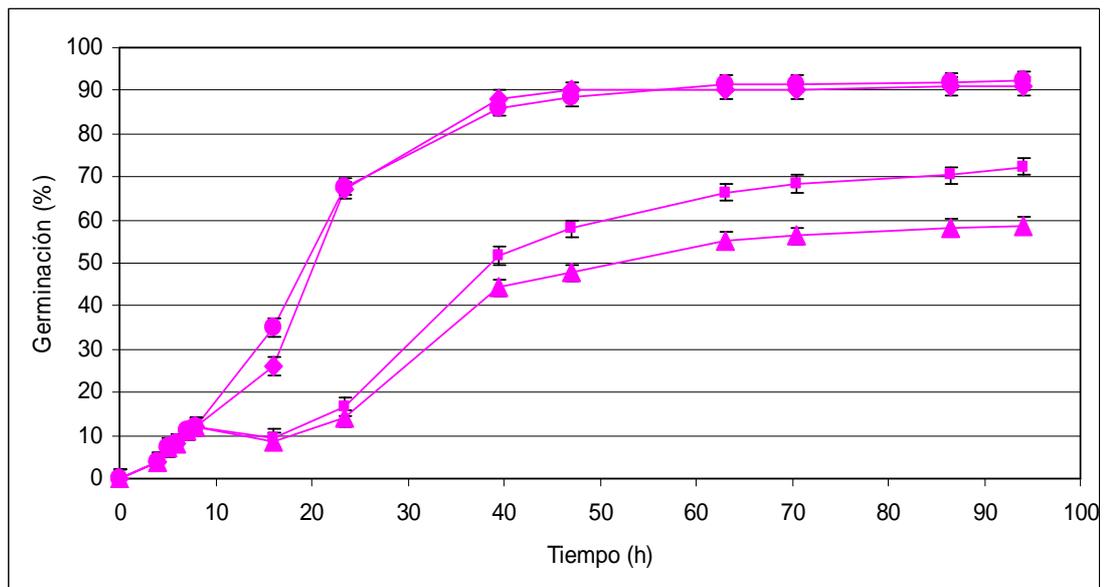


Figura 34. Germinación acumulada de amaranto Criolla Mixteca en presencia de agua (♦), y en las soluciones de herbicida Doble Super: Sol. 1: 1 $\mu\text{L}/\text{mL}$ (▲), Sol. 2: 0.6 $\mu\text{L}/\text{mL}$ (■) y Sol. 3: 0.006 $\mu\text{L}/\text{mL}$ (●). Promedio de 3 repeticiones.

En las Figuras 35-40 se representan los porcentajes de germinación diaria de los seis fenotipos de amaranto en presencia del herbicida Hierbamina Comercial.

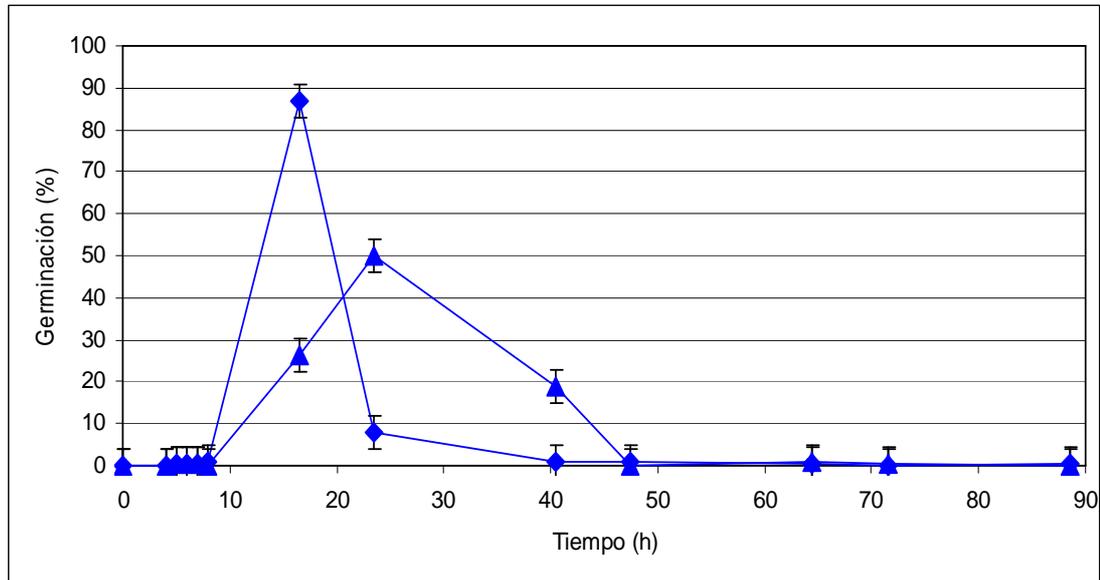


Figura 35. Cinética de germinación de amaranto Línea 1 en presencia de agua (◆) y en la solución de Hierbamina Comercial 0.006 µL/mL (▲). Promedio de 3 repeticiones.

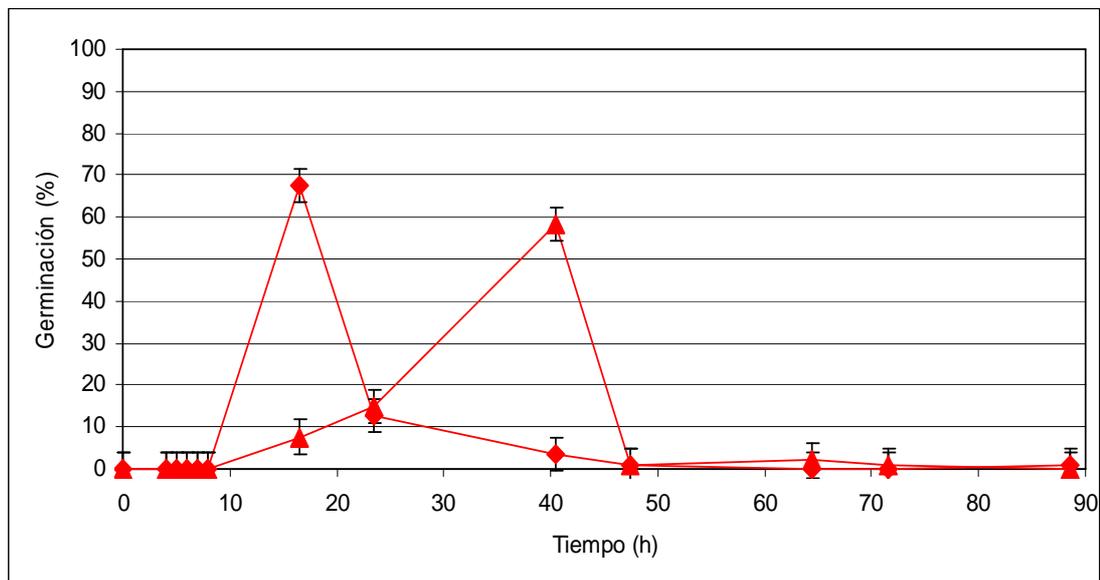


Figura 36. Cinética de germinación de amaranto Mercado en presencia de agua (◆) y en la solución de Hierbamina Comercial 0.006 µL/mL (▲). Promedio de 3 repeticiones.

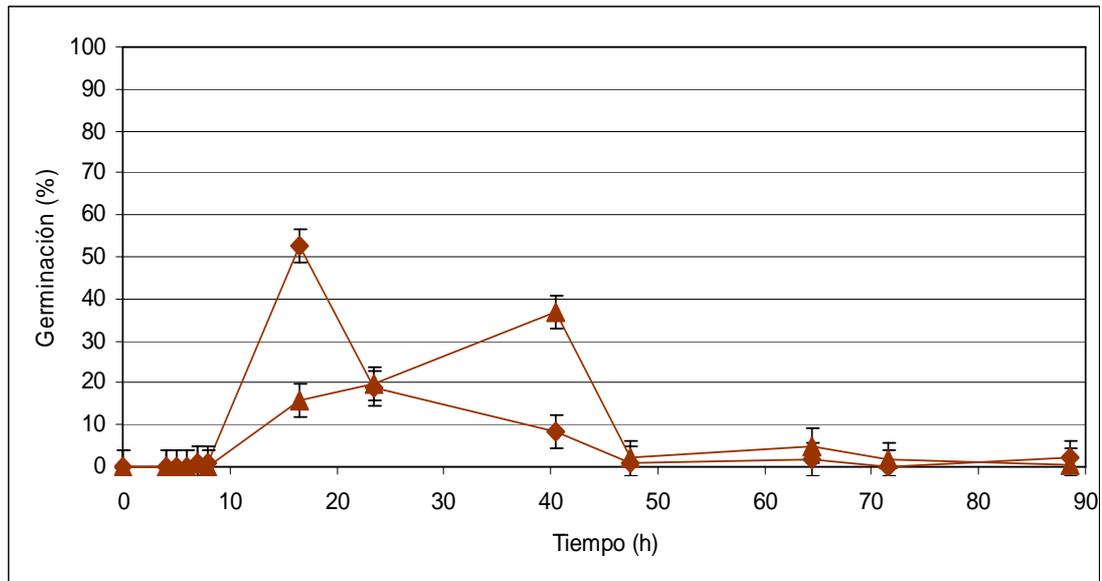


Figura 37. Cinética de germinación de amaranto Nepal en presencia de agua (◆) y en la solución de Hierbamina Comercial: 0.006 µL/mL (▲). Promedio de 3 repeticiones.

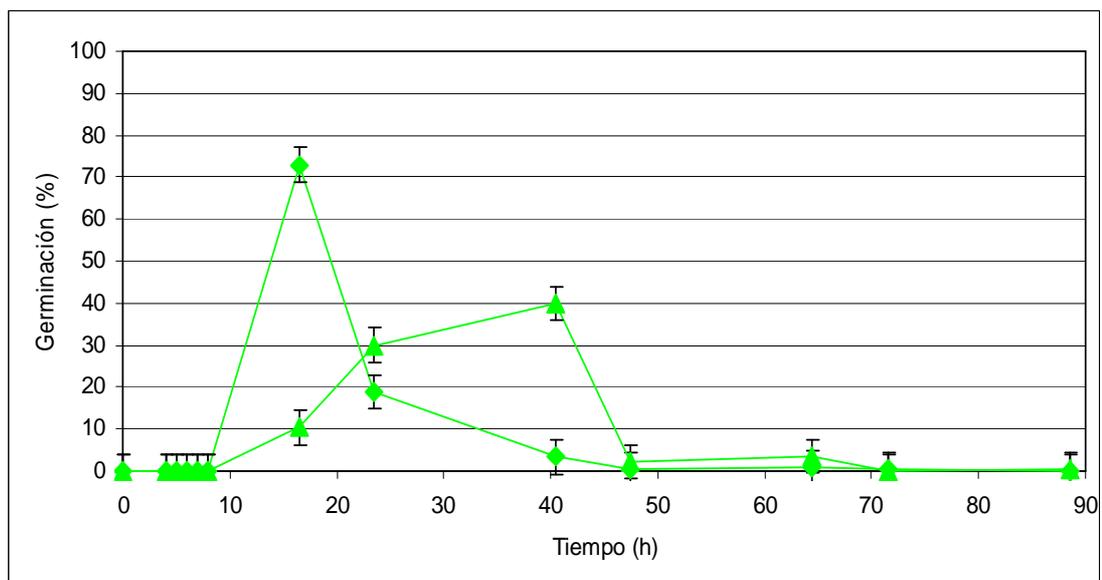


Figura 38. Cinética de germinación de amaranto Tulyehualco en presencia de agua (◆) y en la solución de Hierbamina Comercial: 0.006 µL/mL (▲). Promedio de 3 repeticiones.

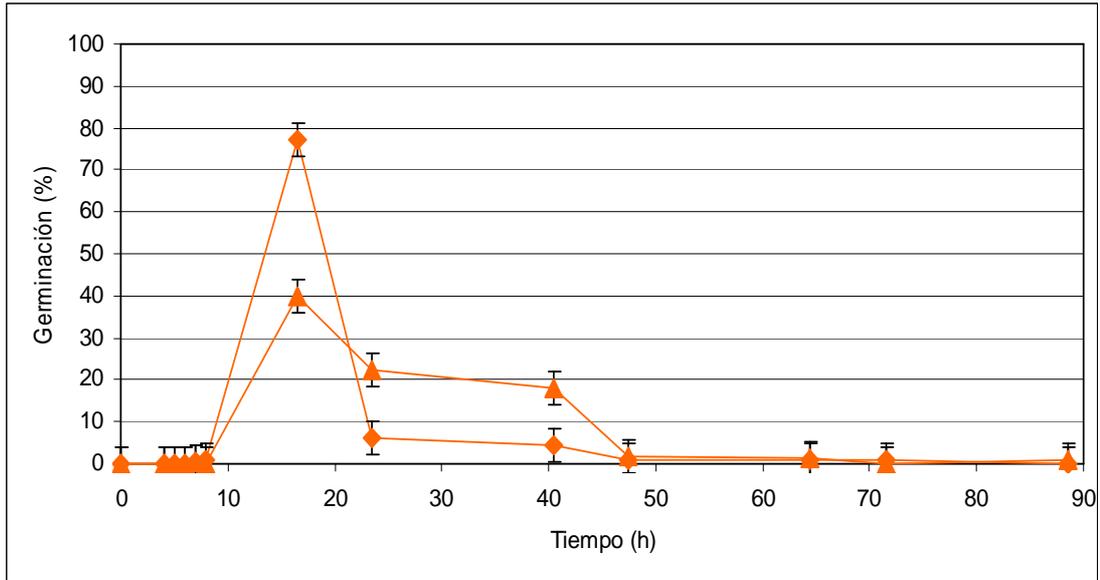


Figura 39. Cinética de germinación de amaranto Criolla Tulyehualco en presencia de agua (◆) y en la solución de Hierbamina Comercial: 0.006 $\mu\text{L}/\text{mL}$ (▲). Promedio de 3 repeticiones.

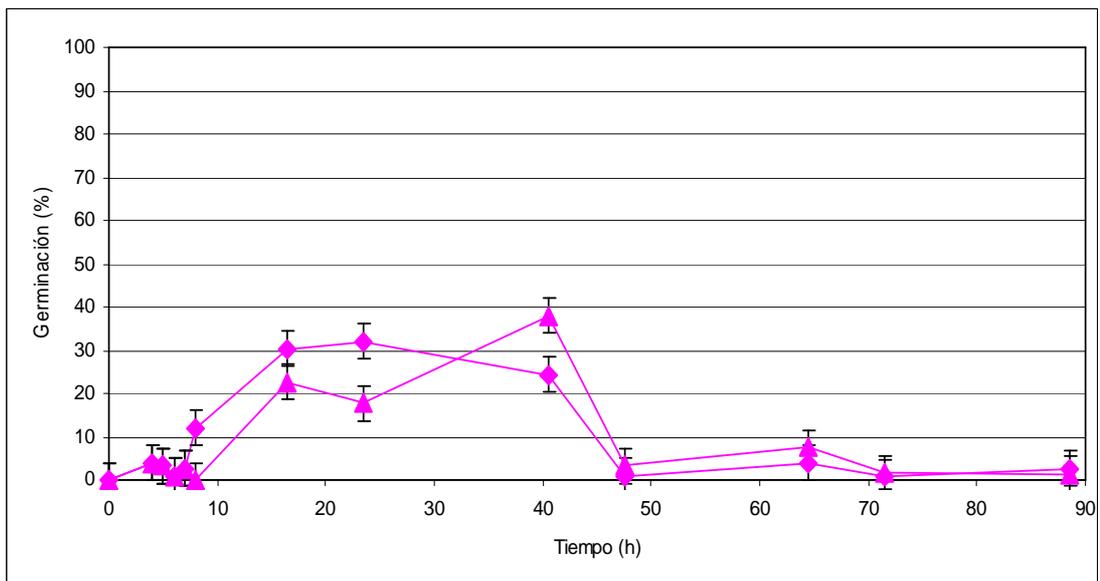


Figura 40. Cinética de germinación de amaranto Criolla Mixteca en presencia de agua (◆) y en la solución de Hierbamina Comercial: 0.006 $\mu\text{L}/\text{mL}$ (▲). Promedio de 3 repeticiones.

En las Figuras 41-46 se representan las cinéticas de germinación acumulada de los seis fenotipos de amaranto en presencia del herbicida Hierbamina Comercial.

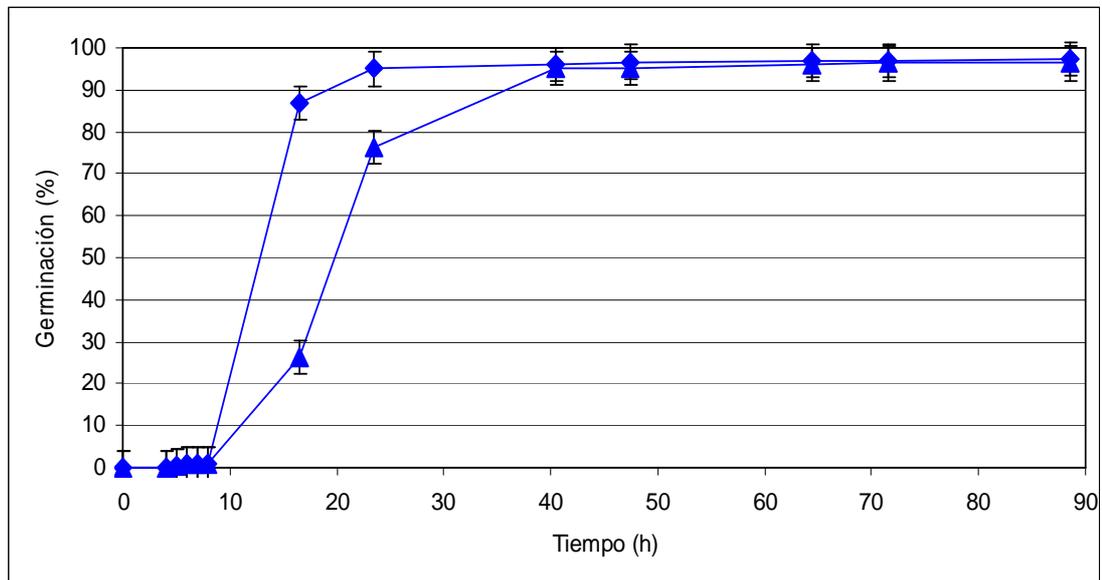


Figura 41. Germinación acumulada de amaranto Línea 1 en presencia de agua (◆) y en la solución de herbicida Hierbamina Comercial: 0.006 $\mu\text{L}/\text{mL}$ (▲). Promedio de 3 repeticiones.

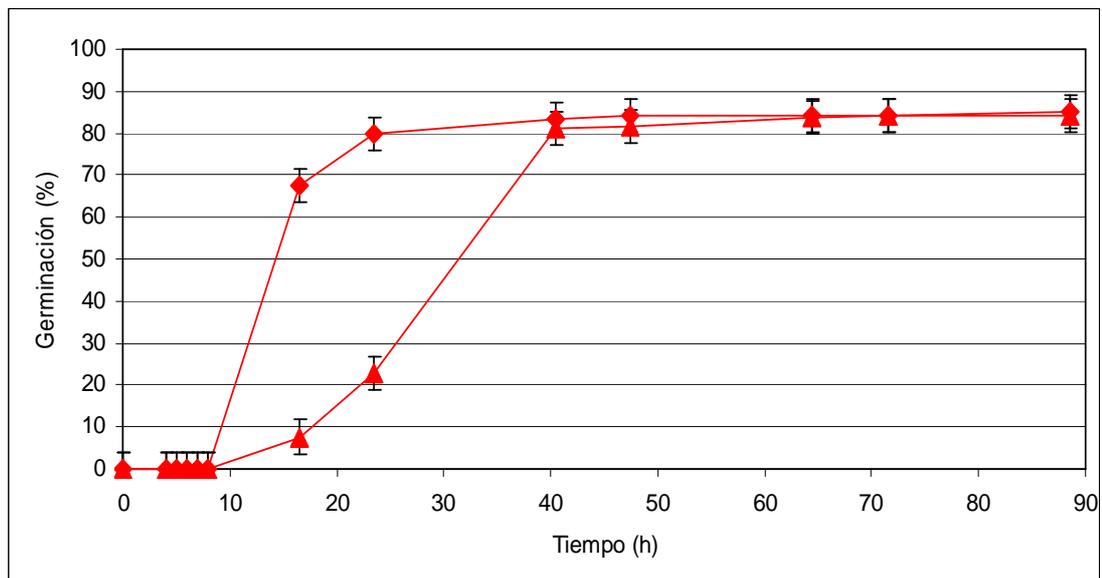


Figura 42. Germinación acumulada de amaranto Mercado en presencia de agua (◆) y en la solución de herbicida Hierbamina Comercial: 0.006 $\mu\text{L}/\text{mL}$ (▲). Promedio de 3 repeticiones.

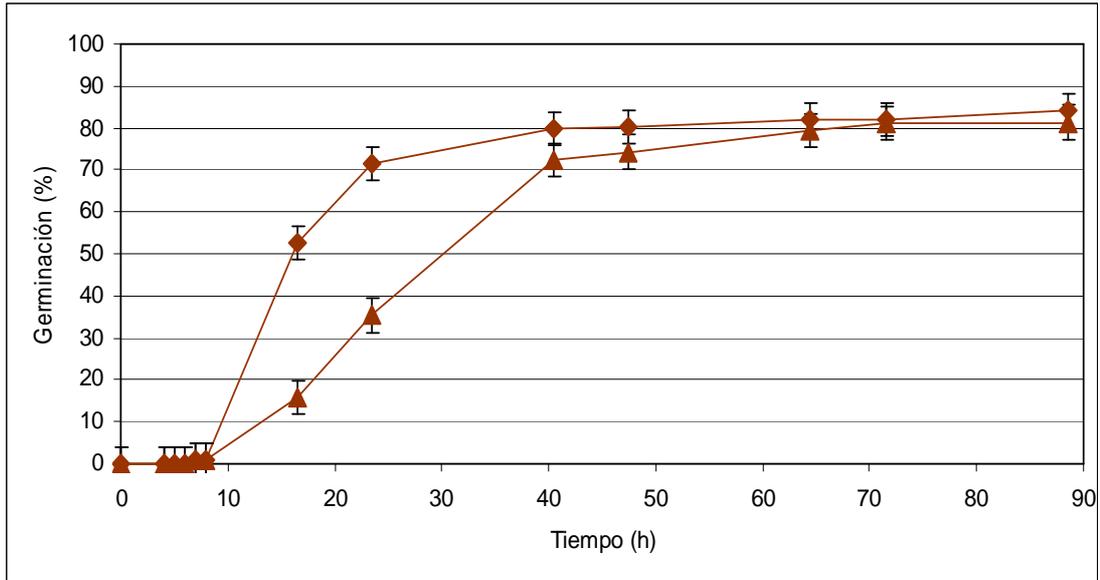


Figura 43. Germinación acumulada de amaranto Nepal en presencia de agua (◆) y en la solución de herbicida Hierbamina Comercial: 0.006 $\mu\text{L}/\text{mL}$ (▲). Promedio de 3 repeticiones.

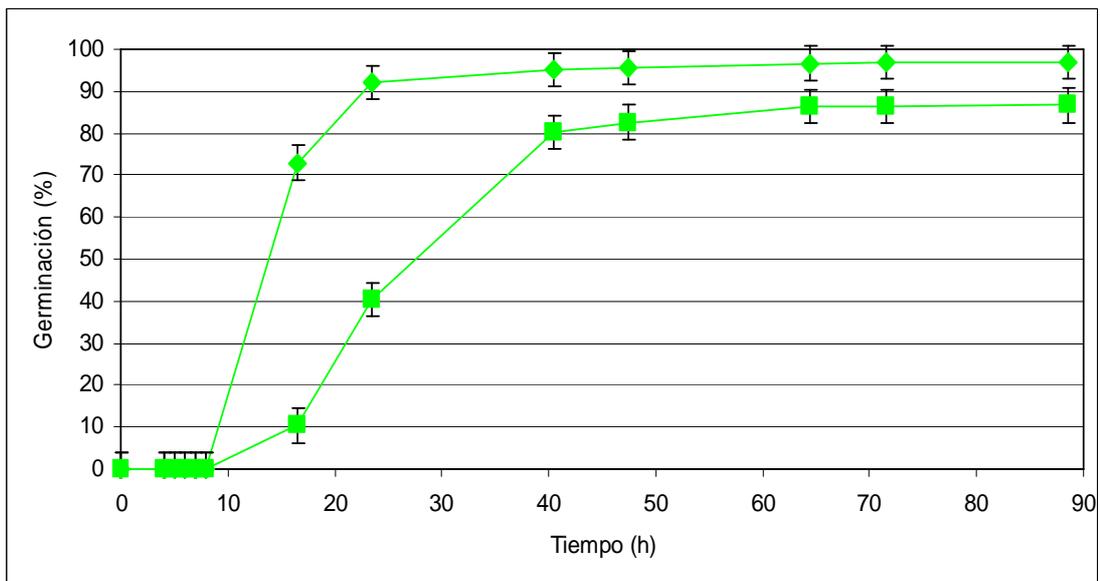


Figura 44. Germinación acumulada de amaranto Tulyehualco en presencia de agua (◆) y en la solución de herbicida Hierbamina Comercial: 0.006 $\mu\text{L}/\text{mL}$ (▲). Promedio de 3 repeticiones.

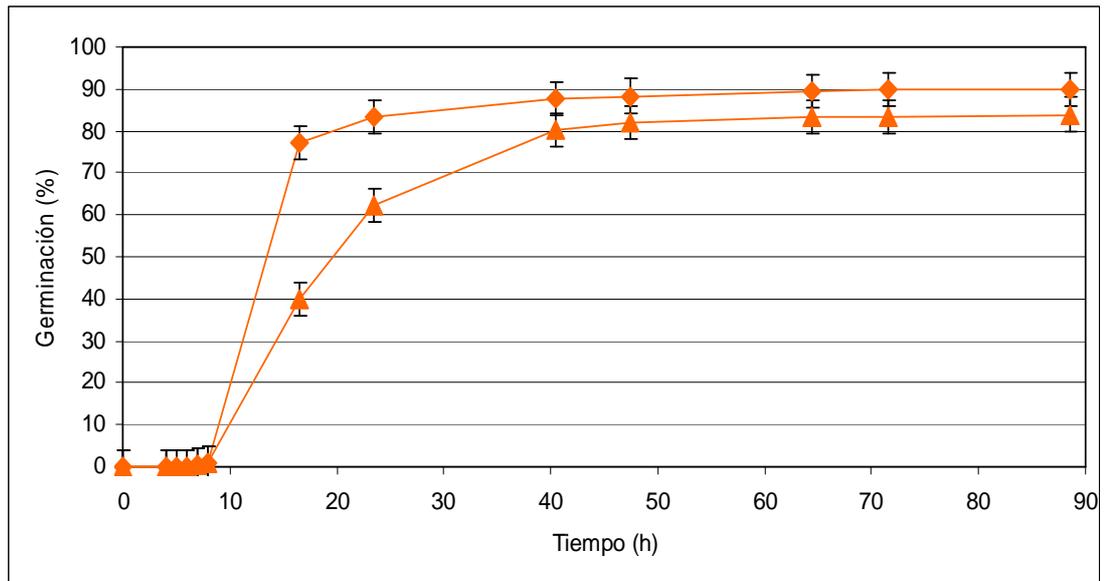


Figura 45. Germinación acumulada de amaranto Criolla Tulyehualco en presencia de agua (◆) y en la solución de herbicida Hierbamina Comercial: 0.006 $\mu\text{L}/\text{mL}$ (▲). Promedio de 3 repeticiones.

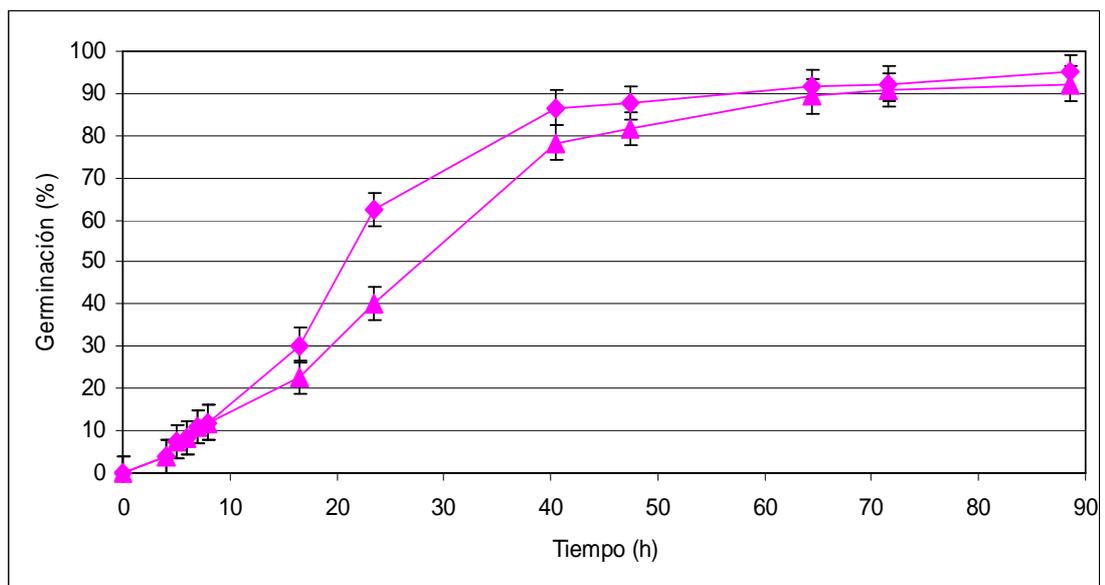


Figura 46. Germinación acumulada de amaranto Criolla Mixteca en presencia de agua (◆) y en la solución de herbicida Hierbamina Comercial: 0.006 $\mu\text{L}/\text{mL}$ (▲). Promedio de 3 repeticiones.

En las Figuras 47-52 se ilustran los porcentajes de germinación diaria de los seis fenotipos de amaranto en presencia del herbicida 2,4-D.

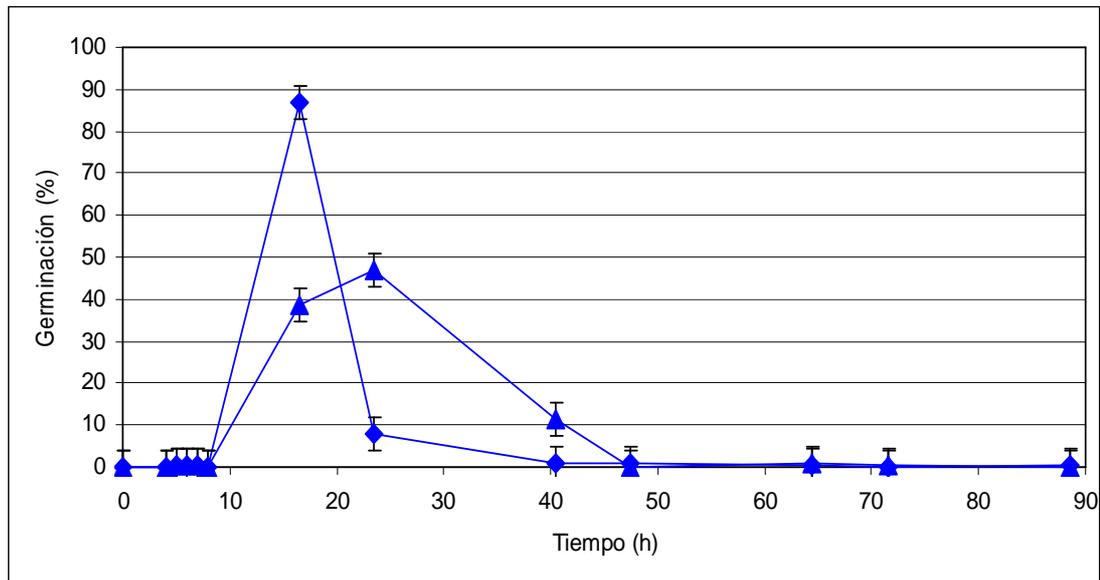


Figura 47. Cinética de germinación de amaranto Línea 1 en presencia de agua (◆) y en la solución de 2,4-D: (▲). Promedio de 3 repeticiones.

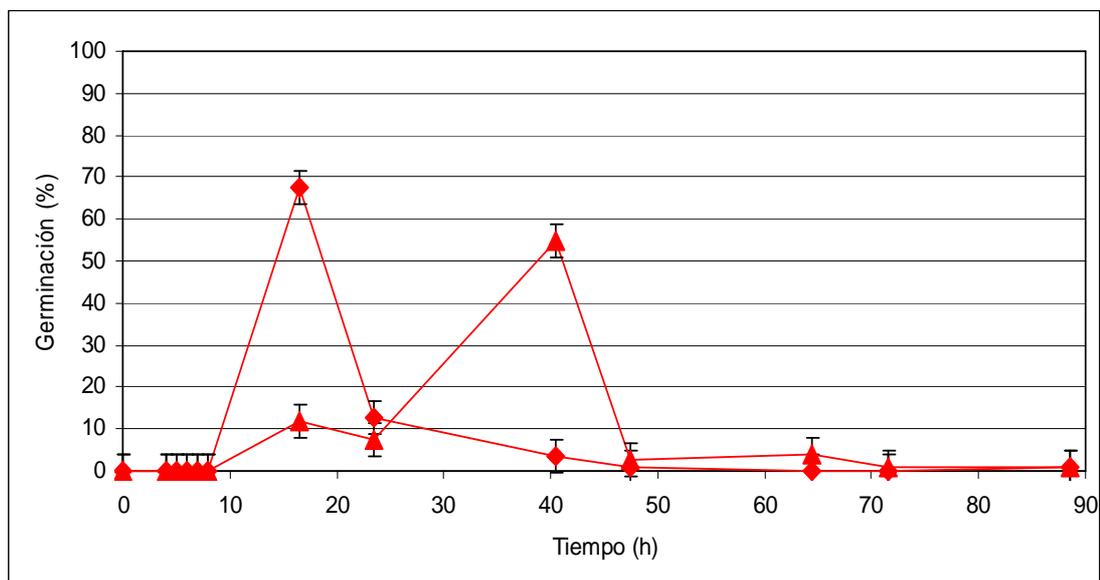


Figura 48. Cinética de germinación de amaranto Mercado en presencia de agua (◆) y en la solución de 2,4-D: 1.35×10^{-5} M (▲). Promedio de 3 repeticiones.

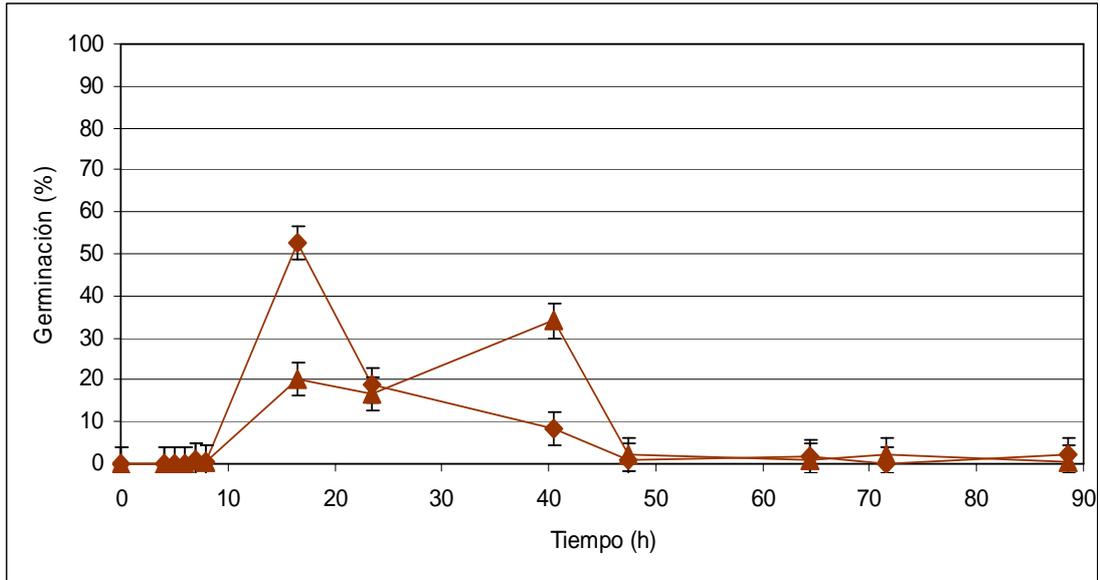


Figura 49. Cinética de germinación de amaranto Nepal en presencia de agua (◆) y en la solución de 2,4-D: 1.35×10^{-5} M (▲). Promedio de 3 repeticiones.

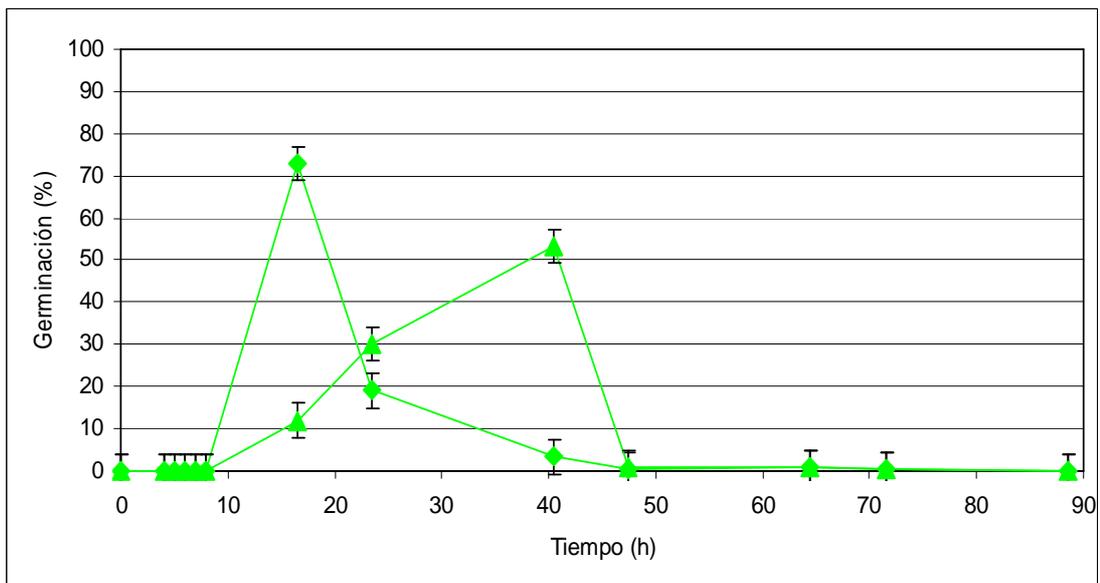


Figura 50. Cinética de germinación de amaranto Tulyehualco en presencia de agua (◆) y en la solución de 2,4-D: 1.35×10^{-5} M (▲). Promedio de 3 repeticiones.

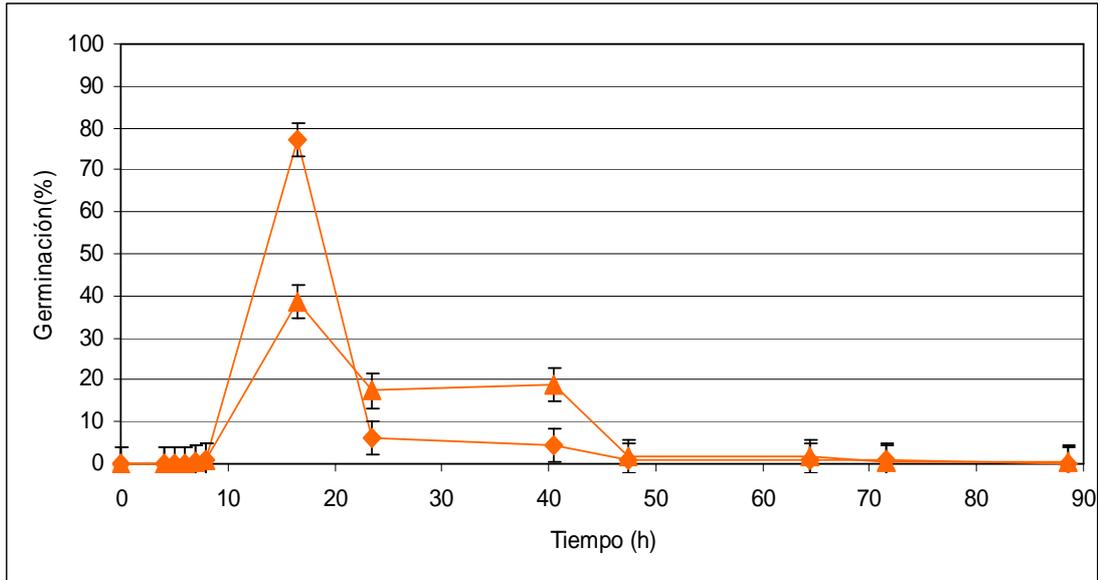


Figura 51. Cinética de germinación de amaranto Criolla Tulyehualco en presencia de agua (◆) y en la solución de 2,4-D: 1.35×10^{-5} M (▲). Promedio de 3 repeticiones.

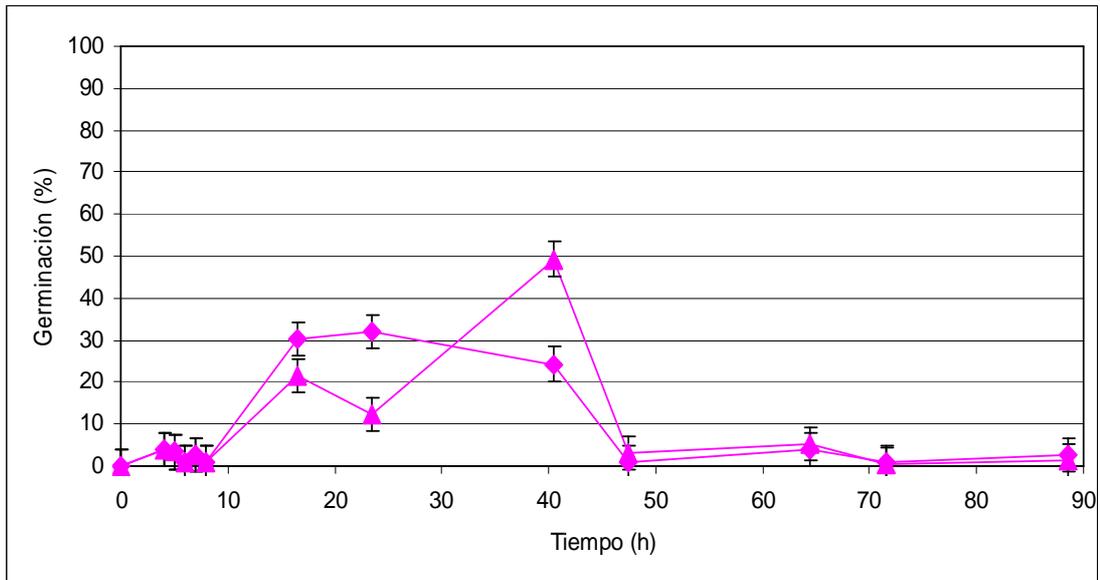


Figura 52. Cinética de germinación de amaranto Criolla Mixteca en presencia de agua (◆) y en la solución de 2,4-D: 1.35×10^{-5} M (▲). Promedio de 3 repeticiones.

En las Figuras 53-58 se ilustran las cinéticas de germinación acumulada de los seis fenotipos de amaranto en presencia del herbicida 2,4-D.

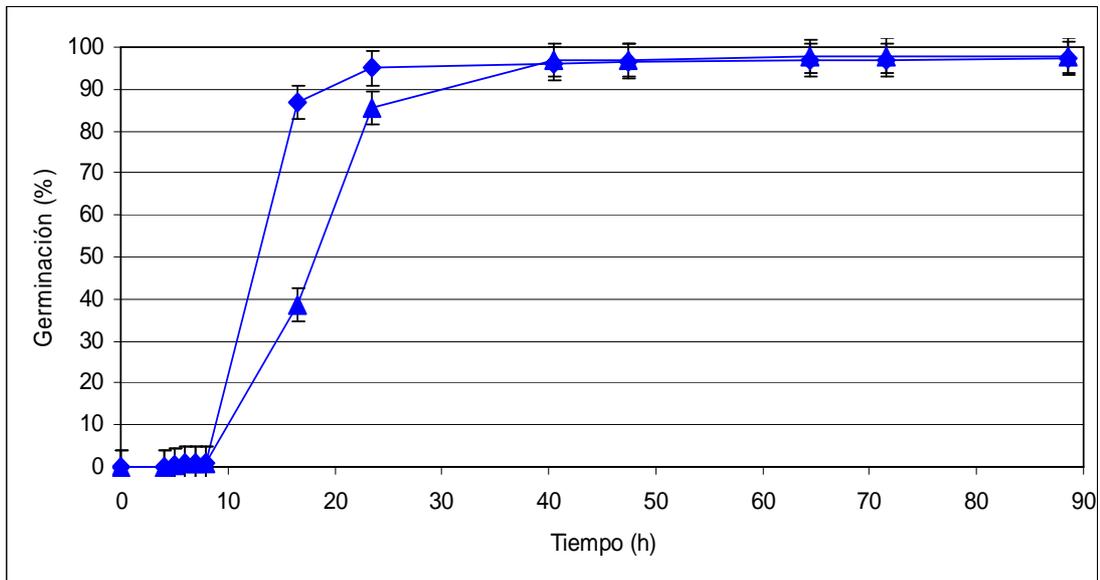


Figura 53. Germinación acumulada de amaranto Línea 1 en presencia de agua (◆) y en la solución de herbicida 2,4-D: 1.35×10^{-5} M (▲). Promedio de 3 repeticiones.

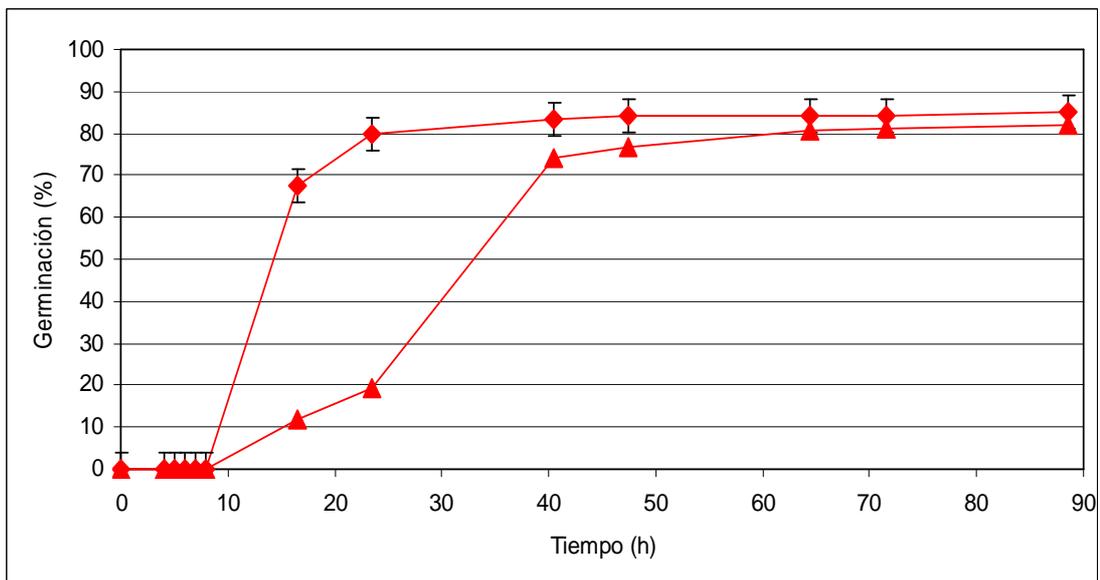


Figura 54. Germinación acumulada de amaranto Mercado en presencia de agua (◆) y en la solución de herbicida 2,4-D: 1.35×10^{-5} M (▲). Promedio de 3 repeticiones.

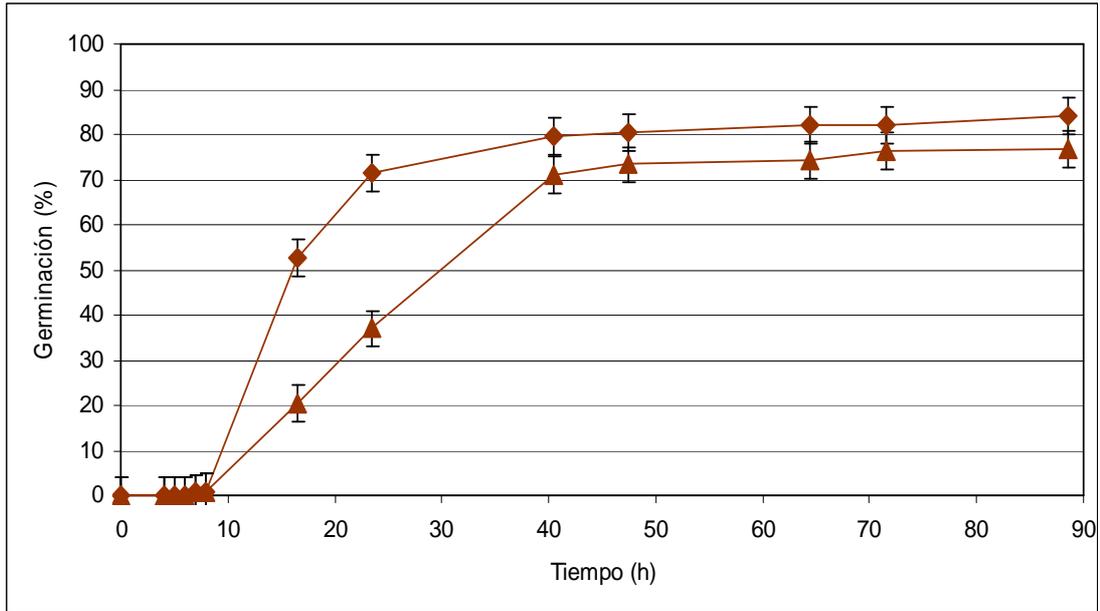


Figura 55. Germinación acumulada de amaranto Nepal en presencia de agua (◆) y en la solución de herbicida 2,4-D: 1.35×10^{-5} M (▲). Promedio de 3 repeticiones.

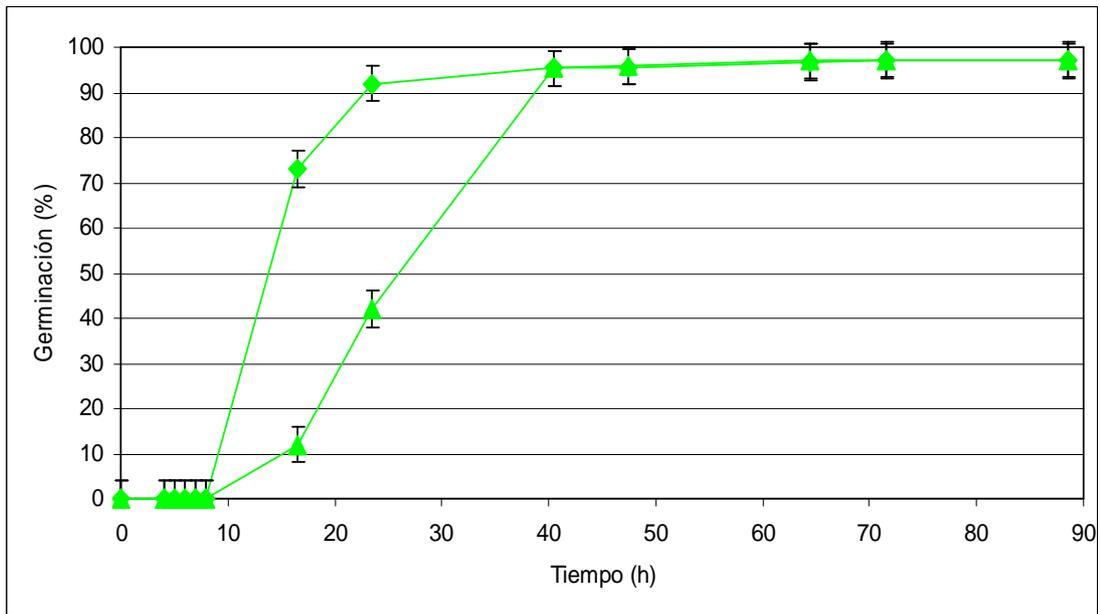


Figura 56. Germinación acumulada de amaranto Tulyehualco en presencia de agua (◆) y en la solución de herbicida 2,4-D: 1.35×10^{-5} M (▲). Promedio de 3 repeticiones.

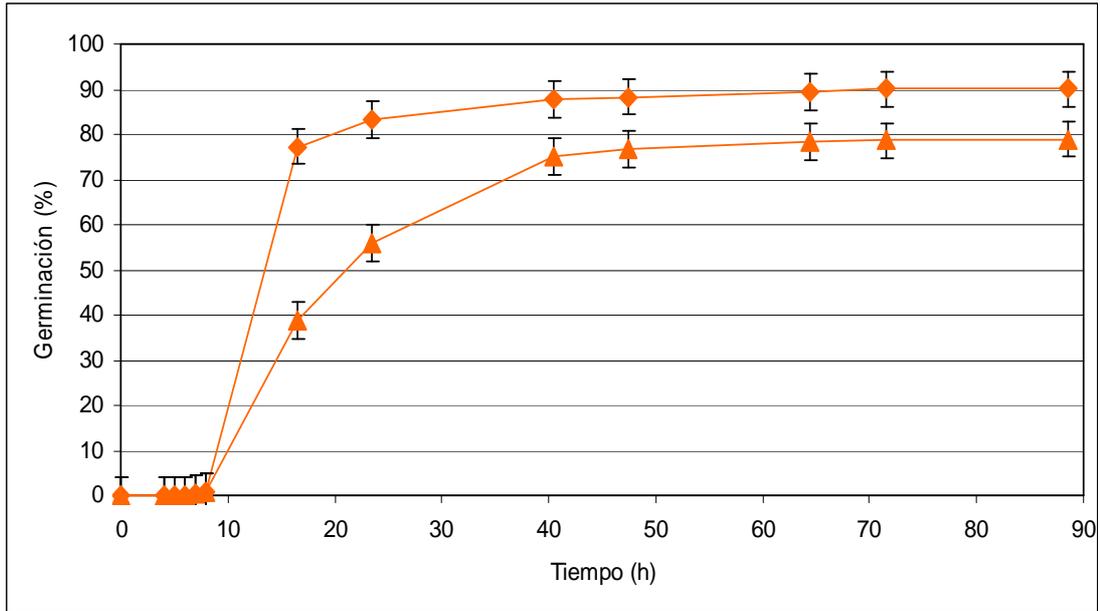


Figura 57. Germinación acumulada de amaranto Criolla Tulyehualco en presencia de agua (◆) y en la solución de herbicida 2,4-D: 1.35×10^{-5} M (▲). Promedio de 3 repeticiones.

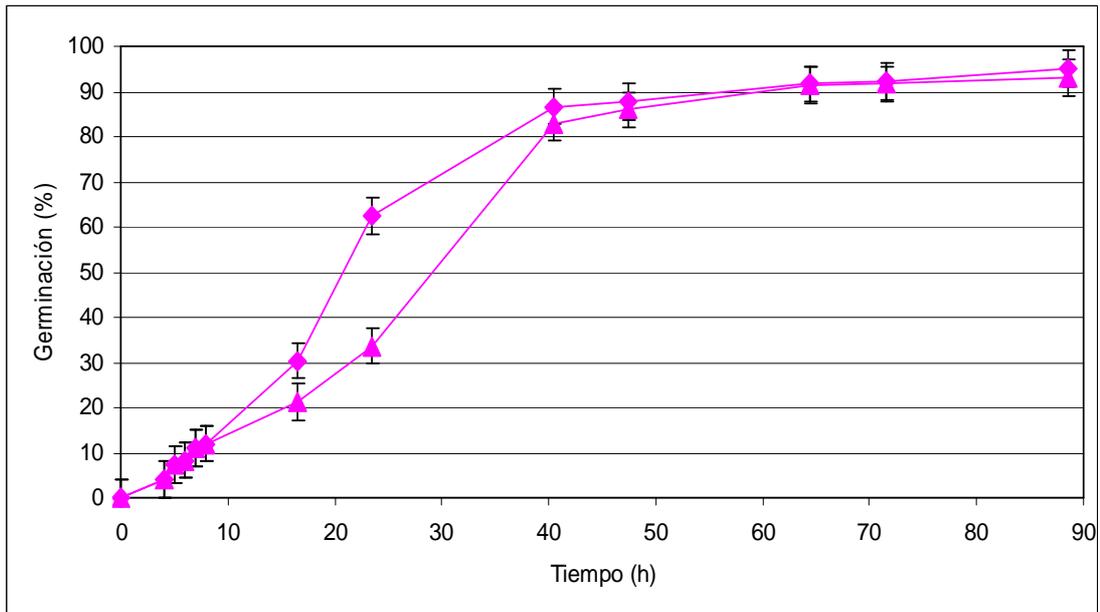


Figura 58. Germinación acumulada de amaranto Criolla Mixteca en presencia de agua (◆) y en la solución de herbicida 2,4-D: 1.35×10^{-5} M (▲). Promedio de 3 repeticiones.

Dentro de los criterios fisiológicos de evaluación de la semilla, la variable germinación en presencia de herbicidas, el factor soluciones tuvo diferencias altamente significativas, las soluciones que permitieron el mayor porcentaje de germinación fueron: el agua, la solución 3 de Doble Super, el 2,4-D y la Hierbamina (92, 90, 87 y 87%, respectivamente). El factor variedades también presentó diferencias altamente significativas y tanto Línea 1 como Criolla Mixteca tuvieron los porcentajes de germinación más altos. La interacción entre ambos factores fue altamente significativa.

Para la variable velocidad de germinación en presencia de herbicidas, el factor soluciones de herbicidas tuvo diferencias altamente significativas, las soluciones que aumentaron la velocidad de germinación fueron: solución 1 de Doble Super, 2,4-D, Hierbamina y la solución 2 de Doble Super con 24 y 23 h. El factor variedades presentó diferencias altamente significativas, Criolla Mixteca presentó la mayor velocidad de germinación (26 h). La interacción entre ambos factores fue significativa.

Los resultados obtenidos para la variable velocidad de germinación en presencia de los tres herbicidas se presentan en el Cuadro 11, donde se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$). La velocidad de germinación de todos los fenotipos fue mayor cuando germinaron en presencia de: la solución 1 de Doble Super a excepción de los fenotipos Línea 1 y Tulyehualco; de las soluciones de concentración 2 del herbicida Doble Super, de Hierbamina Comercial y 2,4-D a excepción de Línea 1 y Criolla Tulyehualco que en estos casos registraron la menor velocidad de germinación. Todos los fenotipos registraron una menor velocidad de germinación en presencia de agua y de la solución de concentración 3 del herbicida Doble Super.

Cuadro 11. Velocidades de germinación obtenida de semilla de amaranto sometida a germinar en agua, Doble Super, Hierbamina Comercial y 2,4-D a la temperatura de $26 \pm 1^\circ\text{C}$. Las determinaciones de la germinación se llevaron a cabo a los 12 días y los resultados son el promedio de 3 lotes de 100 semillas.

	T_{50} (h)*					
	Solución					
	Agua	1 $\mu\text{L}/\text{mL}$	0.6 $\mu\text{L}/\text{mL}$	0.05 $\mu\text{L}/\text{mL}$	Hm	2,4-D
Línea 1	12 k	19 cdefghijk	14 hijk	12 k	19 cdefghijk	17 efghijk
Mercado	13 k	25 abcdefgh	24 abcdefghij	13 k	29 abcd	31 ab
Nepal	14 ghijk	26 abcdef	29 abc	13 jk	25 abcdefg	24 abcdefghi
Tulyehualco	13 ijk	21 bcdefghijk	22 abcdefghijk	13 ijk	27 abcde	25 abcdefgh
Criolla Tulyehualco	12 k	25 abcdefgh	15 fghijk	12 k	17 efghijk	18 cdefghijk
Criolla Mixteca	20 cdefghijk	31 ab	33 a	18 defghijk	26 abcde	28 abcde

*Valores de la media con letra distinta son estadísticamente diferentes (Tukey; 0.05).

4.3.3 Germinación en presencia de ácido salicílico y compuestos análogos

Los resultados obtenidos para la variable germinación en presencia de ácido salicílico y compuestos análogos se presentan en el Cuadro 12, donde se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$). En presencia de agua, hubo diferencias en el porcentaje de germinación entre fenotipos. En presencia de la solución de AAS, hubo diferencias en el porcentaje de germinación. En presencia de la solución de AS, hubo diferencias en el porcentaje de germinación y por último, en presencia de la solución de ASS, hubo diferencias en el porcentaje de germinación.

Cuadro 12. Porcentaje de germinación total obtenida de semilla de amaranto sometida a germinar en agua, AAS, AS y ASS a la temperatura de $26 \pm 1^\circ\text{C}$. Las determinaciones de la germinación se llevaron a cabo a los 12 días y los resultados son el promedio de 3 lotes de 100 semillas.

	Germinación total (%)*			
	Solución			
	Agua	AAS	AS	ASS
Línea 1	97 abc	99 a	98 ab	98 a
Mercado	85 def	81 f	81 f	86 bcdef
Nepal	84 ef	81 f	79 f	81 f
Tulyehualco	97 abc	97 abcd	99 a	95 abcde
Criolla Tulyehualco	90 abcdef	87 abcdef	84 ef	85 cdef
Criolla Mixteca	95 abcde	97 abcd	95 abcde	94 abcde

*Valores de la media con letra distinta son estadísticamente diferentes (Tukey; 0.05).

El porcentaje de germinación de todos los fenotipos fue mayor cuando germinaron en presencia de: agua, AAS, AS y ASS a excepción de los fenotipos Mercado y Nepal, y además en el caso de AS se registró la menor germinación con el fenotipo Criolla Tulyehualco y en el caso de ASS se registró la menor germinación con el fenotipo Criolla Tulyehualco.

En las Figuras 59-64 se ilustran los porcentajes de germinación diaria de los seis fenotipos de amaranto en presencia de ácido salicílico y compuestos análogos.

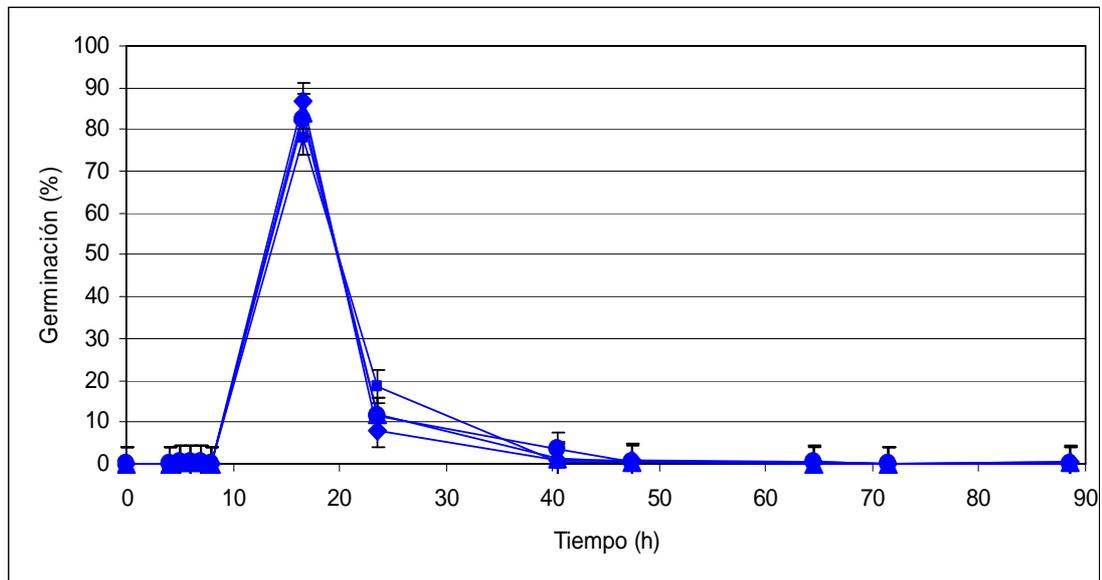


Figura 59. Cinética de germinación de amaranto Línea 1 en presencia de agua (♦) y soluciones 1.35×10^{-5} M de: AAS (▲), AS (■), ASS (●). Promedio de 3 repeticiones.

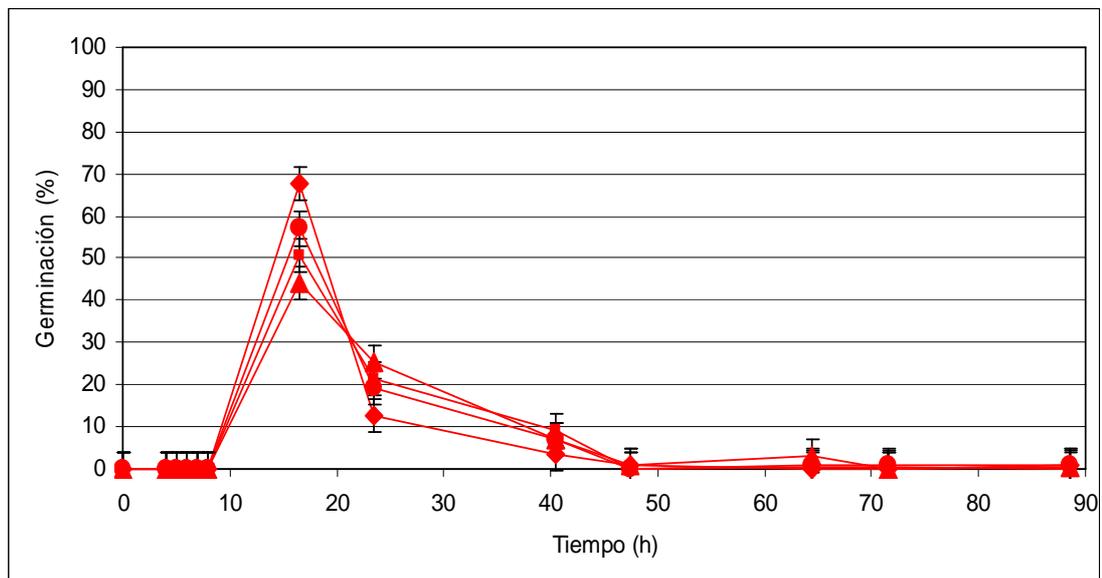


Figura 60. Cinética de germinación de amaranto Mercado en presencia de agua (♦) y soluciones 1.35×10^{-5} M de: AAS (▲), AS (■), ASS (●). Promedio de 3 repeticiones.

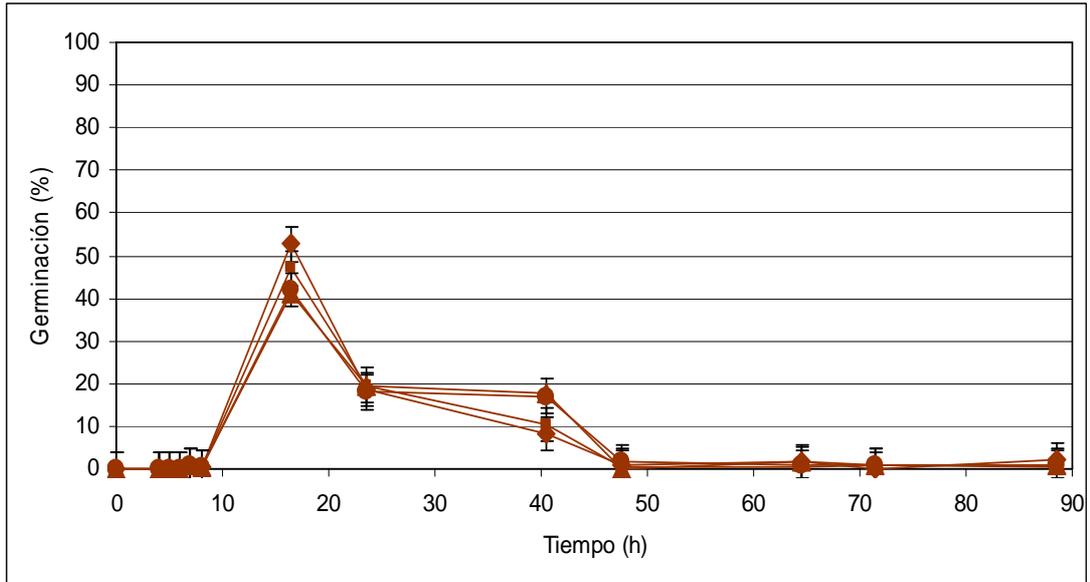


Figura 61. Cinética de germinación de amaranto Nepal en presencia de agua (♦) y soluciones 1.35×10^{-5} M de: AAS (▲), AS (■), ASS (●). Promedio de 3 repeticiones.

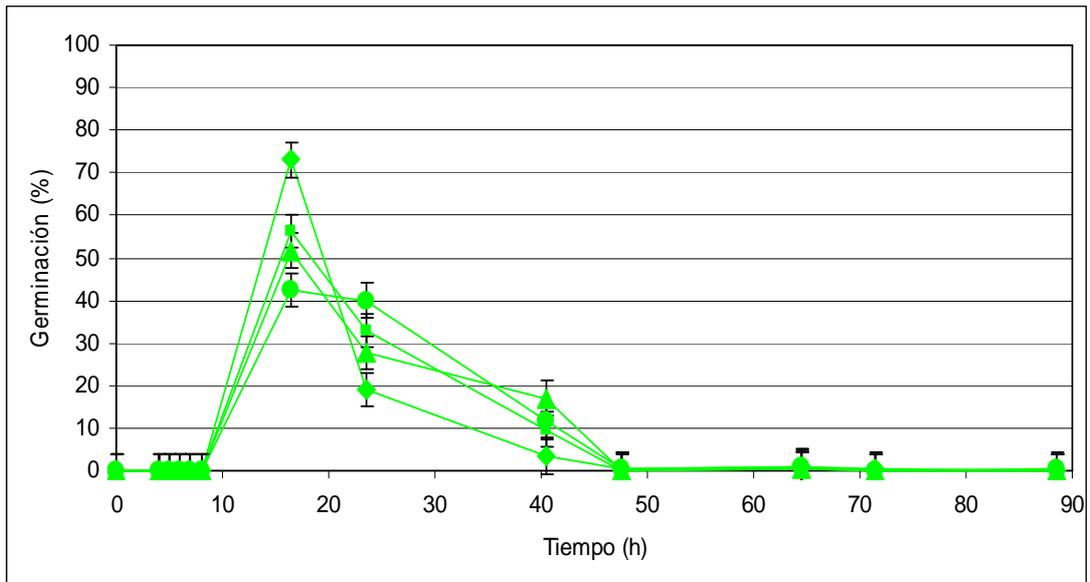


Figura 62. Cinética de germinación de amaranto Tulyehualco en presencia de agua (♦) y soluciones 1.35×10^{-5} M de: AAS (▲), AS (■), ASS (●). Promedio de 3 repeticiones.

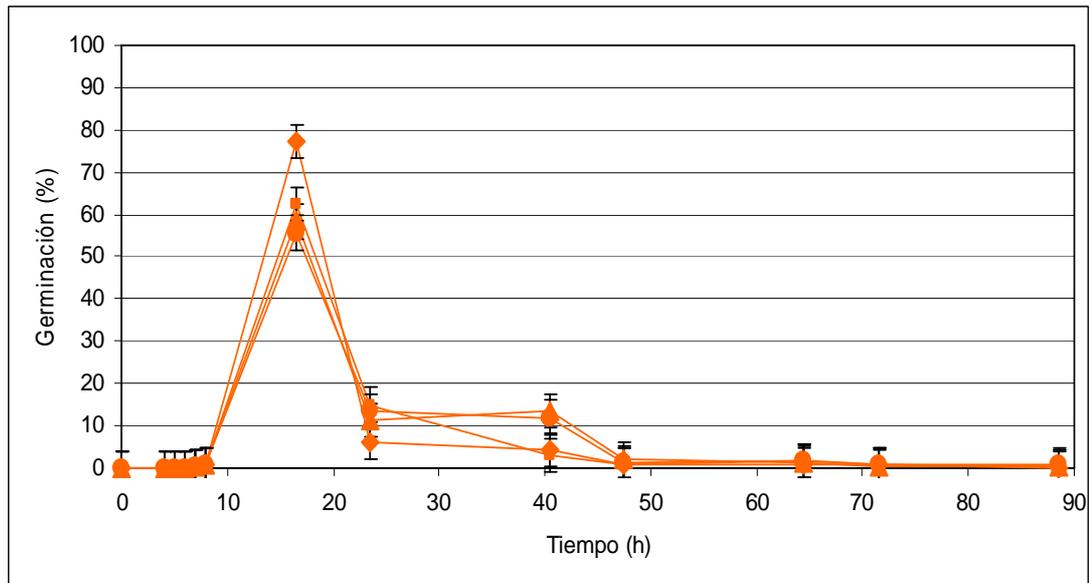


Figura 63. Cinética de germinación de amaranto Criolla Tulyehualco en presencia de agua (♦) y soluciones 1.35×10^{-5} M de: AAS (▲), AS (■), ASS (●). Promedio de 3 repeticiones.

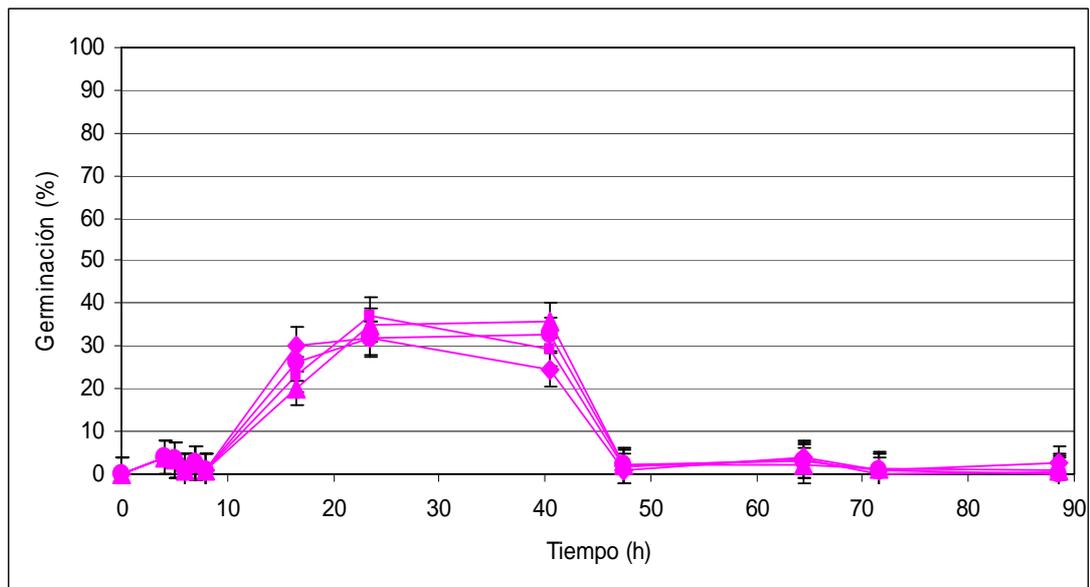


Figura 64. Cinética de germinación de amaranto Criolla Tulyehualco en presencia de agua (♦) y soluciones 1.35×10^{-5} M de: AAS (▲), AS (■), ASS (●). Promedio de 3 repeticiones.

En las Figuras 65-70 se ilustran los porcentajes de germinación acumulada de los seis fenotipos de amaranto en presencia de ácido salicílico y compuestos análogos.

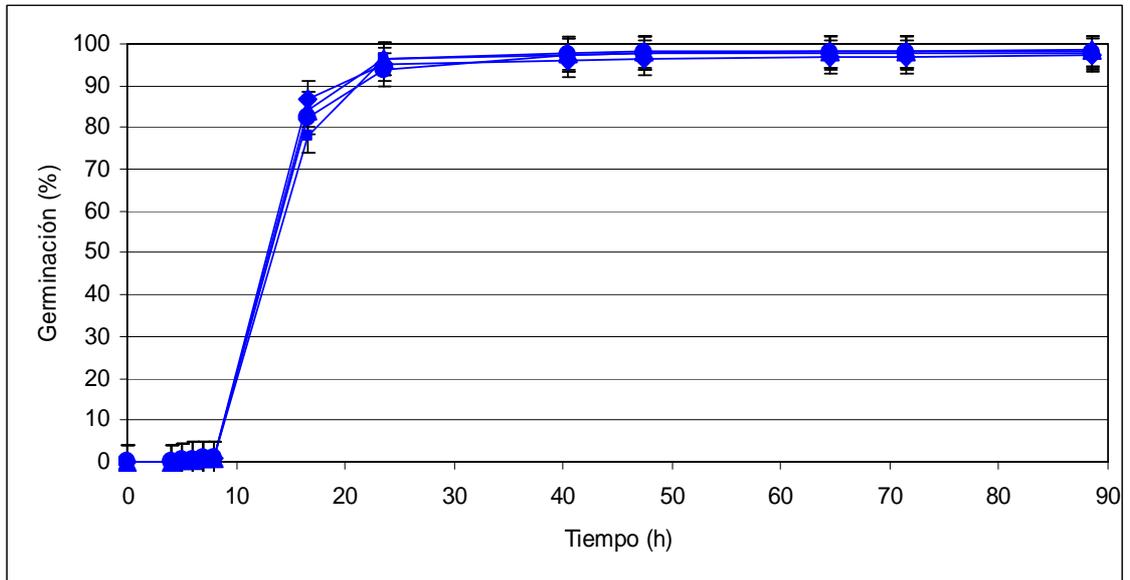


Figura 65. Germinación acumulada de amaranto Línea 1 en presencia de agua (♦) y soluciones 1.35×10^{-5} M de: AAS (▲), AS (■), ASS (●). Promedio de 3 repeticiones.

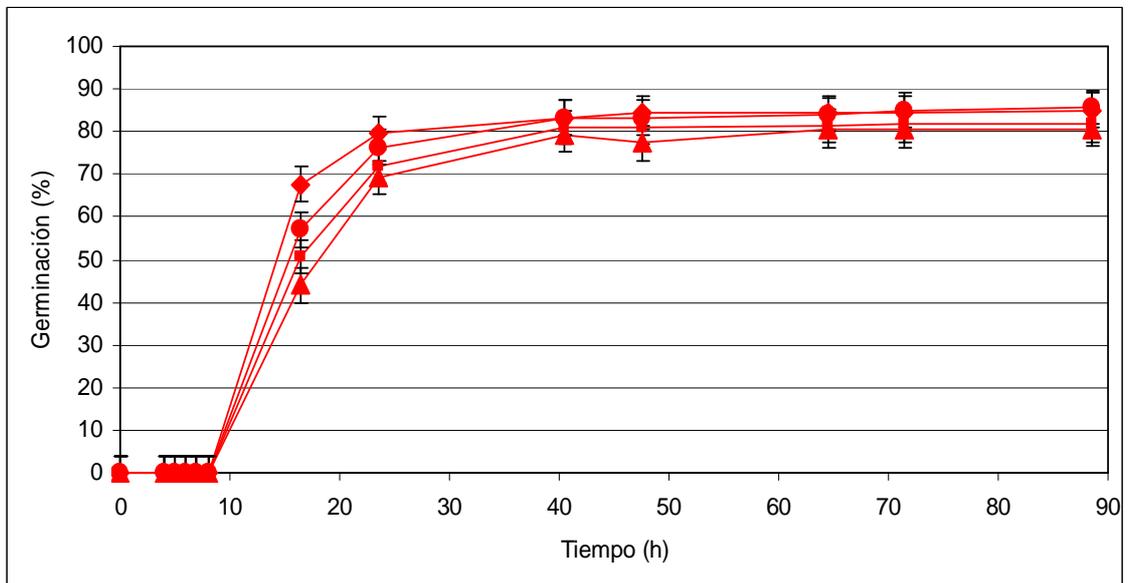


Figura 66. Germinación acumulada de amaranto Mercado en presencia de agua (♦) y soluciones 1.35×10^{-5} M de: AAS (▲), AS (■), ASS (●). Promedio de 3 repeticiones.

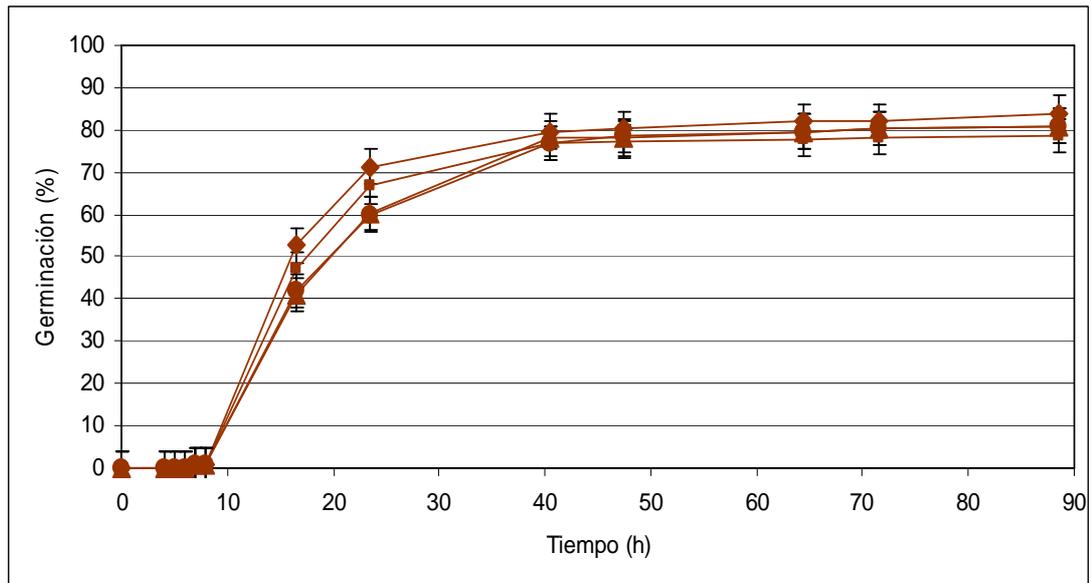


Figura 67. Germinación acumulada de amaranto Nepal en presencia de agua (♦) y soluciones 1.35×10^{-5} M de: AAS (▲), AS (■), ASS (●). Promedio de 3 repeticiones.

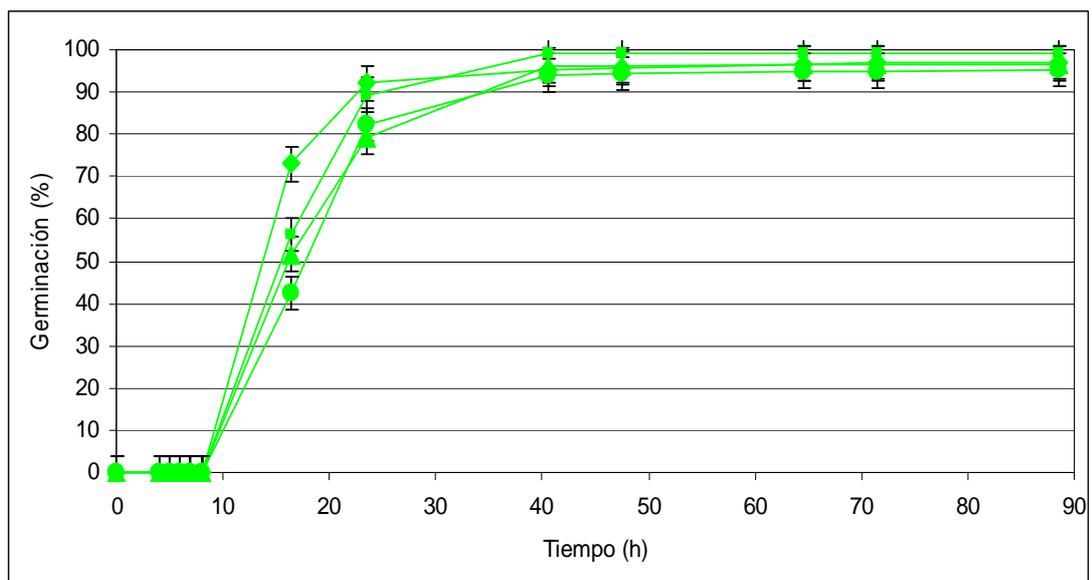


Figura 68. Germinación acumulada de amaranto Tulyehualco en presencia de agua (♦) y soluciones 1.35×10^{-5} M de: AAS (▲), AS (■), ASS (●). Promedio de 3 repeticiones.

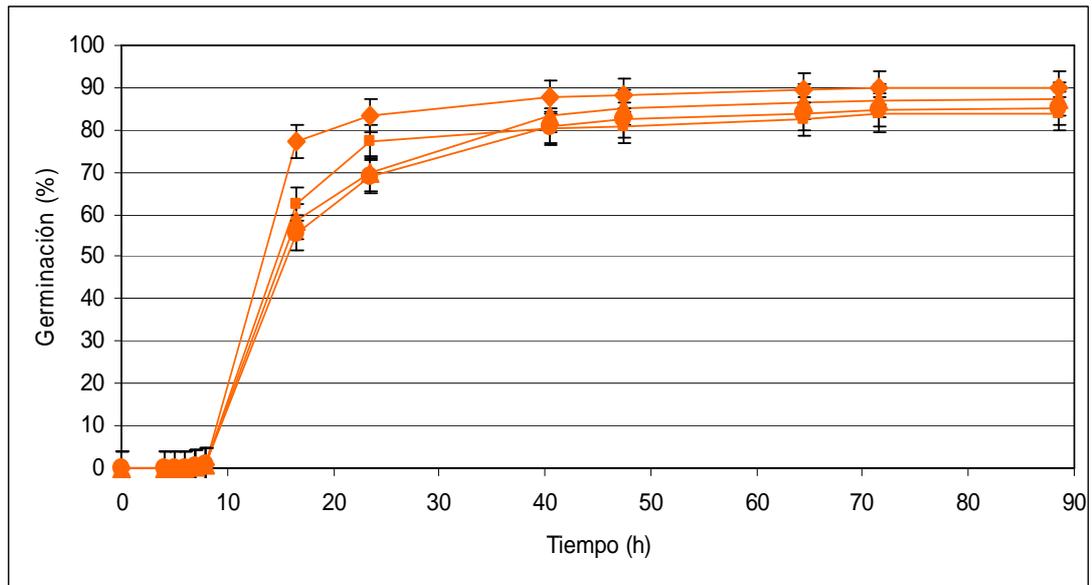


Figura 69. Germinación acumulada de amaranto Criolla Tulyehualco en presencia de agua (♦) y soluciones 1.35×10^{-5} M de: AAS (▲), AS (■), ASS (●). Promedio de 3 repeticiones.

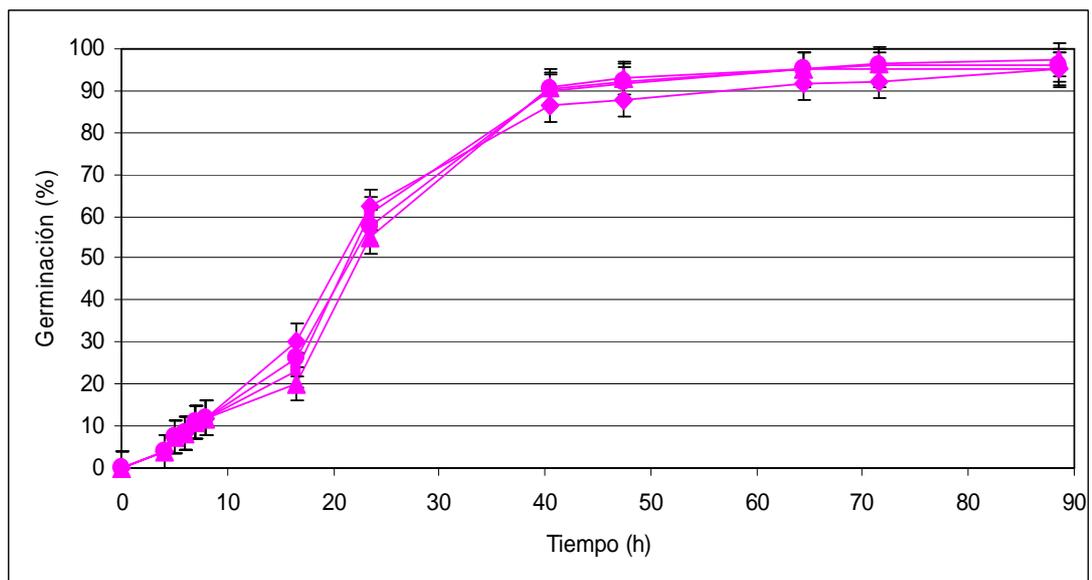


Figura 70. Germinación acumulada de amaranto Criolla Mixteca en presencia de agua (♦) y soluciones 1.35×10^{-5} M de: AAS (▲), AS (■), ASS (●). Promedio de 3 repeticiones.

Para la variable germinación en presencia de ácido salicílico y compuestos análogos, el factor soluciones no tuvo significancia estadística, el factor variedades presentó diferencias altamente significativas, y las que presentaron mayores porcentajes de germinación fueron Línea 1, Tulyehualco y Criolla Mixteca (98, 97 y 95%, respectivamente). No hubo interacción entre factores.

Para la variable velocidad de germinación en presencia de ácido salicílico y compuestos análogos, el factor soluciones tuvo efecto significativo, por lo que el AAS, AS, y ASS incrementaron la velocidad de germinación (17, 16 y 16 h, respectivamente). La variedad Criolla Mixteca presentó la mayor velocidad de germinación (21 h). La interacción entre ambos factores no tuvo significancia estadística.

Los resultados obtenidos para la variable velocidad de germinación en presencia de ácido salicílico y compuestos análogos se presentan en el Cuadro 13, donde se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$). La velocidad de germinación del fenotipo Criolla Mixteca fue mayor cuando la semilla germinó en presencia de agua. En presencia de AAS la velocidad de germinación fue mayor para los fenotipos: Mercado, Nepal, Tulyehualco y Criolla Mixteca. En presencia de AS la velocidad de germinación fue mayor para los fenotipos Tulyehualco y Criolla mixteca y por último en presencia de ASS la velocidad de germinación fue mayor para los fenotipos Nepal, Tulyehualco y Criolla Mixteca.

Cuadro 13. Velocidades de germinación obtenida de semilla de amaranto sometida a germinar en agua, AAS, AS y ASS a la temperatura de $26 \pm 1^\circ\text{C}$. Las determinaciones de la germinación se llevaron a cabo a los 12 días y los resultados son el promedio de 3 lotes de 100 semillas.

	T_{50} (h)*			
	Solución			
	Agua	AAS	AS	ASS
Línea 1	12 e	13 de	13 de	13 de
Mercado	13 de	16 abcde	15 bcde	14 cde
Nepal	14 bcde	18 abcde	15 bcde	16 abcde
Tulyehualco	13 de	17 abcde	16 abcde	17 abcde
Criolla Tulyehualco	12 e	15 bcde	14 cde	15 bcde
Criolla Mixteca	20 abcd	23 a	22 ab	21 abc

*Valores de la media con letra distinta son estadísticamente diferentes (Tukey; 0.05).

4.3.4 Germinación en presencia de sulfato de cobre y carencia de hierro

Los resultados obtenidos para la variable germinación en presencia de CuSO_4 y carencia de hierro se presentan en el Cuadro 14, donde se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$). En presencia de agua, hubo diferencias en el porcentaje de germinación entre fenotipos, se formaron 2 grupos. En presencia de la solución de CuSO_4 , hubo diferencias en el porcentaje de germinación en el cual hubo 2 grupos. En presencia de la solución de sobrenadante de medio gastado Ca7, hubo diferencias en el porcentaje de germinación, en presencia de la solución de sobrenadante de medio gastado Ca9m, hubo diferencias en el porcentaje de germinación y por último, en presencia del sobrenadante de medio gastado Cavm, hubo diferencias en el porcentaje de germinación en el cual hubo 2 grupos. El porcentaje de germinación de todos los fenotipos fue mayor cuando germinaron en presencia de: agua a excepción de los fenotipos Mercado y Nepal, en la solución de CuSO_4 , a excepción del fenotipo Nepal, con el sobrenadante Ca7, a excepción de Mercado, Nepal y Criolla Tulyehualco, con el sobrenadante de Ca9m a excepción del fenotipo Mercado, y por último con el sobrenadante Cavm, a excepción de los fenotipos Mercado y Nepal.

Cuadro 14. Germinación obtenida de semilla de amaranto sometida a germinar en agua, CuSO_4 y sobrenadantes del medio gastado a la temperatura de $26 \pm 1^\circ\text{C}$. Las determinaciones de la germinación se llevaron a cabo a los 12 días y los resultados son el promedio de 3 lotes de 100 semillas.

	Germinación total (%)*				
	Solución				
	Agua	CuSO_4	Ca7	Ca9m	Cavm
Línea 1	97 abc	96 abc	97 abc	97 abc	99 a
Mercado	85 e	89 abcde	87 cde	89 bcde	86 de
Nepal	84 e	85 e	85 de	89 abcde	85 de
Tulyehualco	97 abc	97 abc	98 ab	96 abc	97 abc
Criolla Tulyehualco	90 abcde	90 abcde	89 bcde	90 abcde	90 abcde
Criolla Mixteca	95 abcd	93 abcde	91 abcde	93 abcde	93 abcde

*Valores de la media con letra distinta son estadísticamente diferentes (Tukey; 0.05).

En las Figuras 71-78 se representan los porcentajes de germinación diaria de los seis fenotipos de amaranto en presencia de CuSO_4 y sobrenadantes del medio gastado.

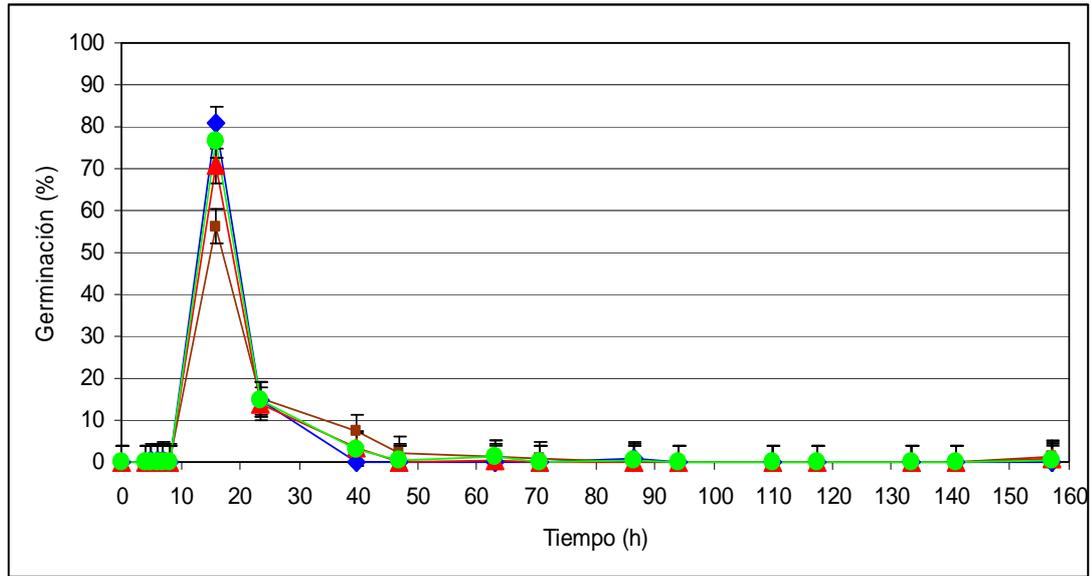


Figura 71. Cinética de germinación diaria de semilla que germinó en presencia de la solución de $100 \mu\text{g/mL}$ de CuSO_4 . Promedio de tres repeticiones. Línea 1 (♦), Mercado (▲), Nepal (■) y Tulyehualco (●).

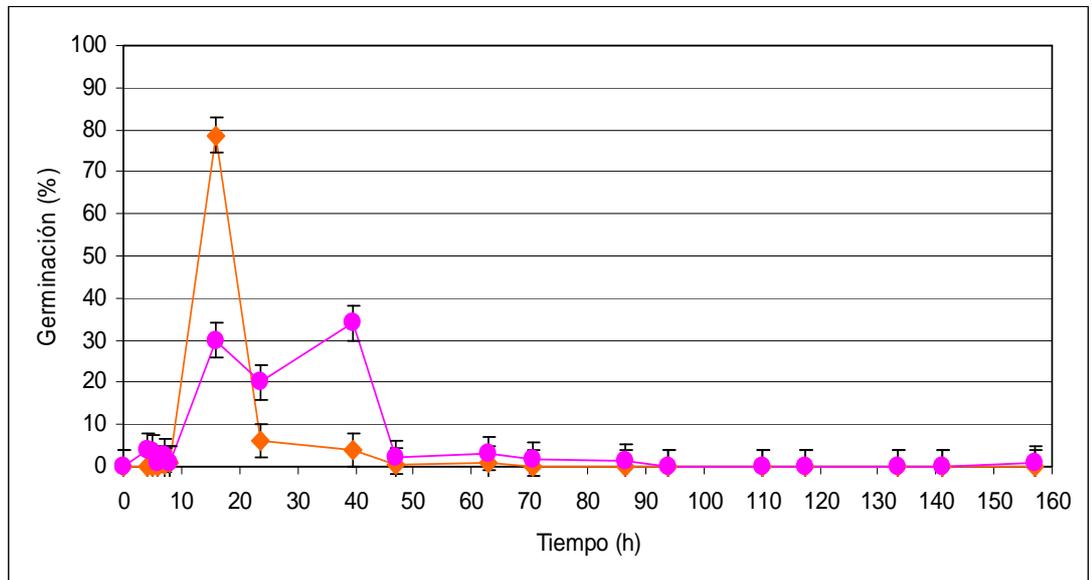


Figura 72. Cinética de germinación diaria de semilla que germinó en presencia de la solución de $100 \mu\text{g/mL}$ de CuSO_4 . Promedio de tres repeticiones. Criolla Tulyehualco (♦) y Criolla Mixteca (●).

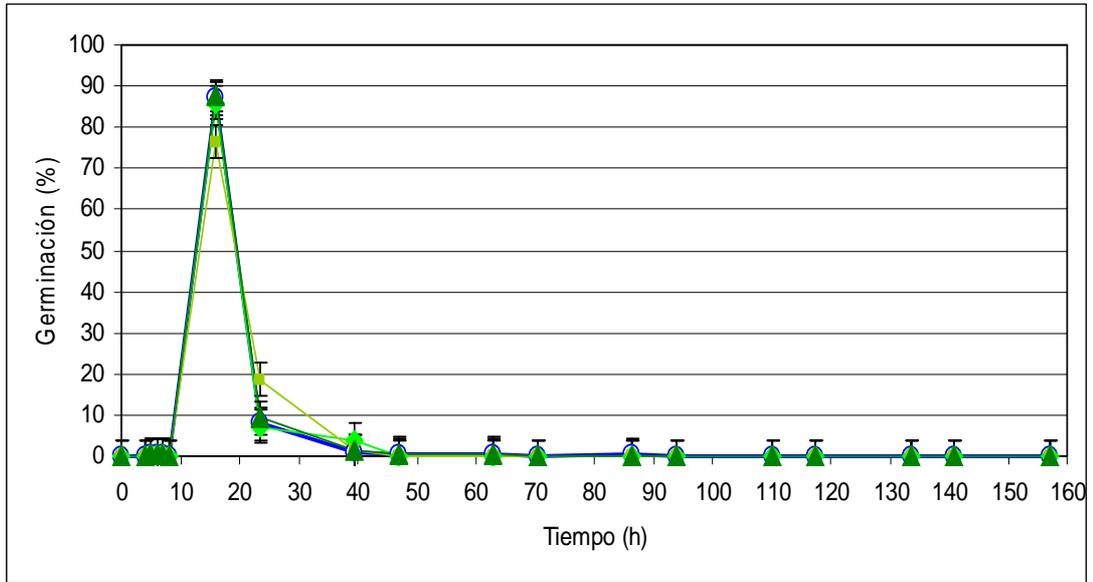


Figura 73. Cinética de germinación de amaranto Línea 1 que germinó en presencia de 3 soluciones sobrenadante de sideróforos: Ca7 (◆), Ca9m (■), Cavm (▲) y Agua (○). Promedio de tres repeticiones.

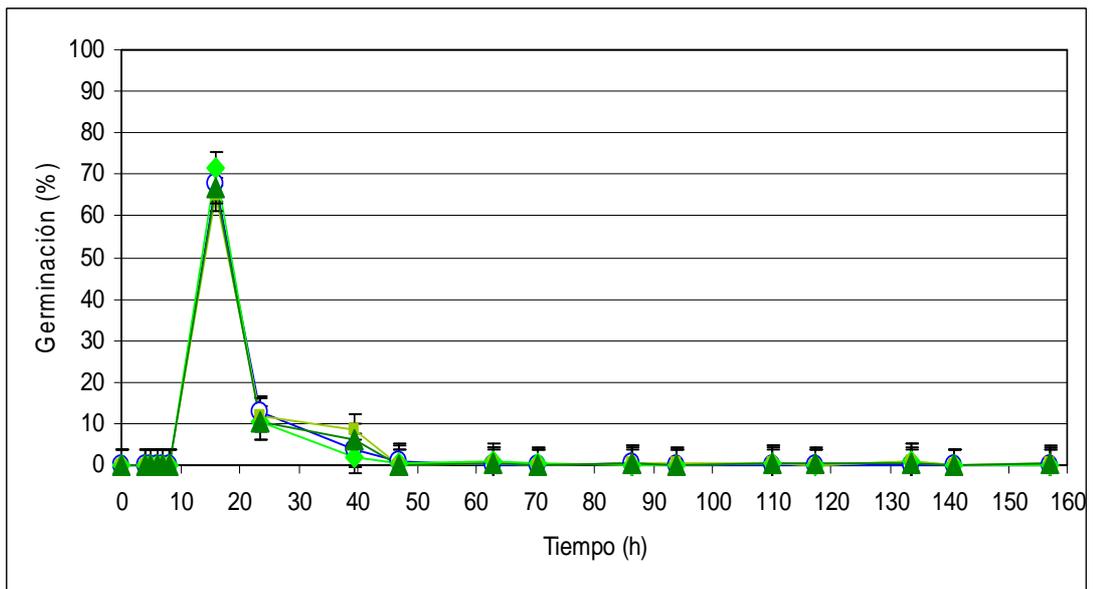


Figura 74. Cinética de germinación de amaranto Mercado que germinó en presencia de 3 soluciones sobrenadante de sideróforos: Ca7 (◆), Ca9m (■), Cavm (▲) y Agua (○). Promedio de tres repeticiones.

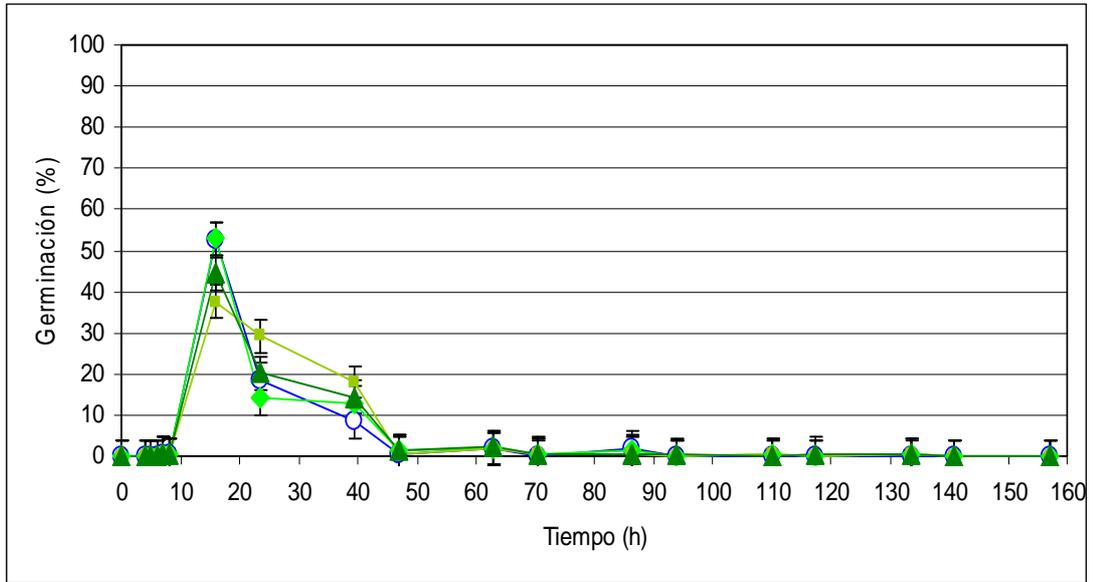


Figura 75. Cinética de germinación de amaranto Nepal que germinó en presencia de 3 soluciones sobrenadante de sideróforos: Ca7 (◆), Ca9m (■), Cavm (▲) y Agua (○). Promedio de tres repeticiones.

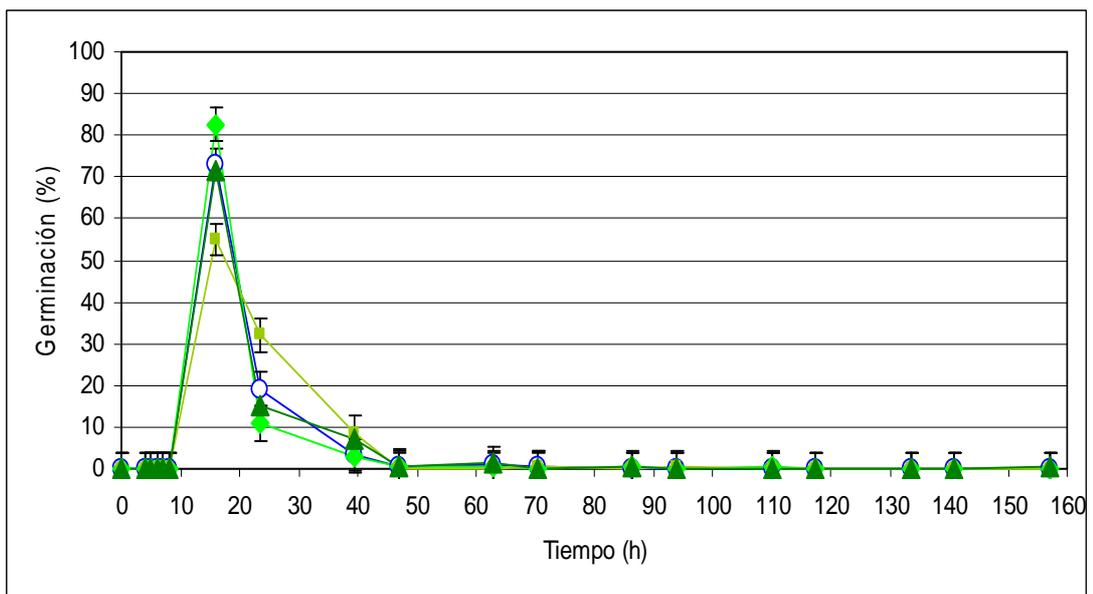


Figura 76. Cinética de germinación de amaranto Tulyehualco que germinó en presencia de 3 soluciones sobrenadante de sideróforos: Ca7 (◆), Ca9m (■), Cavm (▲) y Agua (○). Promedio de tres repeticiones.

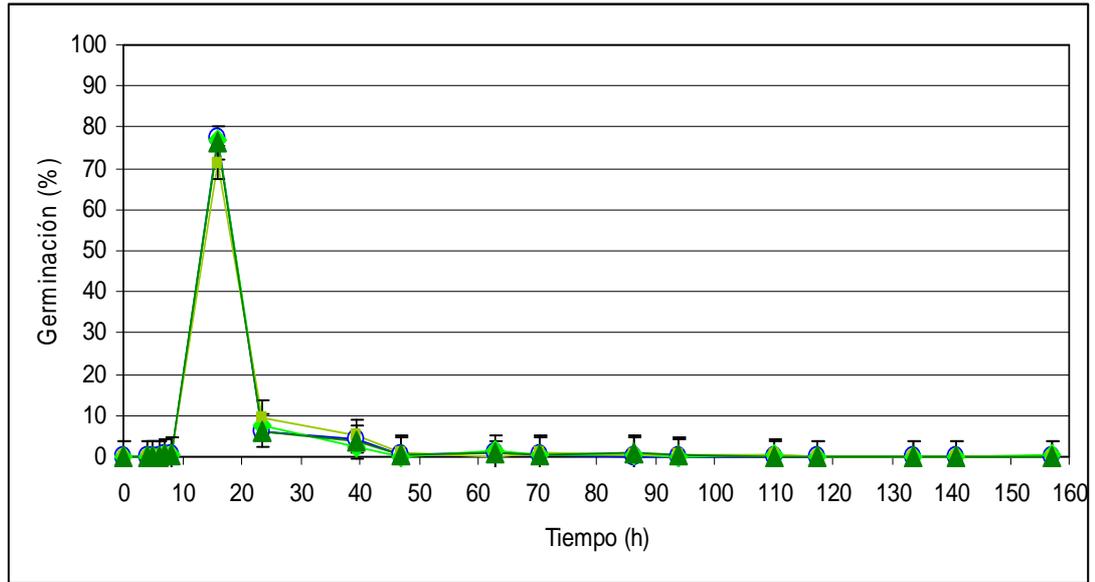


Figura 77. Cinética de germinación de amaranto Criolla Tulyehualco que germinó en presencia de 3 soluciones sobrenadante de sideróforos: Ca7 (◆), Ca9m (■), Cavm (▲) y Agua (○). Promedio de tres repeticiones.

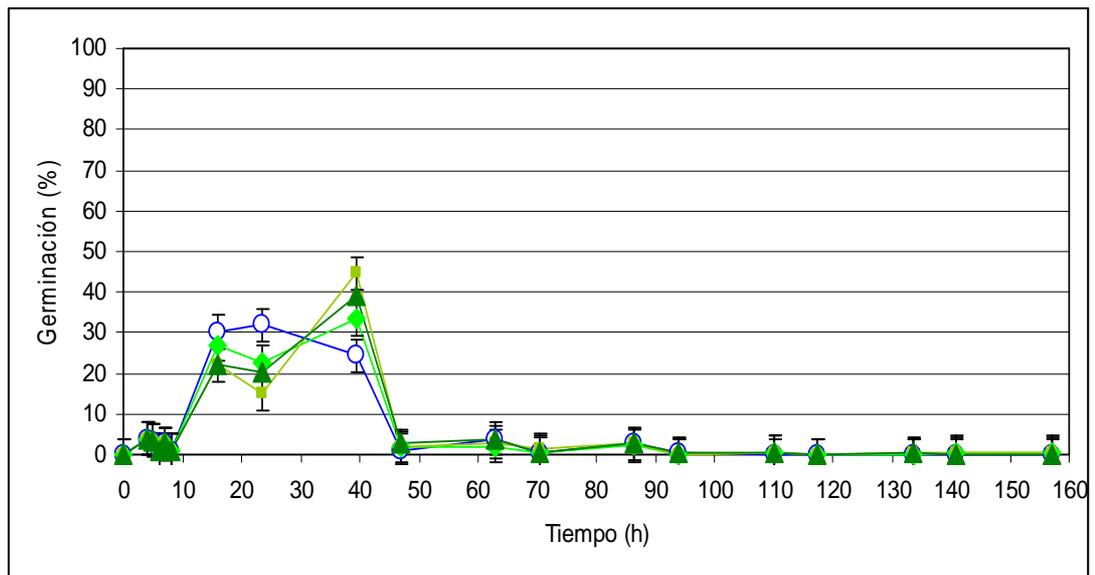


Figura 78. Cinética de germinación de amaranto Criolla Mixteca que germinó en presencia de 3 soluciones sobrenadante de sideróforos: Ca7 (◆), Ca9m (■), Cavm (▲) y Agua (○). Promedio de tres repeticiones.

En las Figuras 79-86 se representan los porcentajes de germinación acumulada de los seis fenotipos de amaranto en presencia de CuSO_4 y sobrenadantes del medio gastado.

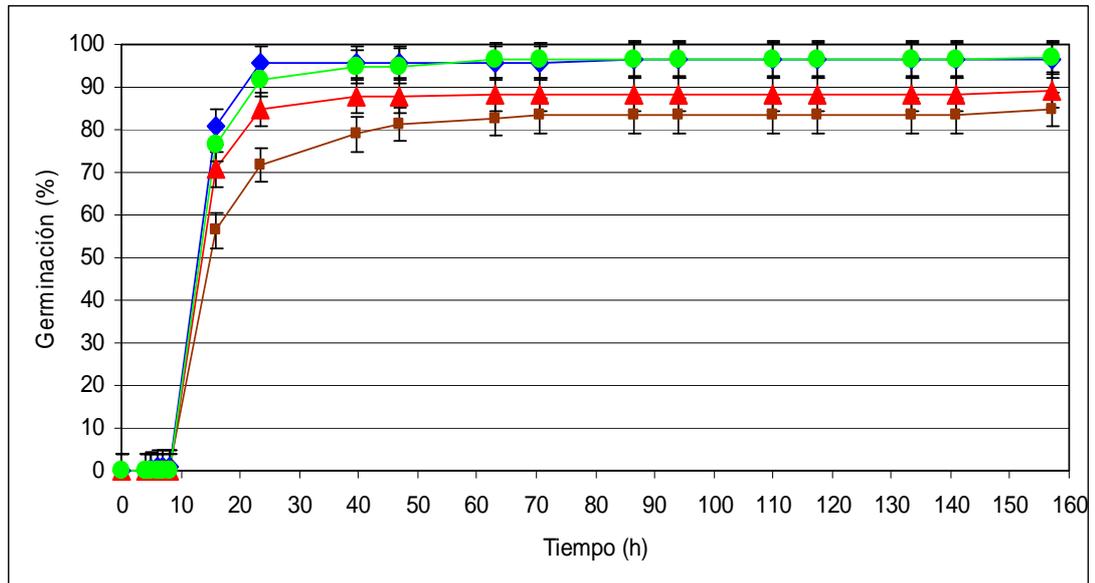


Figura 79. Germinación acumulada de semilla que germinó en presencia de la solución de $100 \mu\text{g/mL}$ de CuSO_4 . Promedio de tres repeticiones. Línea 1 (◆), Mercado (▲), Nepal (■) y Tulyehualco (●).

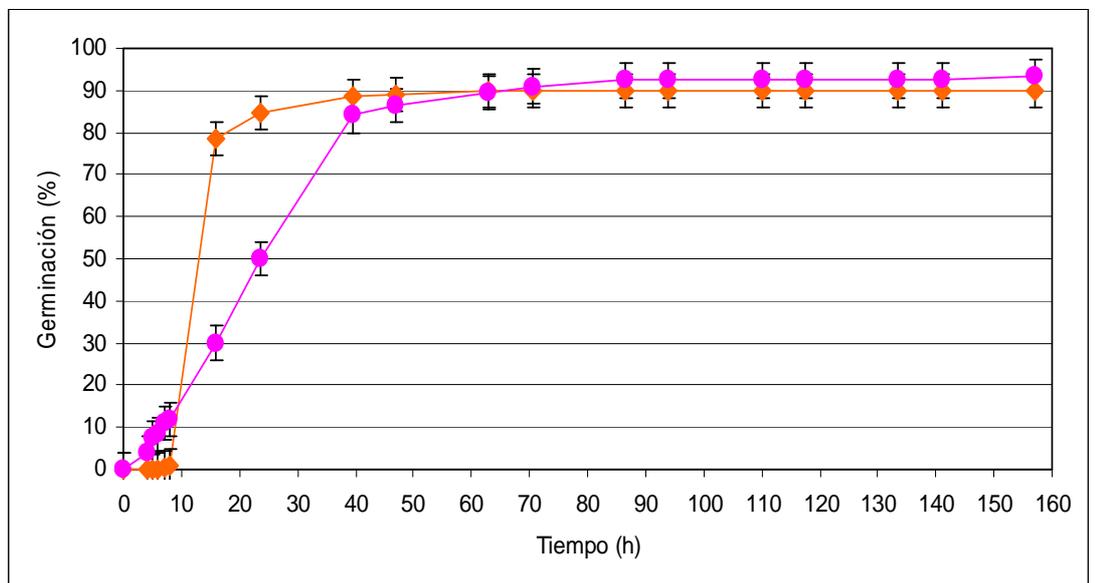


Figura 80. Germinación acumulada de semilla que germinó en presencia de la solución de $100 \mu\text{g/mL}$ de CuSO_4 . Promedio de tres repeticiones. Criolla Tulyehualco (◆) y Criolla Mixteca (●).

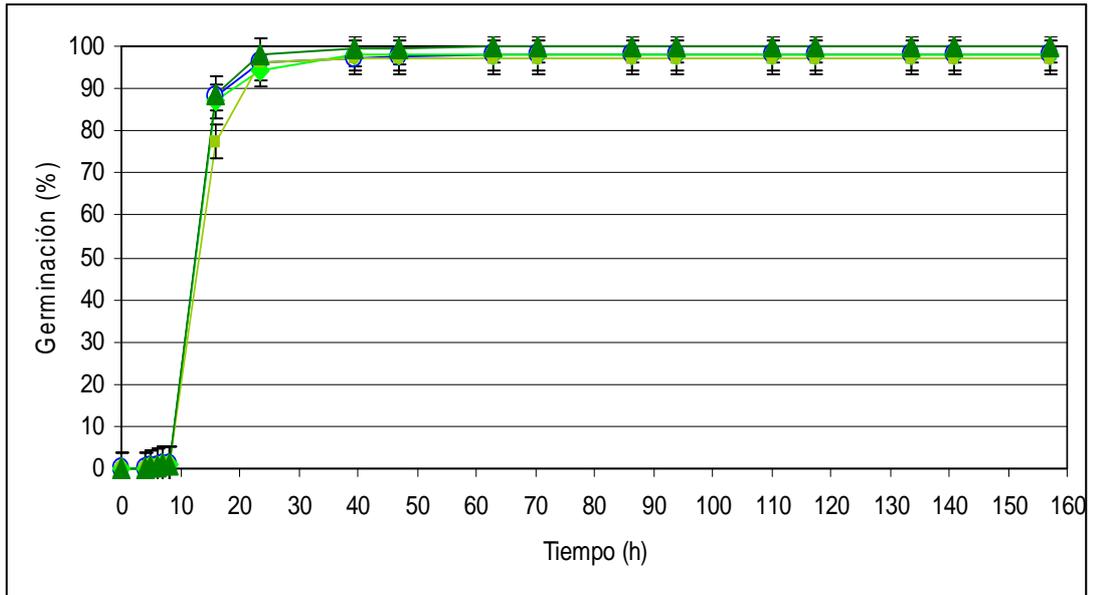


Figura 81. Germinación acumulada de amaranto Línea 1 que germinó en presencia de 3 soluciones sobrenadante de sideróforos: Ca7 (◆), Ca9m (■), Cavm (▲) y Agua (○). Promedio de tres repeticiones.

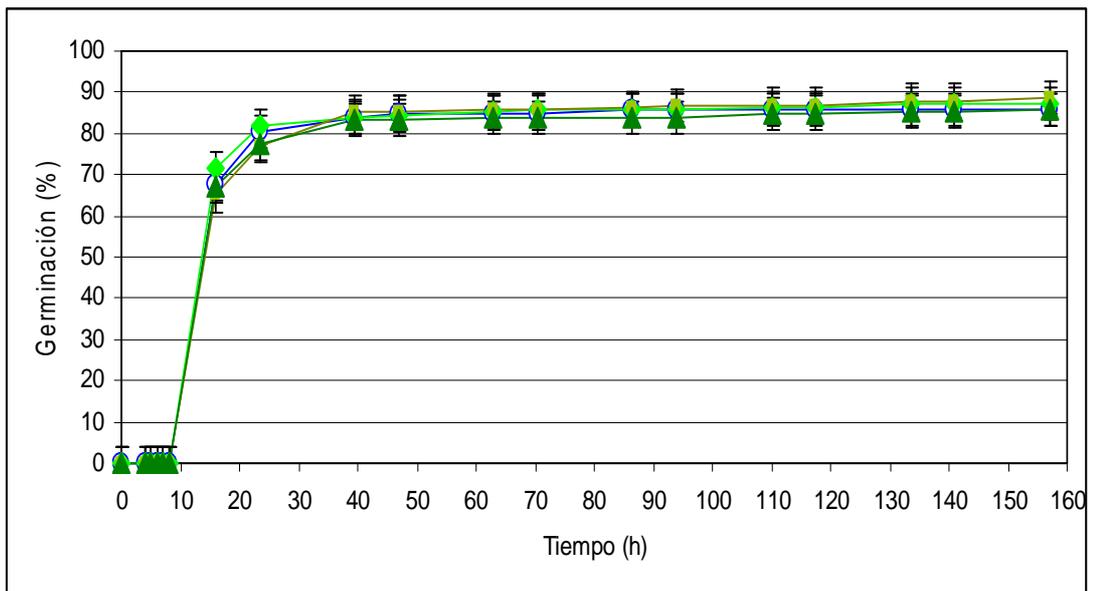


Figura 82. Germinación acumulada de amaranto Mercado que germinó en presencia de 3 soluciones sobrenadante de sideróforos: Ca7 (◆), Ca9m (■), Cavm (▲) y Agua (○). Promedio de tres repeticiones.

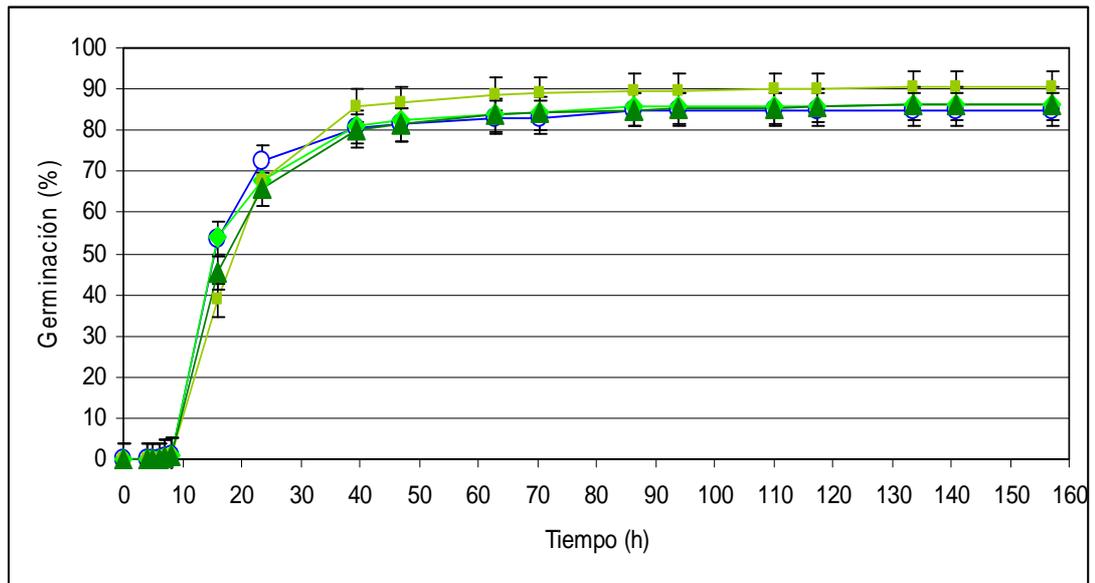


Figura 83. Germinación acumulada de amaranto Nepal que germinó en presencia de 3 soluciones sobrenadante de sideróforos: Ca7 (◆), Ca9m (■), Cavm (▲) y Agua (○). Promedio de tres repeticiones.

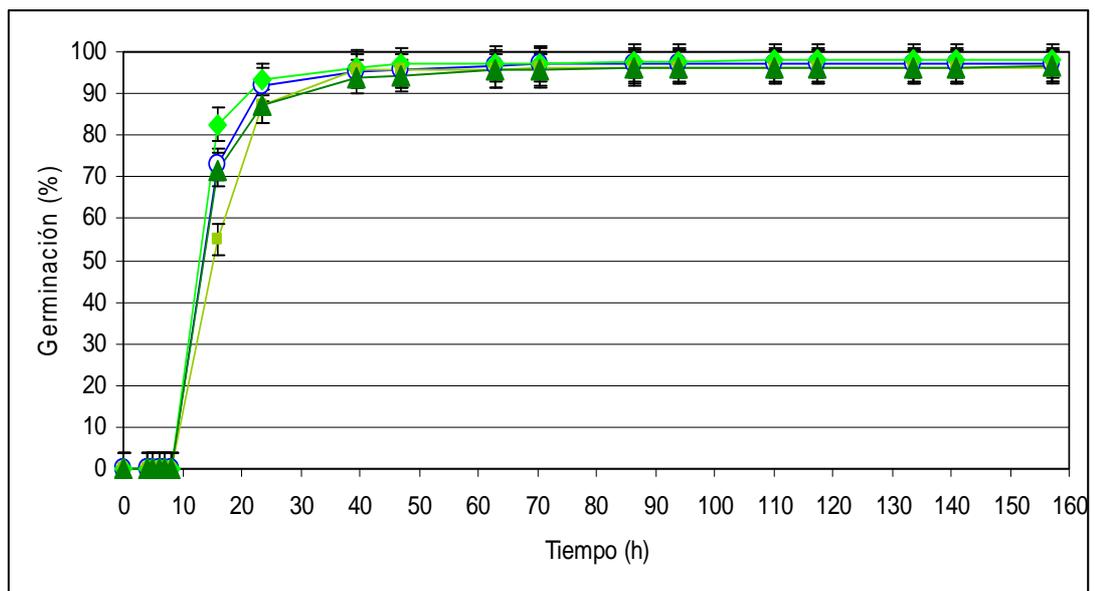


Figura 84. Germinación acumulada de amaranto Tulyehualco que germinó en presencia de 3 soluciones sobrenadante de sideróforos: Ca7 (◆), Ca9m (■), Cavm (▲) y Agua (○). Promedio de tres repeticiones.

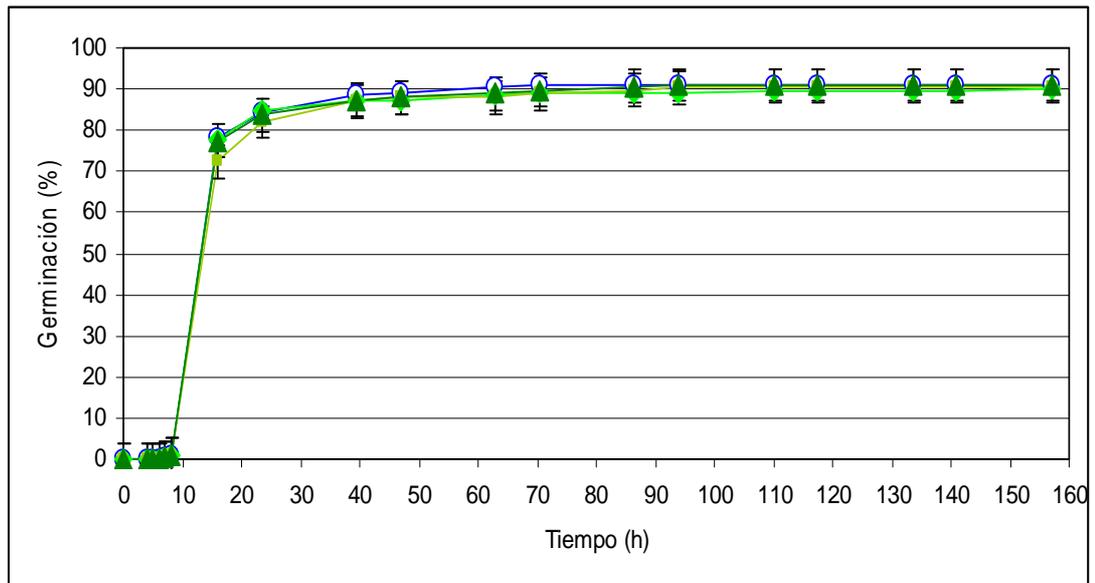


Figura 85. Germinación acumulada de amaranto Criolla Tulyehualco que germinó en presencia de 3 soluciones sobrenadante de sideróforos: Ca7 (◆), Ca9m (■), Cavm (▲) y Agua (○). Promedio de tres repeticiones.

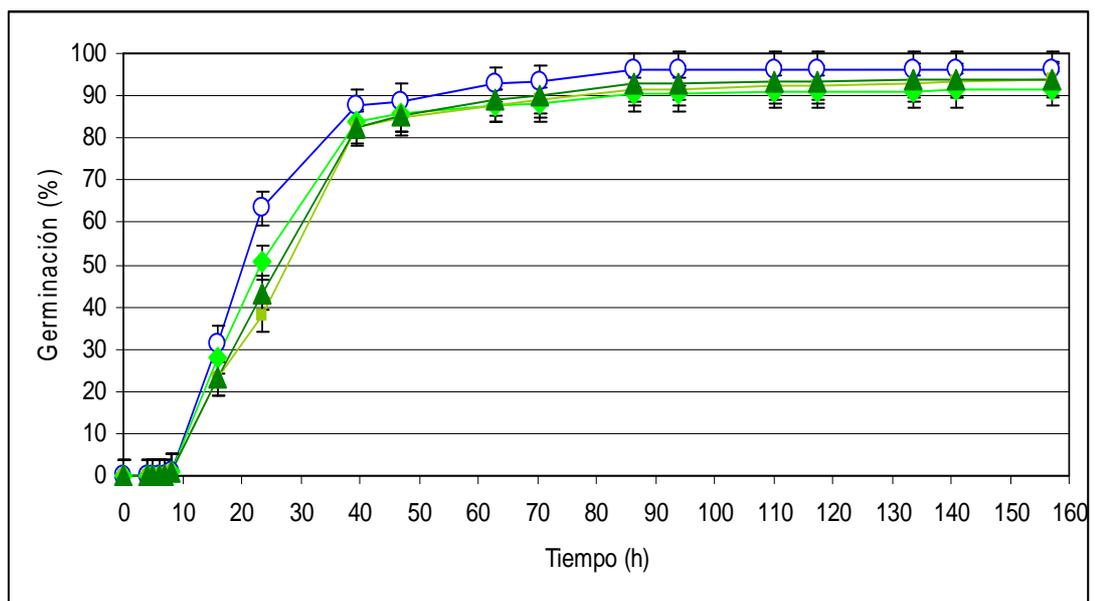


Figura 86. Germinación acumulada de amaranto Criolla Mixteca que germinó en presencia de 3 soluciones sobrenadante de sideróforos: Ca7 (◆), Ca9m (■), Cavm (▲) y Agua (○). Promedio de tres repeticiones.

Para la variable germinación en presencia de CuSO_4 y el sobrenadante de medio gastado, el factor soluciones no tuvo efecto significativo, el factor variedades si tuvo significancia, los mayores porcentajes de germinación lo tuvieron Línea 1 y Tulyehualco (97%, en ambos casos). La interacción entre factores no tuvo significancia.

Para la variable velocidad de germinación en presencia de CuSO_4 y el sobrenadante de medio gastado, la mayor velocidad de germinación (16 y 15 h) se registró con los sobrenadantes Ca9m y Cavm, Criolla Mixteca presentó el mayor tiempo (23 h). No hubo interacción entre ambos factores.

Los resultados obtenidos para la variable velocidad de germinación en presencia de CuSO_4 y carencia de hierro se presentan en el Cuadro 15, donde se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$). La velocidad de germinación del fenotipo Criolla Mixteca fue mayor cuando germinó en presencia de CuSO_4 y de los sobrenadantes Ca7, Ca9m y Cavm.

Cuadro 15. Velocidades de germinación obtenida de semilla de amaranto sometida a germinar en agua, solución de CuSO_4 y sobrenadantes del medio gastado de los cultivos bacterianos indicados a la temperatura de $26 \pm 1^\circ\text{C}$. Las determinaciones de la germinación se llevaron a cabo a los 12 días y los resultados son el promedio de 3 lotes de 100 semillas.

	T_{50} (h)*				
	Solución				
	Agua	CuSO_4	Ca7	Ca9m	Cavm
Línea 1	12 d	13 d	12 d	13 d	12 d
Mercado	13 d	13 d	13 d	14 d	13 d
Nepal	14 d	14 d	14 d	17 dc	16 dc
Tulyehualco	13 d	13 d	13 d	15 dc	13 d
Criolla Tulyehualco	12 d	12 d	12 d	13 d	13 d
Criolla Mixteca	20 bc	22 ab	22 ab	26 a	24 ab

*Valores de la media con letra distinta son estadísticamente diferentes (Tukey; 0.05).

4.4 Vigor de plántulas

La Figura 87 muestra las plántulas donde pueden apreciarse diferencias en el desarrollo (vigor) de los 6 fenotipos de amaranto a los 3 y 4 días después de la germinación.

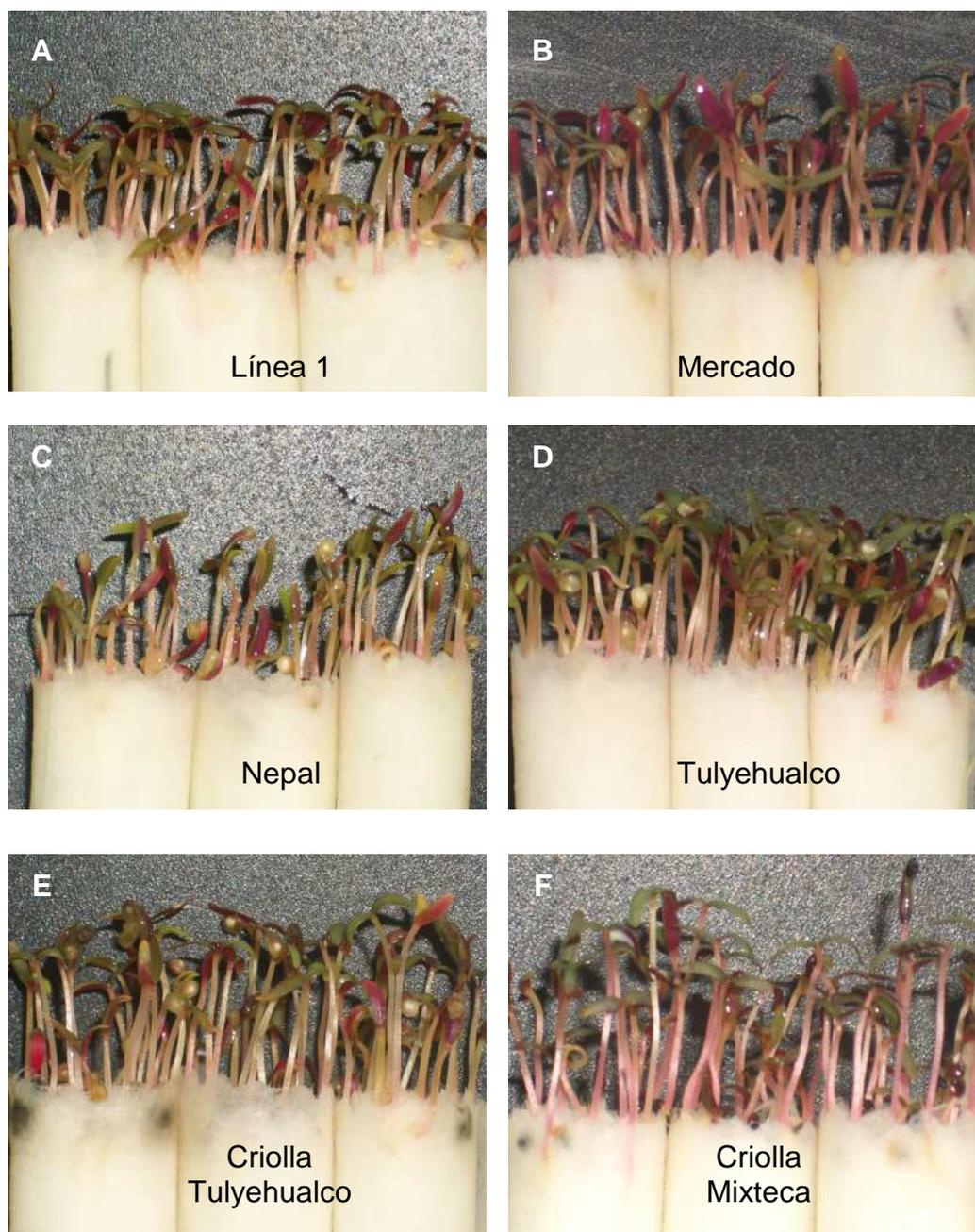


Figura 87. Aspecto de las plántulas de amaranto desarrolladas durante 3 días (A, C y E) y 4 días (B, D y F).

4.4.1 Longitud

Hubo diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) para la variable longitud del tallo de plántulas de los 6 fenotipos de amaranto (Cuadro 16). Los fenotipos con mayor longitud (mm) se registraron a las 120 h, excepto para el caso del fenotipo Criolla Mixteca.

Cuadro 16. Longitud del tallo de 6 fenotipos de amaranto conservados a 26-28°C y fotoperíodo de 16 h luz. Determinación efectuada a las 72, 96 y 120 horas después de la germinación. Los datos son promedio de 3 repeticiones.

Fenotipo	Longitud (mm) *		
	72 h	96 h	120 h
Línea 1	14.3 bcd	15.0 abcd	15.0 abcd
Mercado	12.0 de	15.0 abcd	18.0 a
Nepal	12.7 de	12.3 de	17.0 ab
Tulyehualco	12.3 de	15.0 abcd	16.0 abc
Criolla Tulyehualco	13.3 cde	14.0 bcde	17.0 ab
Criolla Mixteca	11.0 e	12.3 de	13.7 cde

*Valores de la media con letra distinta son estadísticamente diferentes (Tukey; 0.05).

Para la variable longitud de plántulas, el factor días tuvo efecto altamente significativo, el día 5 (120 h) presentó la mayor longitud de plántulas de amaranto. El factor variedades presentó efecto altamente significativo, todas las variedades a excepción de Criolla Mixteca presentaron las mayores longitudes. La interacción entre ambos factores fue significativa.

4.4.2 Materia seca de tallos de plántulas generadas de semillas germinadas en presencia de soluciones de herbicidas

El peso de materia seca (mg) de los tallos de seis fenotipos de amaranto en presencia de Hierbamina y 2,4-D se consignan en el Cuadro 17. El peso de materia seca de raíz no se determinó debido a que en presencia de Hierbamina y 2,4-D las raíces alcanzaron una longitud muy pequeña menor a 1 mm. El peso de materia seca de tallos fue mayor para todas las plántulas de semillas germinadas en presencia de soluciones Hierbamina y 2,4-D, que contrastó con plántulas generadas de semillas germinadas que germinaron en agua.

Cuadro 17. Determinación del peso de materia seca de tallos de 6 fenotipos de amaranto mantenidos a 26-28°C y fotoperíodo de 16 h luz. Las plántulas se generaron a partir de semilla germinada en presencia de agua y soluciones de Hierbamina y 2,4-D. Determinación efectuada a los 8 días después de la germinación. Los datos son promedio de 3 repeticiones.

Fenotipo	Materia seca (mg)*		
	Solución		
	Agua	Hierbamina	2,4-D
Línea 1	15.3 f	26.0 abcde	23.8 abcdef
Mercado	17.1 cdef	32.8 a	28.8 ab
Nepal	15.3 def	24.3 abcdef	27.2 abc
Tulyehualco	17.1 cdef	29.3 a	27.0 abc
Criolla Tulyehualco	18.5 bcdef	23.8 abcdef	24.5 abcdef
Criolla Mixteca	15.3 f	25.3 abcdef	26.1 abcd

*Valores de la media con letra distinta son estadísticamente diferentes (Tukey; 0.05).

El peso de materia seca de tallos fue mayor para todas las plántulas que germinaron en presencia de Hierbamina y 2,4-D, contrario al agua que registraron el menor peso de materia seca de tallos.

Para la variable peso de materia seca total de tallos en presencia de herbicidas Hierbamina Comercial y 2,4-D, el factor soluciones tuvo efecto altamente significativo, Hierbamina y 2,4-D registraron el mayor peso de materia seca de tallos con 27 y 26 mg, respectivamente. El factor variedades no tuvo significancia estadística, y la interacción entre factores tampoco presentó significancia estadística.

4.4.3 Materia seca total (tallos y raíces) de plántulas generadas de semillas germinadas en presencia de soluciones de herbicidas

El análisis estadístico de esta variable no muestra diferencias entre tratamientos ($p \leq 0.05$) (Cuadro 18). A pesar de que no existieron diferencias significativas, las soluciones de Hierbamina y 2,4-D incrementaron el peso de materia seca total de los fenotipos, excepto el fenotipo Criolla Tulyehualco, el cual tuvo el menor peso de materia seca total.

Cuadro 18. Determinación del peso de materia seca total (tallos y raíces) de 6 fenotipos de amaranto mantenidos a 26-28°C. Determinación efectuada a los 8 días después de la germinación. Los datos son promedio de 3 repeticiones.

Fenotipo	Peso de materia seca (mg)*		
	Solución		
	Agua	Hierbamina	2,4-D
1. Línea 1	23.5 a	26.0 a	23.8 a
2. Mercado	27.7 a	32.8 a	28.8 a
3. Nepal	24.3 a	24.3 a	27.1 a
4. Tulyehualco	26.7 a	29.3 a	27.0 a
5. Criolla Tulyehualco	26.0 a	23.8 a	24.5 a
6. Criolla Mixteca	21.7 a	25.3 a	26.1 a

*Valores de la media con letra distinta son estadísticamente diferentes (Tukey; 0.05).

Para la variable peso de materia seca total en presencia de herbicidas Hierbamina Comercial y 2,4-D el factor soluciones no tuvo significancia estadística, pero si hubo diferencias significativas entre variedades, las que tuvieron los mayores pesos de materia seca fueron Mercado, Tulyehualco, Nepal y Criolla Tulyehualco (30, 28, 25 y 25 mg., respectivamente). La interacción entre factores no tuvo significancia estadística.

4.4.4 Materia seca de tallos de plántulas generadas de semillas germinadas en presencia de soluciones de ácido salicílico y compuestos análogos

El análisis de esta variable no muestra diferencias estadísticas significativas entre tratamientos ($p \leq 0.05$) (Cuadro 19). Sin embargo, las soluciones de AAS, AS y ASS disminuyeron el peso de materia seca de tallos de los fenotipos criollos: Tulyehualco y Mixteca.

Cuadro 19. Determinación del peso de materia seca de tallos de 6 fenotipos de amaranto mantenidos a 26-28°C. Determinación efectuada a los 8 días después de la germinación. Los datos son promedio de 3 repeticiones.

	Peso de materia seca (mg)*			
	Solución			
	Agua	AAS	AS	ASS
1. Línea 1	15.3 a	15.5 a	15.3 a	13.8 a
2. Mercado	17.1 a	19.5 a	19.3 a	17.8 a
3. Nepal	15.3 a	16.5 a	15.3 a	14.7 a
4. Tulyehualco	17.1 a	18.5 a	16.3 a	17.5 a
5. Criolla Tulyehualco	18.5 a	15.8 a	14.5 a	15.0 a
6. Criolla Mixteca	15.3 a	14.3 a	11.3 a	11.1 a

*Valores de la media con letra distinta son estadísticamente diferentes (Tukey; 0.05).

Para la variable peso de materia seca de tallos en presencia de ácido salicílico y compuestos análogos el factor soluciones no tuvo significancia estadística, el factor variedades si tuvo diferencias estadísticas, por lo que las variedades con el mayor peso de materia seca de tallos fueron todas las variedades a excepción de Criolla Mixteca.

4.4.5 Materia seca de raíces de plántulas generadas de semillas germinadas en presencia de soluciones de ácido salicílico y compuestos análogos

El análisis de esta variable no muestra diferencias estadísticas significativas entre tratamientos ($p \leq 0.05$) (Cuadro 20). Sin embargo, en comparación con el agua, las soluciones de AAS, AS y ASS promovieron el incremento del peso de materia seca de raíces de los fenotipos. El menor peso de materia seca de raíces se registró con AS para el fenotipo Línea 1 y con AAS para el fenotipo Mercado.

Cuadro 20. Determinación del peso de materia seca de raíces de 6 fenotipos de amaranto mantenidos a 26-28°C. Determinación efectuada a los 8 días después de la germinación. Los datos son promedio de 3 repeticiones.

	Peso de materia seca (mg)*			
	Solución			
	Agua	AAS	AS	ASS
1. Línea 1	8.1 a	9.3 a	7.7 a	8.8 a
2. Mercado	10.5 a	10.0 a	11.3 a	12.1 a
3. Nepal	8.7 a	9.8 a	9.3 a	11.7 a
4. Tulyehualco	9.5 a	10.7 a	10.0 a	11.3 a
5. Criolla Tulyehualco	7.5 a	9.8 a	8.0 a	9.8 a
6. Criolla Mixteca	6.3 a	13.3 a	9.3 a	11.7 a

*Valores de la media con letra distinta son estadísticamente diferentes (Tukey; 0.05).

Para la variable peso de materia seca de raíces en presencia de ácido salicílico y compuestos análogos, el factor soluciones no tuvo significancia estadística, el factor variedades tampoco tuvo significancia, y por lo tanto no hubo interacción entre factores.

4.4.6 Materia seca total (tallos y raíces) de plántulas generadas de semillas germinadas en presencia de soluciones de ácido salicílico y compuestos análogos

El análisis de esta variable no muestra diferencias estadísticas significativas entre tratamientos ($p \leq 0.05$) (Cuadro 21). Ligeras disminuciones en el peso de materia seca fueron detectadas en plántulas generadas a partir de semillas germinadas en presencia de las soluciones en comparación con el agua para los fenotipos: Línea 1 con el AS y el ASS; Tulyehualco con AS; Criolla Tulyehualco con los tres: AAS, AS y ASS; y por último, Criolla Mixteca con AS.

Para la variable peso de materia seca total en presencia de ácido salicílico y compuestos análogos, el factor soluciones no tuvo significancia estadística, el factor variedades tampoco tuvo significancia, y por lo tanto no hubo interacción entre factores.

Cuadro 21. Determinación del peso de materia seca de raíces de 6 fenotipos de amaranto mantenidos a 26-28°C. Determinación efectuada a los 8 días después de la germinación. Los datos son el promedio de 3 repeticiones.

	Peso de materia seca (mg)*			
	Solución			
	Agua	AAS	AS	ASS
1. Línea 1	23.5 a	24.8 a	23.0 a	22.7 a
2. Mercado	27.7 a	29.5 a	30.7 a	30.0 a
3. Nepal	24.3 a	26.3 a	24.7 a	25.3 a
4. Tulyehualco	26.7 a	28.7 a	26.3 a	28.8 a
5. Criolla Tulyehualco	26.0 a	25.7 a	22.5 a	24.8 a
6. Criolla Mixteca	21.7 a	27.7 a	20.7 a	22.8 a

*Valores de la media con letra distinta son estadísticamente diferentes (Tukey; 0.05).

4.5 Determinación de emergencia en invernadero

En la Figura 88 se muestran datos de los porcentajes de emergencia de plántulas de amaranto. Los resultados muestran que los fenotipos de semilla germinada en presencia de agua: Línea 1, Mercado, Nepal, Tulyehualco y Criolla Tulyehualco emergieron más del 90%, a excepción de Criolla Mixteca que emergió sólo 53%.

La semilla de los fenotipos germinados en presencia de la solución de Doble Super (0.006 µL/mL) emergió en porcentajes menores, presentando la mayor emergencia el fenotipo Mercado (62%) y las plántulas que emergieron menos fueron del fenotipo Línea 1 (13%).

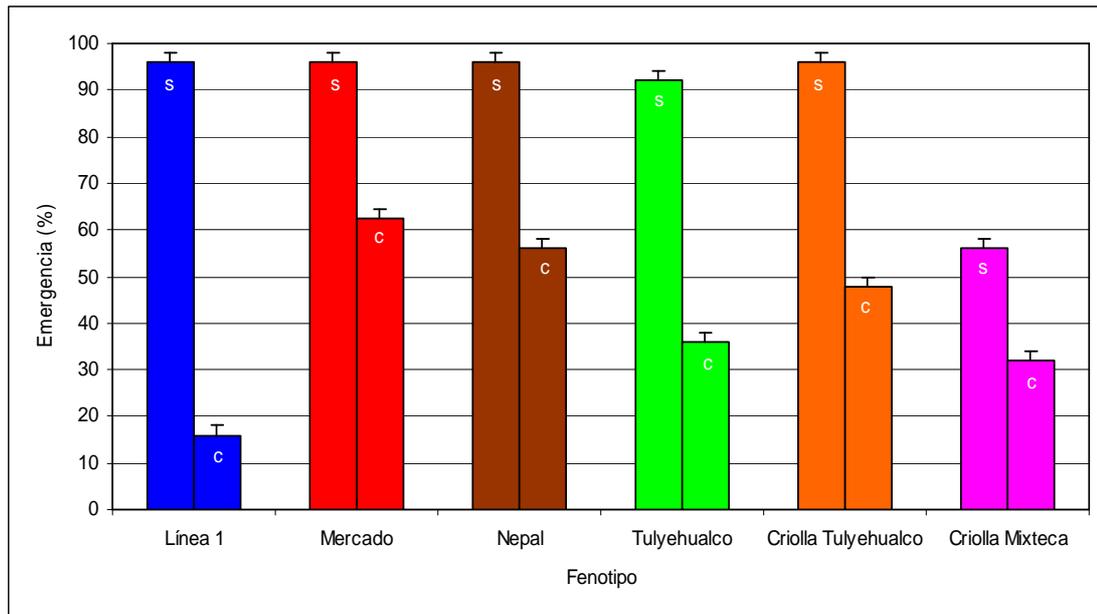


Figura 88. Emergencia de plántulas de amaranto generadas a partir de semilla germinada en agua o en presencia de la solución 0.006 $\mu\text{L}/\text{mL}$ del herbicida Doble Super. S: Sin herbicida Doble Super, C: Con herbicida Doble Super.

4.5.1 Aspecto de las plántulas durante la emergencia en invernadero

El aspecto de las plántulas se presentan en las figuras 89 y 90, generadas a partir de semilla germinada en agua o en presencia de la solución 0.006 $\mu\text{L}/\text{mL}$ del herbicida Doble Super, respectivamente.



Línea 1



Mercado



Nepal



Tulyehualco



Criolla Tulyehualco



Criolla Mixteca

Figura 89. Aspecto de las plántulas de amaranto a los 27 días, generadas a partir de semilla germinada en presencia de agua.



Mercado

Línea 1



Nepal



Tulyehualco



Criolla Tulyehualco



Criolla Mixteca

Figura 90. Aspecto de las plántulas de amaranto a los 27 días, generadas a partir de semilla germinada en presencia de la solución 0.006 $\mu\text{L}/\text{mL}$ de herbicida Doble Super.

4.5.2 Respuesta de las plántulas de los seis fenotipos de amaranto a la aspersión con la solución del herbicida Doblete Super (0.006 μ L/mL)

25 plántulas de cada fenotipo provenientes de semilla germinada en agua y de semillas germinadas en presencia del herbicida Doblete Super, una vez que alcanzaron 15 cm de altura, fueron rociadas con un atomizador a una distancia de 30 cm con la solución del herbicida Doblete Super (Figura 91). Como resultado de esta acción todas las plántulas presentaron al día siguiente las hojas de color verde pálido las que cambiaron a color paja que comenzaron a secarse al tercer día. La explicación de lo ocurrido se debe a la acción del herbicida y a la condición de susceptibilidad de los fenotipos, independientemente de que la semilla haya germinado en agua o en presencia de la solución de herbicida (Figura 92).



Figura 91. Aspecto general de las plántulas de los seis fenotipos de amaranto generadas a partir de semilla germinada en agua y en presencia de la solución de Doblete Super antes de la aspersión del herbicida.



Figura 92. Aspecto general de las plántulas de los seis fenotipos de amaranto después de la aspersión de la solución de herbicida a los tres días.

4.5.3 Desarrollo de las plántulas de los seis fenotipos de amaranto generadas a partir de semilla germinada en presencia del herbicida Doble Super

De las plántulas que emergieron de la semilla germinada en presencia del herbicida Doble Super fue seleccionada una planta de cada fenotipo, transferida a macetas de 4 kg para observar su desarrollo hasta la etapa de maduración de grano. Estas plantas no fueron asperjadas con el herbicida. Es interesante destacar el color de las panojas (Figura 93 y 94), las cuales tuvieron colores muy llamativos, Mercado y Tulyehualco mostraban color verde en su panoja central, mientras que Nepal, Criolla Tulyehualco y Criolla Mixteca tenían color rojo en su panoja central. El fenotipo Línea 1 quedó descartado porque en la emergencia no llegaron a crecer las plántulas, y posteriormente se marchitaron.

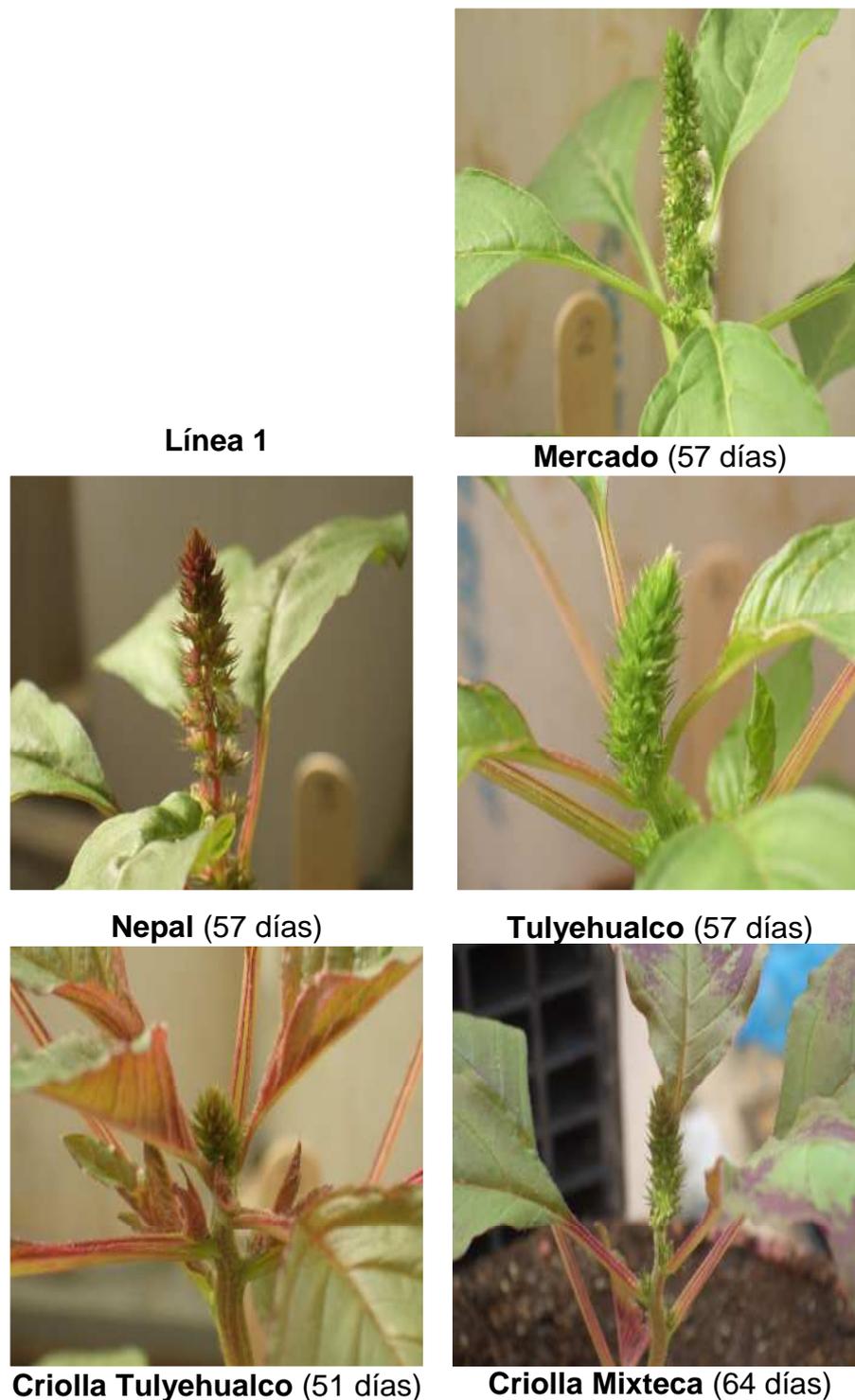


Figura 93. Aspecto de las inflorescencias de plantas de los fenotipos de amaranto a los días indicados, generadas a partir de semilla germinada en presencia del herbicida Doble Super (0.006 $\mu\text{L}/\text{mL}$).



Mercado

Línea 1



Nepal



Tulyehualco



Criolla Tulyehualco



Criolla Mixteca

Figura 94. Aspecto de las inflorescencias en la etapa de llenado de grano de panojas de los 5 fenotipos de amaranto indicados a los 106 días, generadas a partir de semilla germinada en presencia del herbicida Dobleto Super (0.006 $\mu\text{L}/\text{mL}$), Fecha: 15 de enero de 2007.

A continuación se presenta en el Cuadro 22 la fecha de corte de plantas de amaranto con producción de semillas, peso de 100 semillas (mg), el peso total (g) y el color de las semillas. Los fenotipos Mercado, Nepal y Tulyehualco fueron superiores a los fenotipos criollos en cuanto al peso de 100 semillas y al peso total obtenido.

Cuadro 22. Determinación de la fecha de corte, peso de 100 semillas y peso total de semillas obtenidas de plantas generadas a partir de semilla germinada en presencia al herbicida Doble Super.

Fenotipo	Fecha de corte	Peso de 100 semillas (mg)	Peso total de semillas (g)	Color
Mercado	13/Feb/2007	83	2.39	Crema
Nepal	13/Feb/2007	79	1.49	Crema
Tulyehualco	14/Feb/2007	89	1.85	Crema
Criolla Tulyehualco	3/Mar/2007	77	0.21	Crema
Criolla Mixteca	14/Feb/2007	71	0.61	Negra

4.6 Características del desarrollo de las plantas generadas a partir de semilla germinada en agua y Doble Super

4.6.1 Longitud de planta

En las Figuras 95 a 100 se representa el desarrollo de las plántulas expresado en la longitud promedio de 5 plántulas. La determinación de la longitud de las plántulas se llevo a cabo a partir de los 6 y hasta los 27 días a partir de la siembra de la semilla germinada. Los resultados de esta variable fueron interesantes, ya que los fenotipos Nepal, Criolla Tulyehualco y Criolla Mixteca presentaron longitudes similares a los 27 días tanto las plántulas provenientes de semilla germinada en agua como de semilla germinada en presencia de la solución del herbicida Doble Super en contraste con los fenotipos Línea 1, Mercado y Tulyehualco.

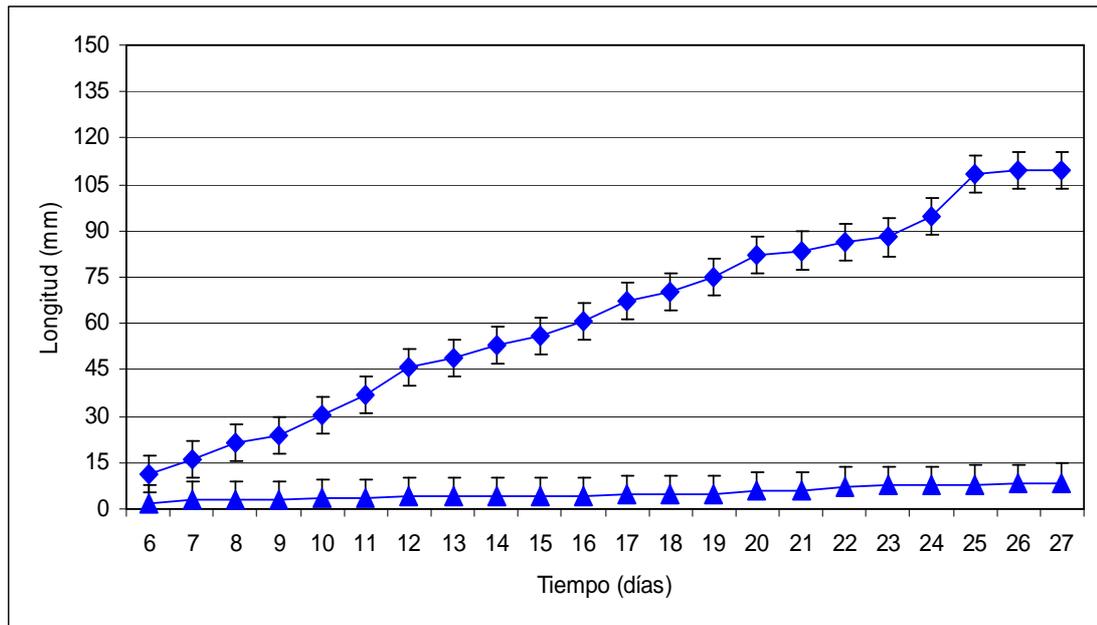


Figura 95. Cinética de crecimiento de plántulas de amaranto Línea 1. Las determinaciones fueron a partir de los seis días después de la siembra de la semilla germinada. Cada determinación representa el promedio de cinco plántulas. Semilla germinada en agua (◆) y en presencia de Doble Super 0.006 $\mu\text{L}/\text{mL}$ (▲).

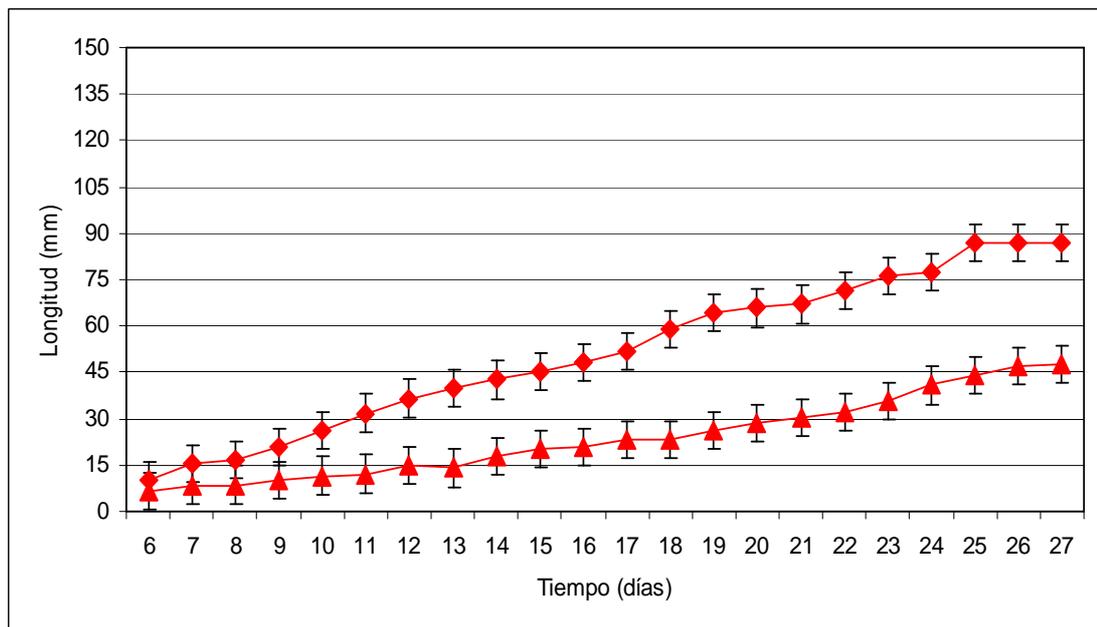


Figura 96. Cinética de crecimiento de plántulas de amaranto Mercado. Las determinaciones fueron a partir de los seis días después de la siembra de la semilla germinada. Cada determinación representa el promedio de cinco plántulas. Semilla germinada en agua (◆) y en presencia de Doble Super 0.006 $\mu\text{L}/\text{mL}$ (▲).

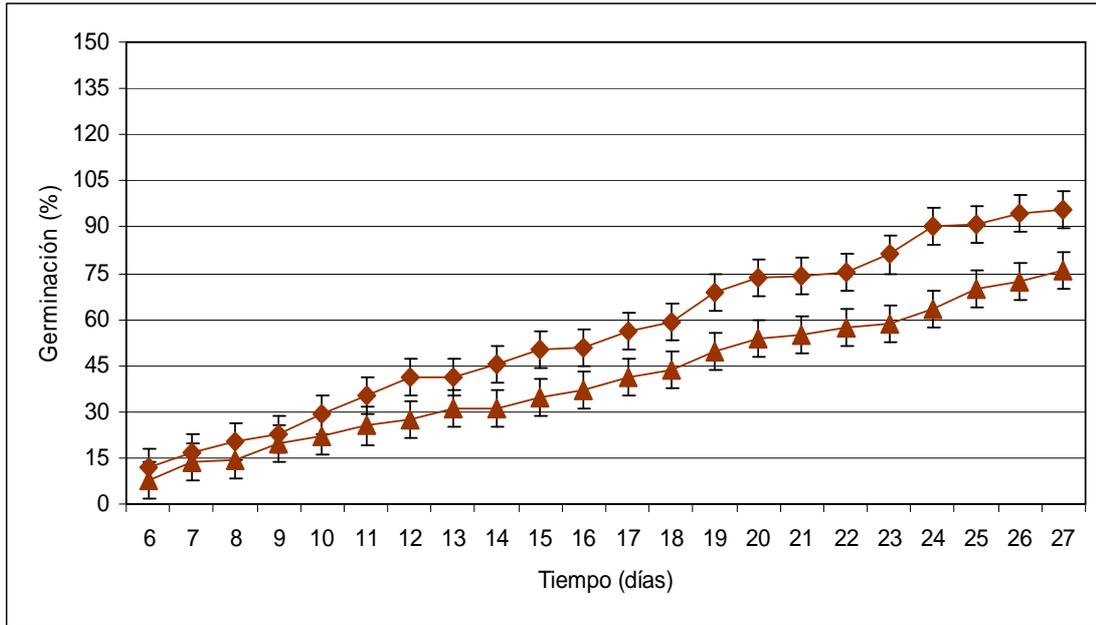


Figura 97. Cinética de crecimiento de plántulas de amaranto Nepal. Las determinaciones fueron a partir de los seis días después de la siembra de la semilla germinada. Cada determinación representa el promedio de cinco plántulas. Semilla germinada en agua (◆) y en presencia de Doble Super 0.006 $\mu\text{L}/\text{mL}$ (▲).

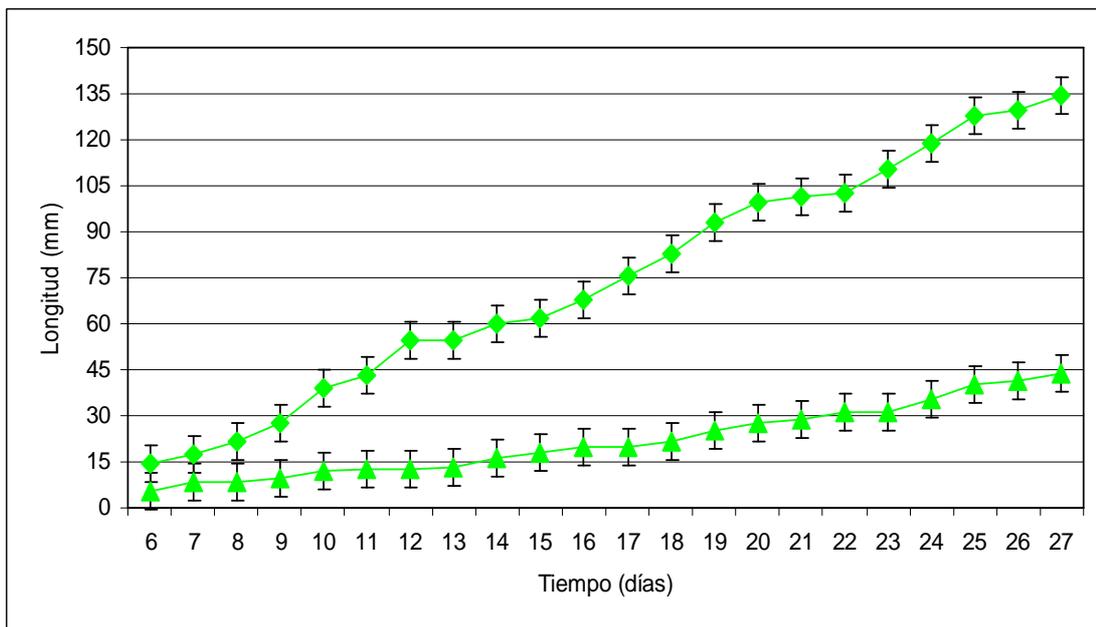


Figura 98. Cinética de crecimiento de plántulas de amaranto Tulyehualco. Las determinaciones fueron a partir de los seis días después de la siembra de la semilla germinada. Cada determinación representa el promedio de cinco plántulas. Semilla germinada en agua (◆) y en presencia de Doble Super 0.006 $\mu\text{L}/\text{mL}$ (▲).

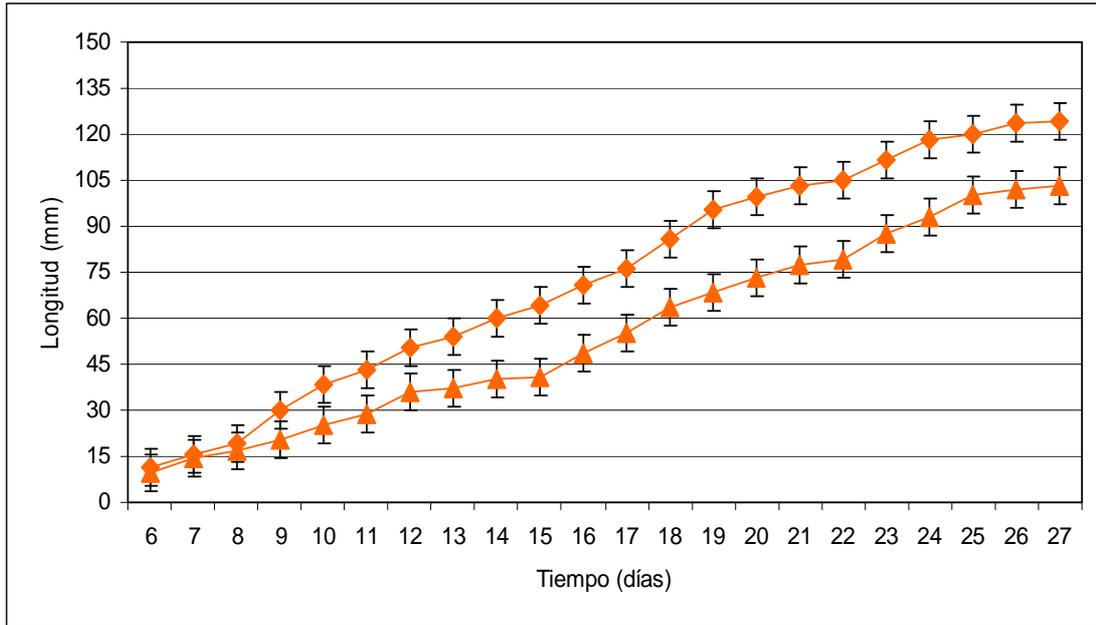


Figura 99. Cinética de crecimiento de plántulas de amaranto *C. Tulyehualco*. Las determinaciones fueron a partir de los seis días después de la siembra de la semilla germinada. Cada determinación representa el promedio de cinco plántulas. Semilla germinada en agua (◆) y en presencia de Doble Super 0.006 $\mu\text{L}/\text{mL}$ (▲).

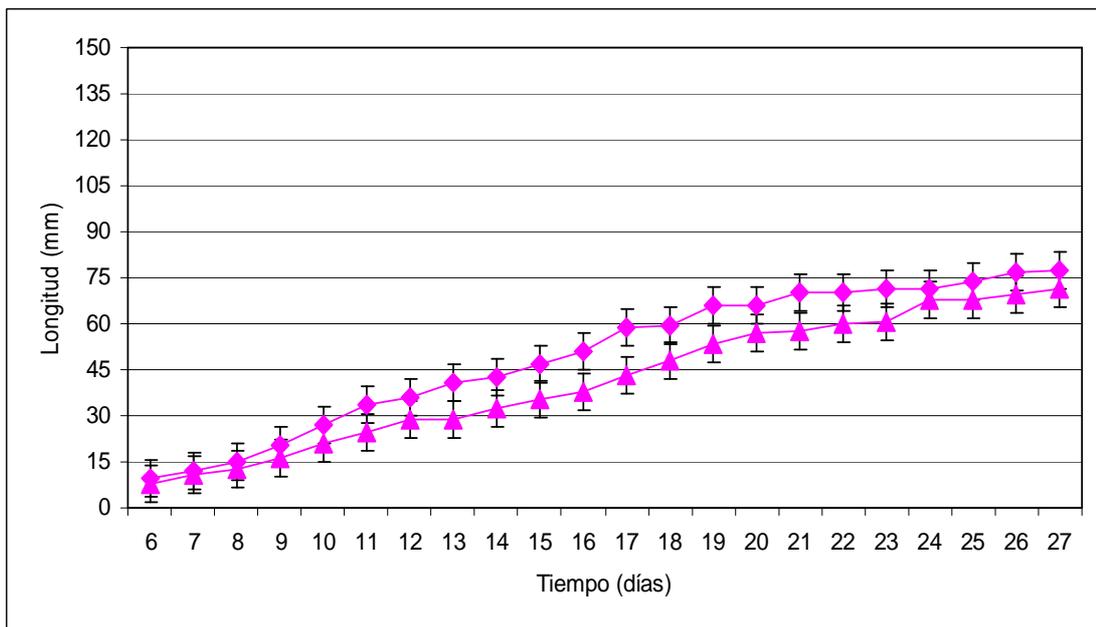


Figura 100. Cinética de crecimiento de plántulas de amaranto *C. Mixteca*. Las determinaciones fueron a partir de los seis días después de la siembra de la semilla germinada. Cada determinación representa el promedio de cinco plántulas. Semilla germinada en agua (◆) y en presencia de Doble Super 0.006 $\mu\text{L}/\text{mL}$ (▲).

4.6.2 Número de hojas

El número de hojas de las plántulas fue considerado diferenciando tanto el número de plántulas que presentaban hojas así como el número promedio de hojas por plántula a lo largo de las determinaciones efectuadas del día 15 al día 27, y los resultados se presentan en los Cuadros 23-28.

Cuadro 23. Determinación del número de plántulas con hojas y número promedio de hojas por plántula del fenotipo Línea 1 efectuadas a los 13 días de desarrollo en las condiciones indicadas.

Día	Fenotipo Línea 1			
	Plántulas provenientes de semilla germinadas en agua		Plántulas provenientes de semilla germinadas en presencia de la solución herbicida Doble Super	
	Número de plántulas con hojas	Número promedio de hojas por plántula	Número de plántulas con hojas	Número promedio de hojas por plántula
15	24	3.12	3	2.00
16	24	3.67	3	2.00
17	24	3.96	4	1.75
18	24	3.96	4	1.75
19	24	3.87	4	1.75
20	24	4.04	4	1.75
21	24	3.87	5	1.60
22	24	4.87	6	2.17
23	24	5.25	6	2.50
24	24	5.67	6	2.83
25	24	5.79	6	3.00
26	24	5.79	6	3.00
27	24	5.83	6	3.33

Cuadro 24. Determinación del número de plántulas con hojas y número promedio de hojas por plántula del fenotipo Mercado efectuadas a los 13 días de desarrollo en las condiciones indicadas.

Día	Fenotipo Mercado			
	Plántulas provenientes de semilla germinadas en agua		Plántulas provenientes de semilla germinadas en presencia de la solución herbicida Doble Super	
	Número de plántulas con hojas	Número promedio de hojas por plántula	Número de plántulas con hojas	Número promedio de hojas por plántula
15	25	3.12	15	2.13
16	24	3.96	15	2.40
17	24	3.95	15	2.53
18	24	4.00	15	2.53
19	24	4.00	15	2.47
20	24	5.00	15	2.47
21	24	5.00	15	2.73
22	24	5.00	15	3.00
23	24	5.83	15	4.53
24	24	5.96	15	3.2
25	24	5.87	12	3.67
26	24	5.87	12	3.91
27	24	5.87	13	3.69

Cuadro 25. Determinación del número de plántulas con hojas y número promedio de hojas por plántula del fenotipo Nepal efectuadas a los 13 días de desarrollo en las condiciones indicadas.

Fenotipo Nepal				
Plántulas provenientes de semilla germinadas en agua			Plántulas provenientes de semilla germinadas en presencia de la solución herbicida Doble Super	
Día	Número de plántulas con hojas	Número promedio de hojas por plántula	Número de plántulas con hojas	Número promedio de hojas por plántula
15	23	3.39	16	2.69
16	24	3.96	16	3.00
17	24	3.96	16	3.29
18	24	3.96	16	3.29
19	24	4.12	16	3.38
20	24	4.96	16	3.19
21	24	4.96	16	3.56
22	24	4.96	16	3.75
23	24	5.12	16	3.81
24	24	6.00	16	3.94
25	24	5.87	16	5.18
26	24	5.96	16	4.85
27	24	6.08	16	4.77

Cuadro 26. Determinación del número de plántulas con hojas y número promedio de hojas por plántula del fenotipo Tulyehualco efectuadas a los 13 días de desarrollo en las condiciones indicadas.

Fenotipo Tulyehualco				
Plántulas provenientes de semilla germinadas en agua			Plántulas provenientes de semilla germinadas en presencia de la solución herbicida Doble Super	
Día	Número de plántulas con hojas	Número promedio de hojas por plántula	Número de plántulas con hojas	Número promedio de hojas por plántula
15	23	2.43	9	1.89
16	23	3.87	9	2.11
17	23	3.96	9	2.22
18	23	3.96	9	2.33
19	23	4.00	9	2.44
20	23	4.87	9	2.44
21	23	4.91	8	2.62
22	23	5.78	9	2.78
23	23	5.83	9	2.89
24	23	5.91	9	5.22
25	23	5.91	10	2.9
26	23	5.96	10	3.00
27	23	5.96	10	2.89

Cuadro 27. Determinación del número de plántulas con hojas y número promedio de hojas por plántula del fenotipo Criolla Tulyehualco efectuadas a los 13 días de desarrollo en las condiciones indicadas.

Criolla Tulyehualco				
Día	Plántulas provenientes de semilla germinadas en agua		Plántulas provenientes de semilla germinadas en presencia de la solución herbicida Doble Super	
	Número de plántulas con hojas	Número promedio de hojas por plántula	Número de plántulas con hojas	Número promedio de hojas por plántula
15	24	3.37	12	2.58
16	23	3.79	12	3.18
17	24	3.87	12	3.08
18	24	3.87	12	3.44
19	24	4.00	12	3.17
20	24	4.83	12	3.75
21	24	4.92	12	3.75
22	24	5.21	12	4.75
23	24	5.58	12	4.25
24	24	5.58	12	4.42
25	24	5.91	12	4.58
26	24	5.96	12	4.42
27	24	5.62	12	4.5

Cuadro 28. Relación del número de plántulas con hojas y número promedio de hojas por plántula del fenotipo Criolla Mixteca efectuadas a los 13 días de desarrollo en las condiciones indicadas.

Fenotipo Criolla Mixteca				
Día	Plántulas provenientes de semilla germinadas en agua		Plántulas provenientes de semilla germinadas en presencia de la solución herbicida Doble Super	
	Número de plántulas con hojas	Número promedio de hojas por plántula	Número de plántulas con hojas	Número promedio de hojas por plántula
15	14	3.64	8	3.50
16	14	3.86	8	3.50
17	14	3.86	8	3.50
18	14	3.93	8	3.75
19	14	4.14	8	3.75
20	14	4.93	8	3.87
21	14	4.93	8	4.00
22	14	4.93	8	4.00
23	14	5.71	8	4.12
24	14	5.67	8	4.87
25	14	5.60	8	5.25
26	14	5.67	8	5.25
27	15	5.60	9	4.89

4.6.3 Color de hoja y tallo

Fue necesario destacar la coloración de las hojas a los 27 días después de la siembra (Figuras 101 y 102), la cual se determinó de manera visual, se compararon ambas coloraciones tanto del haz como del envés para ver si de alguna manera había afectado la concentración de 0.006 $\mu\text{L/mL}$ del herbicida Doble Super sobre la coloración de las hojas (Cuadro 23).

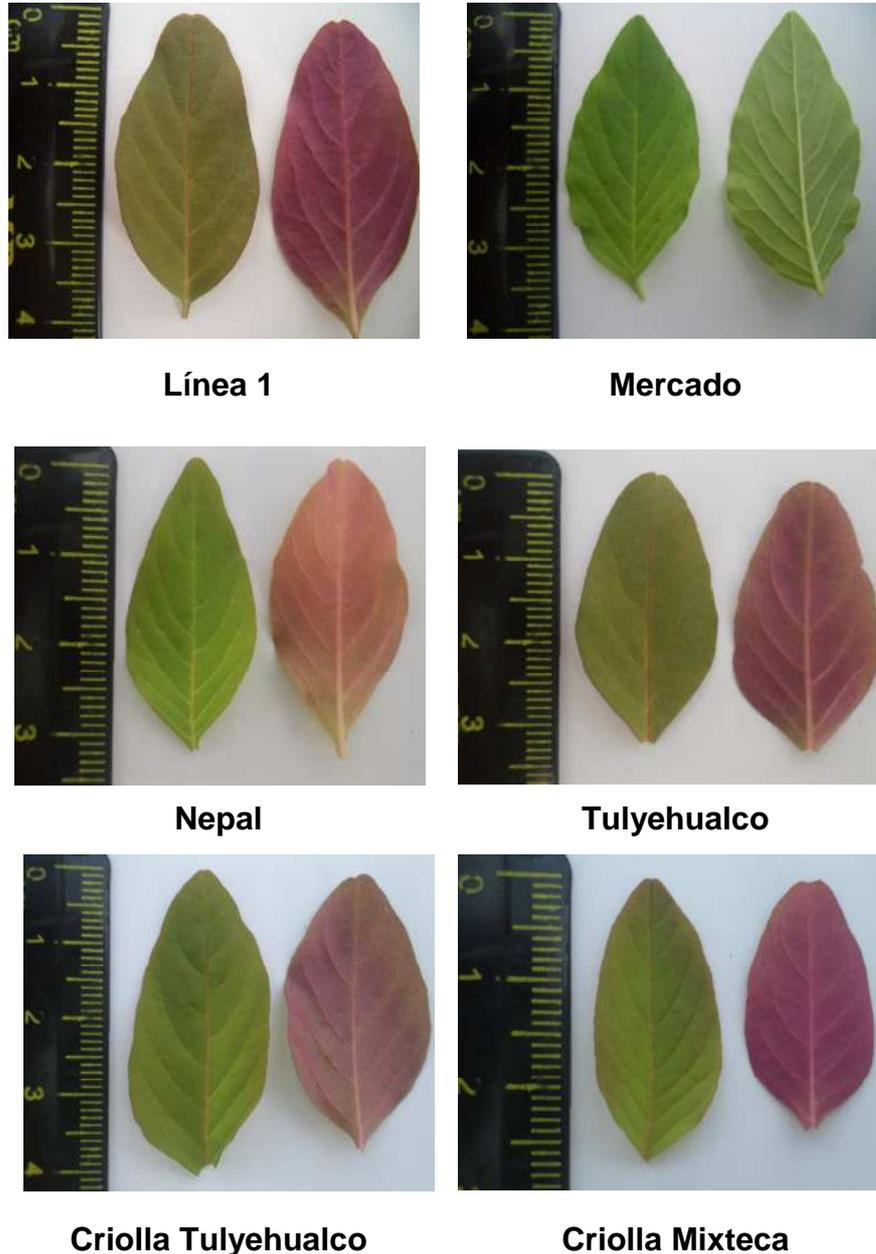


Figura 101. Longitud y coloración de las hojas de seis fenotipos de amaranto indicados a los 27 días después de la siembra de las plantas generadas a partir de semilla germinada en agua. En cada caso, el aspecto del haz es la primera hoja y el envés la segunda.

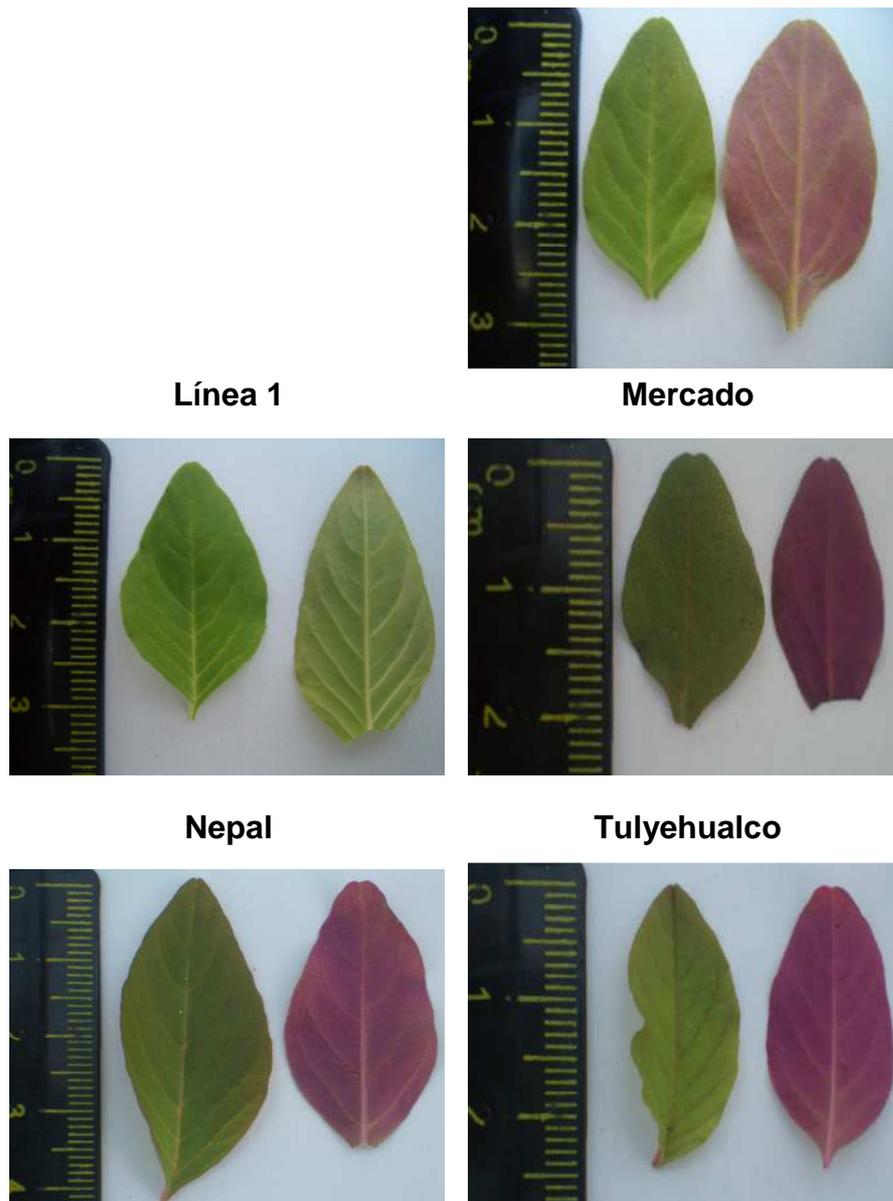


Figura 102. Longitud y coloración de las hojas de seis fenotipos de amaranto indicados a los 27 días después de la siembra de las plantas generadas a partir de semilla germinada en la concentración 0.006 $\mu\text{L}/\text{mL}$ de herbicida Doble Super. En cada caso, el aspecto del haz es la primera hoja y el envés la segunda.

Cuadro 29. Determinación visual de la coloración de hojas (haz y envés) de hojas de seis fenotipos de amaranto a los 27 días después de la siembra de semillas germinadas en agua y en la concentración de 0.006 $\mu\text{L/mL}$ del herbicida Doble Super.

Fenotipo	Agua		Doble Super	
	Haz	Envés	Haz	Envés
Línea 1	Verde	Rojo	---	---
Mercado	Verde	Verde	Verde	Rosa
Nepal	Verde	Rosa	Verde	Verde
Tulyehualco	Verde	Rojo	Verde	Rojo
Criolla Tulyehualco	Verde	Rojo	Verde	Rojo
Criolla Mixteca	Verde	Rojo	Verde	Rojo

4.7 Obtención de los cultivos bacterianos de *P. fluorescens*

En la Figura 103 se muestra el aspecto físico de cada uno de los sobrenadantes de medio gastado de los cultivos bacterianos. El sobrenadante del medio gastado del cultivo Ca9m es el más traslucido que los demás.

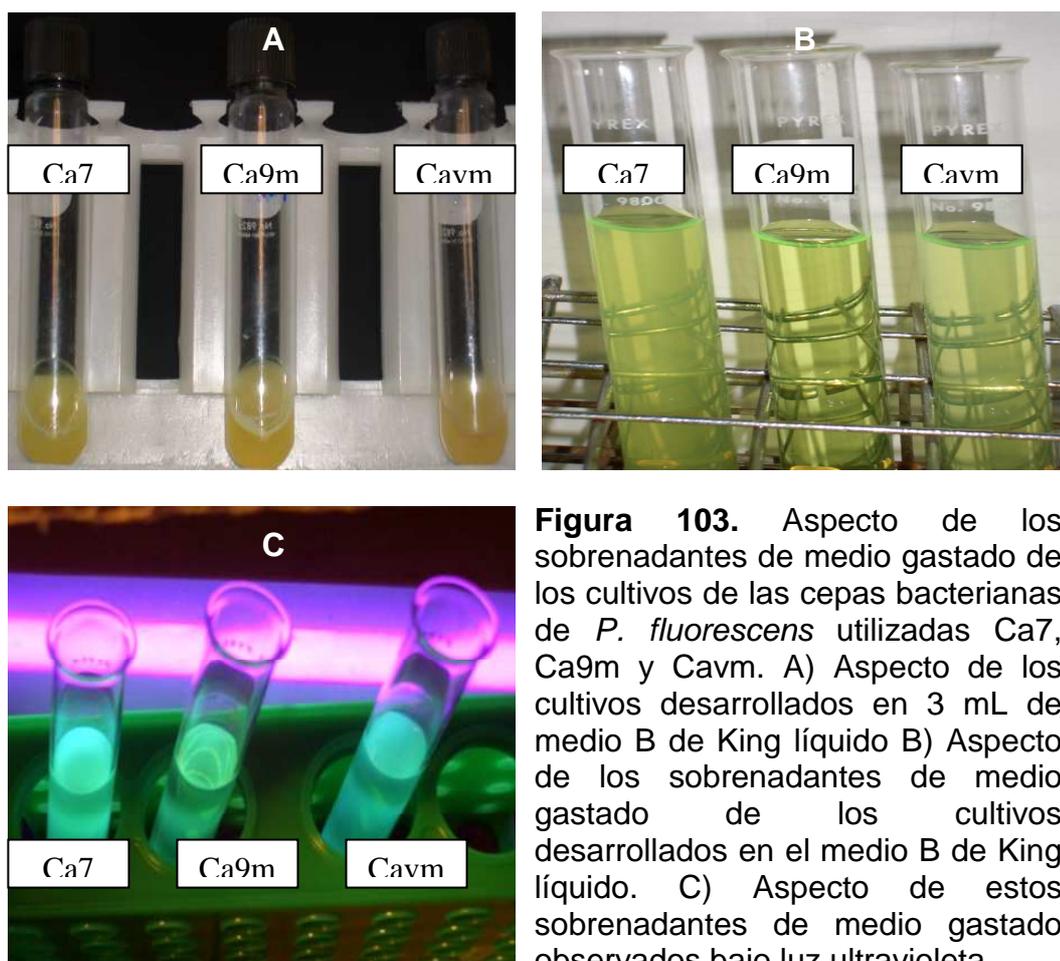


Figura 103. Aspecto de los sobrenadantes de medio gastado de los cultivos de las cepas bacterianas de *P. fluorescens* utilizadas Ca7, Ca9m y Cavm. A) Aspecto de los cultivos desarrollados en 3 mL de medio B de King líquido B) Aspecto de los sobrenadantes de medio gastado de los cultivos desarrollados en el medio B de King líquido. C) Aspecto de estos sobrenadantes de medio gastado observados bajo luz ultravioleta.

La mayor fluorescencia la presentó el sobrenadante del medio gastado de la cepa Ca7 (Figura 103 C) y concuerda con la lectura de absorbencia de este sobrenadante de medio gastado hecha a 400 nm en un espectrofotómetro. Los sobrenadantes de medio gastado Ca9m y Cavm presentaron menor fluorescencia lo cual indica diferencias en la cantidad de sideróforos. En dichos sobrenadantes de medio gastado la mayor turbidez la tuvo el sobrenadante Cavm y la menor turbidez Ca9m (Cuadro 30).

Cuadro 30. Lecturas de absorbencia de la cantidad de pigmento a 400 nm y lecturas de turbidez a 660 nm del sobrenadante de medio gastado. Promedio de 3 repeticiones.

Sobrenadante	Absorbencia	
	400 nm	660 nm
Ca7	0.97	0.59
Ca9m	0.87	0.16
Cavm	0.87	0.63

4.8 Estimación de 10 características fenotípicas de plantas de amaranto desarrolladas en campo

En el cuadro 31 se aprecian 10 características fenotípicas que fueron evaluadas a los seis fenotipos de amaranto.

Cuadro 31. Determinación de 10 características fenotípicas de plantas de amaranto desarrolladas en campo. El peso corresponde a materia seca. Los datos representan el promedio de 3 repeticiones: Línea 1 (L1), Nepal (N), Tulyehualco (T) y Criolla Mixteca (CM) a excepción de Mercado (M) y Criolla Tulyehualco (CT) que fueron 2 repeticiones. *Plántulas de 30 días cultivadas en invernadero, fueron transplantadas al campo el 7 de julio de 2007.

Fenotipo	Días a la maduración de la semilla*	Longitud de raíz principal (cm)	Longitud de tallo principal (cm)	No. de ramificaciones	No. de hojas	No. de panojas	Color de panoja	Peso de raíz (g)	Peso de tallo (g)	Relación raíz/tallo
L1	114 a [¶]	29.0 ab	154.3 a	17.7 a	316.7 ab	366.7 a	Rojo	27.8 a	210.3 a	0.132
M	49 b	17.5 b	26.5 b	6.5 b	124.5 b	6.5 c	Verde	1.12 c	5.34 c	0.209
N	97 ab	40.0 a	84.7 ab	12.3 ab	215.0 ab	46.3 bc	Rojo	8.9 bc	136.8 b	0.065
T	114 a	26.0 ab	122.7 a	18.7 a	343.3 ab	272.0 ab	Verde	21.0 ab	205.2 a	0.102
CT	114 a	22.5 b	147.5 a	19.5 a	476.5 a	382.0 a	Rojo	26.7 abc	90.13 c	0.296
CM	114 a	29.3 ab	152.7 a	19.0 a	450.0 a	186.7 abc	Rojo	18.8 ab	227.2 a	0.082

[¶]Valores de la media con letra distinta son estadísticamente diferentes (Tukey; 0.05).

1. Días a la maduración de la semilla

Las plantas de los fenotipos Línea 1, Tulyehualco, Criolla Tulyehualco y Criolla Mixteca fueron los más tardíos en la maduración de la semilla (114 días), contrastando con el fenotipo Mercado que fue el más precoz (49 días). La diferencia entre éstos fue de 65 días.

2. Longitud de raíz

Las plantas de la variedad Nepal tuvieron la mayor longitud de raíz (40 cm), mientras que la menor longitud en promedio se observó en las plantas de la variedad Mercado (17.5 cm). La diferencia entre éstas fue de 22.5 cm.

3. Longitud de tallo

Las plantas de la variedad Línea 1 presentaron la mayor longitud de tallo (154.3 cm), mientras que en las plantas de la variedad Mercado se observó la menor longitud en promedio (26.5 cm). La diferencia entre éstas fue de 127.8 cm.

4. Número de ramificaciones

Las plantas de la variedad Criolla Tulyehualco presentaron el mayor número de ramificaciones en promedio (19.5), a diferencia de las plantas de la variedad Mercado que presentaron 6.5 ramificaciones en promedio. La diferencia entre éstas fue de 13 ramificaciones.

5. Número de hojas

Las plantas de la variedad Criolla Tulyehualco presentaron el mayor número de hojas en promedio (476.5), mientras que las plantas de la variedad Mercado tuvieron el menor número de hojas (124.5 hojas). La diferencia entre éstas fue de 352 hojas.

6. Número de panojas

Las plantas de la variedad Criolla Tulyehualco tuvieron el mayor número de panojas (382), a diferencia de las plantas de la variedad Mercado que tuvieron el menor número de panojas (6.5). La diferencia entre éstas fue de 375.5 panojas.

7. Color de panojas

Las panojas de las plantas de las variedades Mercado y Tulyehualco presentaron coloración verde, mientras que las panojas de las plantas de los fenotipos Línea 1, Nepal, Criolla Tulyehualco y Criolla Mixteca tuvieron coloración roja.

8. Peso de tallo

Las plantas de la variedad Criolla Mixteca obtuvieron el mayor peso de tallo (227.2 g), en cambio las plantas de la variedad Mercado presentó el menor peso (5.34 g). La diferencia entre los pesos fue de 221.86 g.

9. Peso de raíz

Las plantas de la variedad Línea 1 presentaron el mayor peso de raíz (27.8 g), en cambio las plantas de la variedad Mercado obtuvieron el menor peso (1.12 g). La diferencia entre los pesos fue de 26.68 g.

10. Relación raíz/tallo

El fenotipo Criolla Tulyehualco tiene el valor más alto de la relación raíz/tallo (0.296), en cambio el menor valor correspondió al fenotipo Nepal (0.065). La diferencia fue de 0.231.

A continuación se presentan imágenes de cada uno de los seis fenotipos de amaranto en campo. Para cada fenotipo se presenta en primer lugar, tres plantas enteras en su etapa de madurez fisiológica y un acercamiento de las panojas. Las mismas tres plantas se presentan pero después de haber sido separado el tallo de la raíz.

4.9.1 Fenotipo Línea 1



Línea 1 (12/10/07)



Línea 1 (12/10/07)



Línea 2 (12/10/07)



Línea 2 (12/10/07)



Línea 3 (12/10/07)



Línea 3 (12/10/07)

Figura 104. Aspecto de las plantas de amaranto Línea 1 en campo obtenidas a los 114 días.



Línea 1 (20/10/07)



Línea 1 (20/10/07)



Línea 2 (20/10/07)



Línea 2 (20/10/07)



Línea 3 (20/10/07)



Línea 3 (20/10/07)

Figura 105. Aspecto de las raíces y tallos de los fenotipos de amaranto Línea 1 obtenidas a los 114 días.

4.9.2 Fenotipo Mercado



Mercado 1 (25/08/07)



Mercado 1 (25/08/07)



Mercado 2 (25/08/07)



Mercado 2 (25/08/07)



Mercado 1 (25/08/07)



Mercado 2 (25/08/07)

Figura 106. Aspecto de las plantas de amaranto Mercado en campo obtenidas a los 49 días.



Mercado (27/08/07)



Mercado 1 (27/08/07)



Mercado 2 (27/08/07)

Figura 107. Aspecto de las raíces y tallos de los fenotipos de amaranto Mercado obtenidas a los 49 días.

4.9.3 Fenotipo Nepal



Nepal 1 (12/10/07)



Nepal 1 (12/10/07)



Nepal 2 (12/10/07)



Nepal 2 (12/10/07)



Nepal 3 (12/10/07)

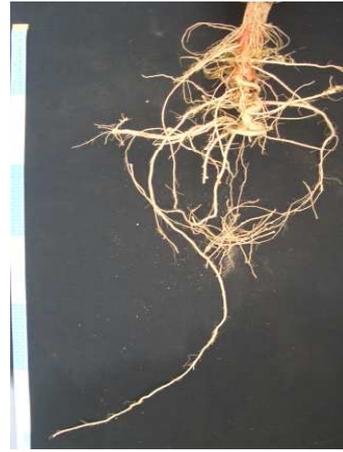


Nepal 3 (12/10/07)

Figura 108. Aspecto de las plantas de amaranto Nepal en campo obtenidas a los 97 días.



Nepal 1 (12/10/07)



Nepal 1 (12/10/07)



Nepal 2 (12/10/07)



Nepal 2 (12/10/07)



Nepal 3 (12/10/07)



Nepal (12/10/07)

Figura 109. Aspecto de las raíces y tallos de los fenotipos de amaranto Nepal obtenidas a los 97 días.

4.9.4 Fenotipo Tulyehualco



Tulyehualco 1 (12/10/07)



Tulyehualco 1 (12/10/07)



Tulyehualco 2 (12/10/07)



Tulyehualco 2 (12/10/07)



Tulyehualco 3 (12/10/07)



Tulyehualco 3 (12/10/07)

Figura 110. Aspecto de las plantas de amaranto Tulyehualco en campo obtenidas a los 114 días.



Tulyehualco 1 (20/10/07)



Tulyehualco 1 (20/10/07)



Tulyehualco 2 (20/10/07)



Tulyehualco 2 (20/10/07)



Tulyehualco 3 (20/10/07)



Tulyehualco 3 (20/10/07)

Figura 111. Aspecto de las raíces y tallos de los fenotipos de amaranto Tulyehualco obtenidas a los 114 días.

4.9.5 Fenotipo Criolla Tulyehualco



C. Tulyehualco 1
(12/10/07)



C. Tulyehualco 1
(12/10/07)



C. Tulyehualco 2
(12/10/07)



C. Tulyehualco 2
(12/10/07)



C. Tulyehualco 3
(12/10/07)



C. Tulyehualco 3
(12/10/07)

Figura 112. Aspecto de las plantas de amaranto Criolla Tulyehualco en campo obtenidas a los 114 días.

C. Tulyehualco 1 (20/10/07)



C. Tulyehualco 1 (20/10/07)



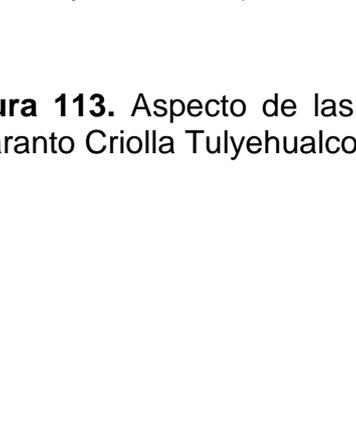
C. Tulyehualco 2 (20/10/07)



C. Tulyehualco 2 (20/10/07)



C. Tulyehualco 3 (20/10/07)



C. Tulyehualco 3 (20/10/07)

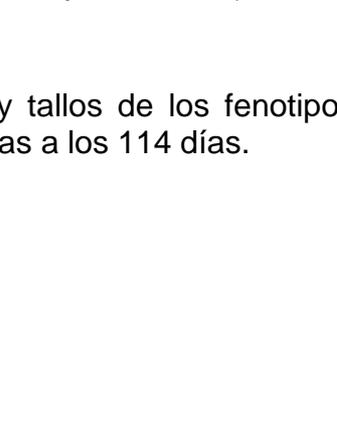


Figura 113. Aspecto de las raíces y tallos de los fenotipos de amaranto Criolla Tulyehualco obtenidas a los 114 días.

4.9.6 Fenotipo Criolla Mixteca



C. Mixteca 1 (12/10/07)



C. Mixteca 1 (12/10/07)



C. Mixteca 2 (12/10/07)



C. Mixteca 2 (12/10/07)



C. Mixteca 3 (12/10/07)



C. Mixteca 3 (12/10/07)

Figura 114. Aspecto de las plantas de amaranto Criolla Mixteca en campo obtenidas a los 114 días.



Criolla Mixteca 1 (20/10/07)



Criolla Mixteca 1 (20/10/07)



Criolla Mixteca 2 (20/10/07)



Criolla Mixteca 2 (20/10/07)



Criolla Mixteca 3 (20/10/07)



Criolla Mixteca 3 (20/10/07)

Figura 115. Aspecto de las raíces y tallos de los fenotipos de amaranto Criolla Mixteca obtenidas a los 114 días.

V. DISCUSIÓN

El objetivo de esta investigación ha sido determinar la capacidad de cada uno de los criterios de evaluación utilizados (físicos y fisiológicos) para diferenciar a cada uno de los fenotipos de amaranto en estudio. En este análisis siempre se ha considerado un análisis factorial con la prueba de Tukey para comparar las combinaciones de tratamientos, con nivel de significancia ($\alpha=0.05$), para que dicha caracterización sea de amplia confiabilidad.

5.1 Análisis de las características físicas de la semilla

5.1.1 Peso de 100 semillas

Este criterio permitió diferenciar a Criolla Tulyehualco así como a Criolla Mixteca que resultaron diferentes entre sí y a 2 grupos de fenotipos formado el primero por Tulyehualco y Mercado seguido por Línea 1 y Nepal. Los integrantes de cada grupo no se pueden diferenciar entre sí pero si el grupo de los demás. El peso de 100 semillas varió dentro de un rango de 93 y 67%. Criolla Tulyehualco y Criolla Mixteca se diferenciaron entre sí y del resto de los fenotipos mientras que los grupos formados por Tulyehualco y Mercado no se diferenciaron entre sí pero si estos del resto y lo mismo ocurre para Línea 1 y Nepal.

Una de las ventajas de las semillas de mayor peso como son las semillas de los fenotipos Tulyehualco y Mercado es la mayor cantidad de reservas proporcionadas para el crecimiento inicial y establecimiento de plántulas como se ha observado en especies de otras familias de plantas. Price (2006), señala que una semilla de amaranto tiene un diámetro entre 1 y 1.5 mm. 1000 semillas pesan menos de 1 gramo. En contraste, 1000 semillas de trigo pesan de 35 a 45 gramos. Las semillas de amaranto, aunque apenas más grandes que una semilla de mostaza (0.9-1.7 mm de diámetro), se producen en cantidades masivas.

5.1.2 Color y aspecto de la semilla

Aplicando estos criterios se pudo diferenciar de manera clara y precisa al fenotipo Criolla Mixteca por su color negro y aspecto brillante de la semilla, de los otros cinco fenotipos que formaron un grupo en común. Suárez (1981) indica que el color negro de las semillas de amaranto se deben a depósitos de taninos favoreciendo mayor engrosamiento de ésta.

Las plantas de semillas blancas, por su parte, provienen de especies que han sido desarrolladas y domesticadas como fuente de granos ricos en proteínas y carbohidratos que puedan aportar, por sí mismos, elementos esenciales para la dieta. Mapes (1990) indica que las semillas de amaranto de color negro provienen de plantas que son más apreciadas como especies ornamentales, como fuentes de obtención de colorantes y como hierbas que se comen a manera de verdura. Suárez *et al.* (1991) y Stallknecht (1993) mencionan que las semillas de *A. hypochondriacus* tienen una gama de diversos colores: crema, blanco, dorado, rosa, café o negro; sin embargo, las semillas de color claro son las que comúnmente se utilizan para la industrialización de este cultivo.

MacClung *et al.* (1997) mencionan que semillas de la raza Mixteca poseen el mayor grosor de testa. El color de la semilla de amaranto a menudo es un indicador de cruza externa (Price, 2006).

5.1.3 Imbibición

Este criterio permitió identificar a cada uno de los fenotipos indicados: Criolla Tulyehualco, Nepal, Tulyehualco y Criolla Mixteca, mientras que Línea 1 y Mercado formaron un grupo porque entre ellos no se pudieron diferenciar pero este grupo si se diferencia del resto. La mayor capacidad de absorción de agua la registro la semilla Criolla Tulyehualco (1.54 g) mientras que la menor fue la semilla Criolla Mixteca (1.13 g).

Mediante el proceso de imbibición las semillas Línea 1, Mercado, Nepal, Tulyehualco, Criolla Tulyehualco y Criolla Mixteca siguieron las tres fases de imbibición que presenta la mayoría de las semillas de las plantas. Rodríguez-Sosa *et al.* (1984) midieron los tiempos de hidratación de 22 selecciones de frijol; estos autores encontraron que los rojos arriñonados duplicaron su peso en 7 h; seguidos por los rayados con 10 h, y que las selecciones restantes requirieron de 12 a 18 h.

Desphande (1985) estudió el papel de la microestructura en este proceso y encontró que la velocidad inicial de absorción de agua durante el remojo es característica de cada variedad; además, que la testa juega un papel importante al respecto, hasta que se supera su resistencia inicial a la absorción de agua. Taylor (1988) evaluó la capacidad de imbibición de semillas semiduras de frijol, y señaló que se embebieron fácilmente cuando su contenido de humedad inicial fue mayor o igual al 10%, mientras que las testas de las semillas se tornaron impermeables con niveles de humedad bajos. León *et al.* (1990) mencionan que en frijol la capacidad de imbibición de las semillas tiene repercusiones en el tiempo de cocción, además la uniformidad en la tasa de cocción en un grupo de cultivares de frijol de Guatemala estuvo relacionada con la uniformidad en la proporción de testa en sus semillas y con su capacidad de absorción de agua; además, la testa contribuyó con 55% del tiempo de cocción.

En semillas de ajonjolí (*Sesamum indicum* L.), el resultado del incremento en peso que se obtuvo al imbibir las semillas en agua, fue de 28% (Páez, 1991), el cual fue menor en comparación con el porcentaje de semillas de amaranto, por lo que el fenotipo Criolla Mixteca sería la semilla que toleraría condiciones de baja absorción de agua en el momento de la germinación, en cambio Criolla Tulyehualco requeriría mayor cantidad de agua para germinar. Razz (1996) determinó en semillas de *Humboldtiella ferruginea* y *Leucaena leucocephala* que los mejores resultados fueron obtenidos cuando éstas se trataron durante 10 minutos con H₂SO₄ al 20% e imbibición con agua caliente durante 30 minutos, con 61 y 54.48%, respectivamente. Peña *et al.*, 1999 indica que el color de la cubierta seminal se asocia a las diferencias observadas en la velocidad de imbibición. También señala que la semilla puede presentar diferentes barreras al agua y todas están localizadas en la testa. Una de estas barreras es de tipo químico e incluye

substancias como la cera, cutina, suberina, lignina, calosa, quinonas y taninos.

Las ceras están relacionadas con la cutina o la suberina y se han considerado como las sustancias responsables de la impermeabilidad en las semillas (Werker, 1980). Esto indica la importancia de la testa de la semilla en este proceso. En teocintle y maíz, para caracterizar comparativamente las características fisiológicas de las semillas entre estas especies, consideraron a la imbibición para resaltar la expresión de las diferencias en germinación y vigor (Bayardo, 2002). Chávez (2002) indica que la liberación de electrolitos durante la imbibición de semillas de frijol incrementó la conductividad del medio ligeramente (< 0.5 mSiems/cm por g de semilla).

Es importante señalar que la uniformidad y la rapidez de la imbibición dependen de la morfología y permeabilidad de las cubiertas de las semillas. Como las semillas ya tuvieron entrada inicial de agua por el micrópilo, las semillas se hincharon, por lo que las cubiertas se rajaron y se hacen más permeables. Otros autores reportan que las semillas de diversas plantas se han sometido a procesos alternativos de imbibición y desecación, una o varias veces, encontrándose ausencias de daños a la germinación subsiguiente e, incluso, una germinación más rápida.

La imbibición depende en principio de factores propios de la semilla, como la humedad, composición química (proteínas), organización y proporción de sus estructuras, entre otros; sin embargo, algunos factores externos pueden alterar la imbibición, como la disponibilidad de agua (humedad relativa), tipo de sustrato en el que se encuentre, la temperatura y otros. Los factores que afectan la velocidad de imbibición son la permeabilidad de las estructuras (diferentes tejidos) es diversa, algunos autores mencionan que está en función del grado de impermeabilidad de la cubierta seminal, y de la composición química y espesor de los tejidos de almacenamiento.

5.2 Germinación

Para este análisis es necesario indicar que toda la semilla fue colectada en el año 2005 y que pertenecieron a la misma localidad: Montecillo, Edo. de México.

a) Germinación en presencia de agua

Este criterio permitió diferenciar a 2 grupos de fenotipos formado el primero por Línea 1, Tulyehualco, Criolla Mixteca y Criolla Tulyehualco y el segundo por Mercado y Nepal. Los integrantes de cada grupo no se pueden diferenciar entre sí pero si el grupo de los demás. El porcentaje de germinación total vario dentro de un rango de 97 y 84%. La calidad de las semillas que se utilizan para siembra es fundamental para conseguir un buen establecimiento de plantas y es el primer paso para lograr un cultivo óptimo, con el fin de sembrar una adecuada densidad (kg ha^{-1}), y lograr una buena implantación y una rápida emergencia de los cultivos. La germinación de la semilla es intrínseca de la calidad de la misma. La calidad de la semilla es un aspecto muy importante ya que en gran medida de ella depende el rendimiento (De León, 1989). Un alto poder germinativo conlleva a una alta

calidad fisiológica. La extensión de los periodos de germinación tiene un significado importante en la sobrevivencia, al ser un mecanismo de protección de las especies, evitando su extinción local como resultado de las condiciones adversas durante la germinación en campo. Las distintas semillas y su diferente capacidad de imbibición y germinación son estrategias de supervivencia de la planta en su medio natural (Harper, 1977).

Ramírez (2003) reporta el porcentaje de 20 variedades de amaranto a una temperatura de 25°C germinadas en agua destilada, los valores fueron: para Línea 1: 90%, Mercado: 86%, Nepal: 96%, Tulyehualco: 74% y Criolla Mixteca: 88%. En el caso de la germinación de semillas de *A. hypochondriacus* variedad Revancha en tres épocas de cosecha (30, 60 y 90 días) los valores obtenidos fueron de 71.20, 65.45 y 60.06%, respectivamente, como se puede observar el por ciento de germinación mostró una tendencia a disminuir conforme aumentó el tiempo de cosecha, siendo diferente significativamente. Márquez (1987) reporta un valor mayor de germinación, sin embargo, Paredes (1989) presenta valores similares al reportado. Dado que esta prueba se hizo en el laboratorio, cabe aclarar que los resultados aquí obtenidos pueden o no corresponder con los reportados para condiciones de campo, debido a los factores ambientales que se puedan presentar durante la siembra, pero es un indicador adecuado para considerar el potencial de germinación que tiene la semilla, a fin de dar mayores posibilidades de éxito al cultivo.

Bassin (1998) proporcionan varias consideraciones que se deben tomar en cuenta para realizar estudios en laboratorio sobre la ecología de la germinación, algunas de ellas son las siguientes: 1) coleccionar las semillas cuando están completamente maduras, para ello, una buena señal es cuando inicia la dispersión natural de las mismas, 2) la presencia de hongos puede evitarse al utilizar sólo semillas maduras, ya que las semillas inmaduras son cubiertas con rapidez por hongos como lo fue en el caso único de la semilla Tulyehualco que al tercer día se cubría de hongos.

Además es importante mencionar que la magnitud de la respuesta de la germinación esta determinada por el potencial genético, el efecto del medio ambiente y la interacción entre ambos. Por último, Potts (1987), menciona que un análisis cuantitativo de calidad de semillas esta determinado por las características biológicas de las mismas, ya que éstas son portadoras de caracteres genéticos, que determinan las reacciones genético-fisiológicas. A este respecto Bekendam (1975), menciona que las condiciones ambientales bajo las cuales se cultiva una planta productora de semilla, influyen en las propiedades fisiológicas de las semillas.

b) Germinación en presencia de herbicidas

1.- Doble Super

Solución 1 de Doble Super (1 µL/mL)

Este criterio permitió diferenciar a Criolla Tulyehualco, Tulyehualco, Nepal así como a Mercado que resultaron diferentes entre sí y a un grupo de fenotipos formado por Línea 1 y Criolla Mixteca. Los integrantes de cada

grupo no se pueden diferenciar entre sí, pero si el grupo de los demás. El porcentaje de germinación total varió dentro de un rango de 67 y 14%. Criolla Tulyehualco, Tulyehualco, Nepal y Mercado se diferenciaron entre sí y del resto de los fenotipos mientras que el grupo formado por Línea 1 y Criolla Mixteca no se diferenciaron entre sí, pero si estos del resto.

Solución 2 de Doble Super (0.6 $\mu\text{L}/\text{mL}$)

Este criterio permitió diferenciar a Línea 1, Tulyehualco, Nepal así como a Mercado que resultaron diferentes entre sí y a un grupo de fenotipos formado por Criolla Tulyehualco y Criolla Mixteca. Los integrantes de cada grupo no se pueden diferenciar entre sí, pero si el grupo de los demás. El porcentaje de germinación total varió dentro de un rango de 73 y 42%. Línea 1, Tulyehualco, Nepal y Mercado se diferenciaron entre sí y del resto de los fenotipos mientras que el grupo formado por Criolla Tulyehualco y Criolla Mixteca no se diferenciaron entre sí, pero si estos del resto.

Solución 3 de Doble Super (0.006 $\mu\text{L}/\text{mL}$)

Este criterio permitió diferenciar a un grupo de fenotipos formado por Línea 1, Tulyehualco, Criolla Mixteca, Mercado, Criolla Tulyehualco y Nepal. Los integrantes de cada grupo no se pueden diferenciar entre sí. El porcentaje de germinación varió dentro de un rango de 100 y 84%. Línea 1, Tulyehualco, Criolla Mixteca, Mercado, Criolla Tulyehualco y Nepal se diferenciaron entre sí.

2.- Hierbamina Comercial

Este criterio permitió diferenciar a Nepal y a un grupo de fenotipos formado por Línea 1, Mercado, Tulyehualco, Criolla Tulyehualco y Criolla Mixteca. Los integrantes del grupo no se pueden diferenciar entre sí. El porcentaje de germinación total varió dentro de un rango de 96 y 81%. Nepal se diferencio del resto de los fenotipos mientras que el grupo formado por Línea 1, Mercado, Tulyehualco, Criolla Tulyehualco y Criolla Mixteca no se diferenciaron entre sí, pero si estos de Nepal.

3.- Ácido 2,4-diclorofenoxiacético

Este criterio permitió diferenciar a Criolla Tulyehualco así como a Nepal que resultaron diferentes entre sí y a un grupo de fenotipos formado por Línea 1, Mercado, Tulyehualco y Criolla Mixteca. Los integrantes de cada grupo no se pueden diferenciar entre sí, pero si el grupo de los demás. El porcentaje de germinación total varió dentro de un rango de 97 y 77%. Criolla Tulyehualco y Nepal se diferenciaron entre sí y del resto de los fenotipos mientras que el grupo formado por Línea 1, Mercado, Tulyehualco y Criolla Mixteca no se diferenciaron entre sí, pero si estos del resto.

Es importante mencionar que la distancia entre la susceptibilidad y la resistencia a un estrés esta determinada por la capacidad de sobrevivencia de la especie y por los mecanismos fisiológicos que la condicionan; para poder controlar los efectos nocivos del estrés sobre la productividad agrícola, es necesario en primer lugar identificar la naturaleza del factor estresante a través de los efectos sobre la planta y determinar la capacidad

de respuesta mediante la comprensión del mecanismo que permite la sobrevivencia.

Los mecanismos de resistencia al estrés se pueden agrupar en dos grandes categorías: 1) mecanismos de escape y 2) mecanismos de tolerancia. El primero evita que la planta, o alguno de sus órganos, se exponga a un determinado estrés y el segundo permite a la planta soportar el estrés, aún estando presente (Ascencio, 2005). Algunos de estos mecanismos están integrados a la constitución génica de la planta, es decir forman parte de su genotipo por lo que constituyen adaptaciones evolutivas que se produjeron para mejorar el acondicionamiento de una población de organismos al medio ambiente. Por lo tanto se encuentran presentes aun en ausencia del factor estresante, y se activan en forma natural ante la exposición al factor estresante.

En otros casos, cuando algunos individuos se exponen a algún estrés, se produce una alteración en los procesos fisiológicos y en consecuencia una respuesta de aclimatación al ambiente desfavorable que podría conducir a la generación de mecanismos de resistencia.

El grado de severidad y duración del periodo de estrés, conlleva a un ajuste o control en el tiempo de la secuencia de eventos que traducen la respuesta bioquímica en respuestas de crecimiento, morfológicas y fisiológicas (Ascencio, 2005).

El uso de herbicidas para el control de malezas en la agricultura está ampliamente difundido. Particularmente importante es la tolerancia natural de ciertas plantas a herbicidas que afectan malezas relacionadas. Esta tolerancia está basada principalmente en una habilidad diferencial de la especie para detoxificar metabólicamente el herbicida (Cole, 1994).

La resistencia al herbicida puede ser dada por una enzima capaz de detoxificar el mismo antes de que este actúe. Un grupo de estas enzimas son las citocromo P-450 monooxigenasas (P450s) (Forthoffer, 2001). La forma en que las P450 inhiben la acción de los herbicidas es insertando un átomo de oxígeno en moléculas hidrofóbicas (en este caso herbicidas) transformándolos en moléculas hidrosolubles y por lo tanto de más fácil extracción (Werck, 2000). Rodríguez (2005), evaluó el efecto fitotóxico del herbicida Pendimethalin (dinitrobenzenamina) sobre semillas y plántulas de sorgo y encontró reducciones en el porcentaje de germinación en comparación con el testigo (85%) a partir de la concentración de 1 mg (73.2%) hasta la inhibición total de la germinación (0%) con 10 g. Las concentraciones menores de 1 mg no originaron ningún daño en la germinación.

El diquat y el paraquat son herbicidas que controlan las malas hierbas frecuentes en los cultivos, diquat es selectivo y autorizado para los cultivos de huerta protegidos, frutales y vid. El paraquat es selectivo y autorizado para árboles, cítricos, cultivos de huerta protegidos, frutales, olivo, ornamentales leñosas y vid. Una de las precauciones han sido no utilizar

estos fitofármacos con máquinas de ultra bajo volumen. Es conocido el efecto de los principios activos de diquat y paraquat en el control de malas hierbas frecuentes en los cultivos del género *Amaranthus*, especies: *albus* L., *ascendes* Lois, *blitoides* Watson, *caudatus* L., *chlorostachys* Willd., *deflexus* L., *erythrostachys* Moq., *muricatus* (Moq.) Gillies, *paniculatus* L., *patulus* Fiori, *retroflexus* L., *silvestre* (Desf.) Vill.

El ácido 2,4-D es una auxina tóxica a concentraciones elevadas, es un fuerte activador de la actividad meristemática; su empleo es amplio, muchas veces ligado a citocininas, en trabajos de cultivos celulares, cultivos de tejidos y embriogénesis somática. Es un herbicida usado para controlar plantas de hoja ancha y como regulador del crecimiento de plantas. El efecto de las auxinas está estrechamente ligado al alargamiento celular, que se explica por sus efectos sobre la celulosa sintetasa, el aumento de la plasticidad parietal y el aumento de la absorción de agua. Por esta razón una práctica usual es evaluar el efecto auxínico mediante la evaluación del incremento del peso fresco de los tejidos.

Las auxinas también tienen un efecto marcado sobre la división celular (citocinesis). Otros efectos auxínicos son: inducen la rizogénesis, pero a su vez indirectamente “inhiben” el crecimiento de las raíces; intervienen en la dominancia apical de las yemas, en el desarrollo del fruto (transformación de las paredes del ovario para formar las paredes del fruto). También inducen la floración de la piña y son responsables de los tropismos de las plantas.

Por otra parte, se ha descrito que las auxinas tienen un efecto marcado sobre la actividad enzimática, por ejemplo: incrementan los niveles de la enzima que condensa el citrato, inhibe la decarboxilación del piruvato y del α -cetoglutarato; tienen un efecto indirecto sobre la ARN polimerasa; inhibe la enzima indol etanol oxidasa que ejerce un control de la síntesis de AIA; incrementa las invertasas en la caña de azúcar. Los compuestos clorofenólicos como el 2,4-D tienen una alta fijación a las proteínas (<http://fbio.uh.cu>).

Algunos autores mencionan que los herbicidas fenoxiderivados en concentraciones mínimas, se comportan como hormonas de crecimiento (auxinas), y en dosificaciones mayores como herbicidas de tipo selectivo. La selectividad de estos productos se caracterizan por las siguientes particularidades: a) por ejercerse sobre las gramíneas, ya que las dicotiledóneas son erradicadas en mayor o menor escala y b) por ser de carácter netamente bioquímico. Otros autores reportan que las auxinas sintéticas tales como el 2,4-D, aplicadas en cantidades bajas a ciertas especies de plantas, producen efectos drásticos en el crecimiento y éstas no pueden sobrevivir; otras especies, sin embargo, incluyendo cereales y pastos, son capaces de resistir bajas dosis y suelen no ser afectadas.

c) Germinación en presencia de ácido salicílico y compuestos análogos

Ácido acetilsalicílico

Este criterio permitió diferenciar a 2 grupos de fenotipos formado el primero por Mercado y Nepal y el segundo por Línea 1, Tulyehualco, Criolla

Tulyehualco y Criolla Mixteca. Los integrantes de cada grupo no se pueden diferenciar entre sí, pero sí entre ambos grupos. El porcentaje de germinación varió dentro de un rango de 99 y 81%.

Ácido salicílico

Este criterio permitió diferenciar a Criolla Tulyehualco y a 2 grupos de fenotipos formado el primero por Línea 1, Tulyehualco y Criolla Mixteca y el segundo por Mercado y Nepal. Los integrantes de cada grupo no se pueden diferenciar entre sí, pero sí de Criolla Tulyehualco. El porcentaje de germinación total varió dentro de un rango de 99 y 79%. Los grupos formados por Línea 1, Tulyehualco y Criolla Mixteca no se diferenciaron entre sí, pero sí estos del resto y lo mismo ocurre para Mercado y Nepal.

Ácido sulfosalicílico

Este criterio permitió diferenciar a Mercado, Criolla Tulyehualco así como a Nepal que resultaron diferentes entre sí, y a un grupo de fenotipos formado por Línea 1, Tulyehualco y Criolla Mixteca. Los integrantes de cada grupo no se pueden diferenciar entre sí, pero sí de los demás. El porcentaje de germinación total varió dentro de un rango de 98 y 81%. Mercado, Nepal y Criolla Tulyehualco se diferenciaron entre sí y del resto de los fenotipos mientras que el grupo formado por Línea 1, Tulyehualco y Criolla Mixteca no se diferenciaron entre sí, pero sí estos del resto.

El AS y AAS, según ciertos autores retrasan la senescencia en flores, inducen la termogénesis en flores y están involucrados en la respuesta de resistencia a patógenos (zonas necróticas rodeando el punto de infección). Larque-Saavedra (1979) indica que en plantas de *Phaseolus vulgaris* y *Commelina communis* la aplicación exógena de AS (1 mM) causó disminución en la transpiración. También se ha encontrado que altas concentraciones de AAS son capaces de inhibir el crecimiento de raíz y coleóptilo de trigo (López, 1987), arroz, avena (Kimura *et al.* 1976) y lenteja (Chou y Patrick, 1976).

Pancheva *et al.* (1996) demostraron que la exposición de hojas de *Hordeum vulgare* a tres diferentes concentraciones de AS causaban el incremento de la resistencia de los estomas a la transpiración y como consecuencia presentaban tanto disminución del crecimiento de la raíz principal y de las plántulas.

El AS induce floración y proporciona resistencia a patógenos en las plantas y a la producción de proteínas relacionadas a la patogénesis. Benavides *et al.* 2003, pre-trataron semillas de chile con soluciones de 10^{-5} de AS y 10^{-3} M de ASS, y las plantas generadas no mostraron efecto significativo de la acumulación de biomasa. Carrillo 2001, encontró en vitroplántulas de *Solanum tuberosum* L. de la variedad "Alpha", la presencia de AAS y AS, compuestos que causaron que las plántulas tuvieran menor grado de desarrollo afectando al sistema radical y las hojas se tornaban cloróticas. Contrariamente, las vitroplántulas expuestas al ASS exhibían hojas con pigmentación verde más intensa y mayor desarrollo del sistema radical. El

desarrollo del sistema radical fue mayor en las plántulas desarrolladas con ASS.

García *et al.* (1981) observaron que el AS y el AAS a concentraciones de 10^{-2} M, aumentaron la madurez fisiológica de *Lycopersicon esculentum* Mills. Además indicaron que estos compuestos favorecieron la producción de etileno. En cuanto al rendimiento, el AAS, se ha encontrado que en plantas de frijol var. Cacahuatate-72 en condiciones de sequía sometidas a concentraciones de 10^{-4} M de AAS mostraron un incremento en el peso de la semilla, aumento en el número de vainas y reducción de la abscisión de las mismas (López, 1987).

Rendón (1983) utilizando la misma variedad de frijol tratada con AAS 10^{-5} M, observó 16.5% de incremento en el rendimiento. Raskin *et al.* (1989) reportaron que en plantas termogénicas como *Sauromatum guttatum* tratadas con AS y AAS incrementaron la temperatura interna de la planta, además permitieron la liberación de aminas e indoles, los cuales atrajeron a insectos polinizadores. En *Solanum cardiophyllum* y *S. tuberosum* bajo condiciones *in vitro* en presencia de AAS 10^{-6} M y 10^{-4} M se produjo un mayor número de minitubérculos (Jiménez, 1992). Al igual que Klessig y Malamy (1994), quienes encontraron que el AS estimula la germinación de semillas y producción de frutos, y nosotros demostramos que los efectos de estos compuestos impactan preferentemente la velocidad de germinación de la semilla de amaranto.

El tratamiento a la semilla con la solución de AS presentó la mejor respuesta a la germinación (87.10%), ésta acción benéfica del AS sobre la germinación se podrían explicar probablemente por su acción como agente quelante, ya que en *Lemna gibba* elimina los requerimientos de luz e incrementa la permeabilidad de la membrana al ion K^+ durante este proceso (Oota, 1977).

Por último, el AS 10^{-4} M redujo el peso seco del tallo y de la plántula, lo que coincide con lo reportado por Shettel y Balke (1983), quienes encontraron que el AS reduce la acumulación de peso seco en tallos de algunos cultivos y malezas, quizá por la interferencia con la membrana transportadora de iones en las raíces, inhibiendo la absorción de K^+ en raíces de avena (Glass y Dunlop, 1974), también Saxena y Rashid (1980) reportan que el AS inhibe el crecimiento de raíz y coleóptilo.

Rosim (2000) quienes al estudiar la acción del AS sobre la temperatura en la germinación de la semilla de *Raphanus sativus*, encontraron un incremento en el rango de temperatura para la germinación, además el AS promovió la sincronización de la germinación en esta especie, y la aplicación de AS aumentó la tolerancia a estrés por temperatura (calor) en *Sinapsis alba* (Dat *et al.* 1998).

d) Germinación en presencia de $CuSO_4$ y carencia de hierro

$CuSO_4$

Este criterio permitió diferenciar a Nepal y a un grupo de fenotipos formado por Línea 1, Mercado, Tulyehualco, Criolla Tulyehualco y Criolla Mixteca. El

porcentaje de germinación total varió dentro de un rango de 97 y 85%. Nepal se diferencio del resto de los fenotipos. El grupo formado por Línea 1, Mercado, Tulyehualco, Criolla Tulyehualco y Criolla Mixteca no se diferenciaron entre sí pero si de Nepal.

El aumento de la concentración de cobre en los suelos debido a distintas fuentes antropogénicas produce efectos de toxicidad en las especies vegetales sensibles. Sin embargo, se ha postulado que diversos factores edáficos podrían determinar la biodisponibilidad del cobre y, por lo tanto, la intensidad del efecto fitotóxico, tales como el contenido de materia orgánica y el pH del suelo, además del grado de solubilidad de la forma química en la cual el cobre es incorporado.

Ginocchio y Narváez (2002), expusieron plántulas de una especie sensible a concentraciones crecientes de cobre, incorporado como una sal muy soluble en agua (CuSO_4) o como una sal muy poco soluble en agua (CuO), a un sustrato sólido altamente tamponante, rico en materia orgánica y de pH neutro (compost comercial) y a una solución poco tamponante de 2 mmoles L^{-1} de nitrato de calcio, sin materia orgánica y moderadamente ácida para determinar la importancia de la capacidad tamponante del sustrato de crecimiento y de la forma química del cobre en el grado de fitotoxicidad. Se detectaron efectos significativos de toxicidad por cobre en las raíces de las plántulas cultivadas en el sustrato líquido, independientemente de la forma química y de la concentración adicionadas, expresados por una inhibición en el crecimiento de las raíces primarias y en el número de raíces secundarias formadas.

Los efectos de toxicidad fueron menos marcados en el vástago, pero el CuSO_4 inhibió significativamente la producción de hojas nuevas en las plantas crecidas en solución, independientemente de la concentración, mientras que el CuO sólo redujo significativamente la producción de hojas al ser agregado a alta concentración.

No se detectó efectos de toxicidad en las plantas crecidas en el sustrato sólido, independientemente de la sal de cobre y de la concentración adicionadas, debido a que su alto contenido de materia orgánica y pH neutro resultaron en una baja disponibilidad de iones cobre para ser absorbidos por las raíces de las plantas. En consecuencia, la respuesta de las plantas a la incorporación de cobre en el sustrato de crecimiento es multifactorial y no puede ser evaluada a partir de los niveles totales de cobre presentes.

Se ha demostrado que los efectos primarios de toxicidad por metales pesados se producen en las raíces, las que muestran una menor elongación después de ser expuestas a estos elementos (Lambers et al. 1998), por lo que es esperable que el crecimiento radical haya sido más afectado que el crecimiento del vástago en *N. sericeum*, para una misma carga metálica y tipo de sal de cobre agregada.

Lo cual sucedió con los seis fenotipos de amaranto utilizados en la presente investigación, por lo que la concentración de cobre utilizada disminuyó la

longitud de la raíces, pero no la longitud de los vástagos. Los síntomas de toxicidad descritos en la literatura para esta estructura vegetal tienen que ver con un menor crecimiento de la raíz principal por muerte del meristema apical de la raíz principal, estimulación de la formación de raíces secundarias y posterior inhibición del meristema apical de las raíces secundarias cuando la concentración de metal supera el límite de tolerancia (Cook et al. 1997). Sin embargo, el aumento del peso seco radical es menos afectado que la longitud radical, lo que origina raíces de aspecto achaparrado (Brune et al. 1994), tal como se observó en las raíces de las plántulas de *N. sericeum*.

Una vez sobrepasados los mecanismos de tolerancia al exceso de cobre acumulado en las raíces, la fisiología general de la planta sería afectada, produciéndose translocación excesiva de este elemento al vástago, donde afectaría negativamente la fotosíntesis y otras funciones celulares que resultan en síntomas visibles de toxicidad, tales como menor desarrollo del vástago, clorosis y enrojecimiento de las hojas (Ernst et al. 1992).

Síntomas de toxicidad a nivel del vástago sólo se cuantificaron en el número de hojas nuevas producidas al exponer las plántulas de *N. sericeum* a sulfato de cobre y a altas concentraciones de óxido de cobre, en solución líquida. Estas plántulas también mostraron síntomas visibles de intoxicación por cobre, con vástagos rojizos y cloróticos. Por otra parte, los síntomas de deficiencia de cobre que presentan las plantas pueden ser resumidos en: reducción del crecimiento de los brotes jóvenes, aspecto clorótico y marchito de las plantas, frutos de forma irregular y manchas pardas o rojizas en la superficie de los frutos (Rodríguez, 1982).

Solución sobrenadante de sideróforos

Ca7

Este criterio permitió diferenciar a Criolla Tulyehualco Mercado así como Nepal que resultaron diferentes entre sí y a un grupo de fenotipos formado por Línea 1, Tulyehualco y Criolla Mixteca. Los integrantes de cada grupo no se pueden diferenciar entre sí, pero si el grupo de los demás. El porcentaje de germinación varió dentro de un rango de 98 y 85%. Mercado, Nepal y Criolla Tulyehualco se diferenciaron entre sí y del resto de los fenotipos mientras que el grupo formado por Línea 1, Tulyehualco y Criolla Mixteca no se diferenciaron entre sí, pero si estos del resto.

Ca9m

Este criterio permitió diferenciar a Mercado y a un grupo de fenotipos formado por Línea 1, Nepal, Tulyehualco, Criolla Tulyehualco y Criolla Mixteca. Los integrantes de cada grupo no se pueden diferenciar entre sí, pero si el grupo de Mercado. El porcentaje de germinación varió dentro de un rango de 97 y 89%. Mercado se diferencio del resto de los fenotipos mientras que el grupo formado por Línea 1, Nepal, Tulyehualco, Criolla Tulyehualco y Criolla Mixteca no se diferenciaron entre sí, pero si estos de Mercado.

Cavm

Este criterio permitió diferenciar a 2 grupos de fenotipos formado el primero por Línea 1, Tulyehualco, Criolla Tulyehualco y Criolla Mixteca y el segundo por Mercado y Nepal. Los integrantes de cada grupo no se pueden diferenciar entre sí, pero si el grupo de los demás. El porcentaje de germinación total varió dentro de un rango de 99 y 85%. Los grupos formados por Línea 1, Tulyehualco, Criolla Tulyehualco y Criolla Mixteca no se diferenciaron entre sí, pero si estos del resto y lo mismo ocurre para Mercado y Nepal.

Los resultados obtenidos con los seis fenotipos de *Amaranthus hypochondriacus* L. indican que esta adaptados para crecer y desarrollarse satisfactoriamente en ambientes edáficos con mínimas concentraciones de hierro. Neilands (1981) menciona que aparte de la alta afinidad y del transporte del Fe, los sideróforos pueden actuar como factores importantes en la germinación y el crecimiento.

Se ha planteado que la aplicación de suspensión bacteriana de *P. fluorescens* no provoca efectos adversos en el proceso de germinación, lo cual fue confirmado cuando semillas de algodón fueron tratadas con esta cepa y sembradas en suelo no infestado (Howell, 1980). Sin embargo, se tienen evidencias de que la germinación puede ser aumentada significativamente cuando se aplica cultivo de *Pseudomonas* sobre semillas de maíz. Adicionalmente, se encontró una disminución en el porcentaje de germinación en otra prueba con semillas de maíz, cuando se aplica la suspensión bacteriana con goma arábiga junto con la suspensión para retener las células bacterianas a la cubierta de la semilla.

Lo anterior indica tres alternativas en los efectos posibles sobre la germinación como: a) no se producen alteraciones; b) aumenta el porcentaje de germinación y c) disminuye el porcentaje de semillas germinadas. Con respecto a las lecturas de absorbencia de las cepas bacterianas, resultados similares coincidieron con lo reportado por Chiquito 2002, quien determinó las absorbencias a 660 nm obtenidas después de 72 h de crecimiento de las cepas bacterianas utilizadas en semillas de chile y jitomate, para la cepa bacteriana ca7 encontró 0.8 (1×10^8 células bacterianas por mL de medio), ca9m 1.0 (1×10^{10}) y para la cepa cavm 1.0 (1×10^{10}).

5.2.1 Velocidad de germinación

a) Velocidad de germinación en presencia de agua

Aplicando este criterio se pudo diferenciar de manera clara y tajante al fenotipo Criolla Mixteca por su mayor velocidad de germinación, de los otros cinco fenotipos que formaron un grupo en común.

b) Velocidad de germinación en presencia de Herbicidas

Doblete Super

Solución 1 de Doblete Super (1 μ L/mL)

Este criterio permitió diferenciar a Línea 1 y Tulyehualco, que resultaron diferentes entre sí y a un grupo de fenotipos formado por Mercado, Nepal,

Criolla Tulyehualco y Criolla Mixteca. Los integrantes de cada grupo no se pueden diferenciar entre sí, pero si el grupo de los demás. La velocidad de germinación varió dentro de un rango de 31 y 14 h. Línea 1 y Tulyehualco se diferenciaron entre sí y del resto de los fenotipos mientras que el grupo formado por Mercado, Nepal, Criolla Tulyehualco y Criolla Mixteca no se diferenciaron entre sí, pero si estos del resto.

Solución 2 de Doble Super (0.6 $\mu\text{L}/\text{mL}$)

Este criterio permitió diferenciar a Línea 1 así como a Criolla Tulyehualco que resultaron diferentes entre sí y a un grupo de fenotipos formado por Mercado, Nepal, Tulyehualco y Criolla Mixteca. Los integrantes de cada grupo no se pueden diferenciar entre sí, pero si el grupo de los demás. La velocidad de germinación varió dentro de un rango de 33 y 14 h. Línea 1 y Criolla Tulyehualco se diferenciaron entre sí y del resto de los fenotipos mientras que el grupo formado por Mercado, Nepal, Tulyehualco y Criolla Mixteca no se diferenciaron entre sí, pero si estos del resto.

Solución 3 de Doble Super (0.006 $\mu\text{L}/\text{mL}$)

Este criterio permitió diferenciar a Criolla Mixteca, Tulyehualco así como a Nepal que resultaron diferentes entre sí y a un grupo de fenotipos formado por Línea 1, Mercado y Criolla Tulyehualco. Los integrantes de cada grupo no se pueden diferenciar entre sí, pero si el grupo de los demás. La velocidad de germinación varió dentro de un rango de 18 y 12 h. Criolla Mixteca, Tulyehualco y Nepal se diferenciaron entre sí y del resto de los fenotipos mientras que el grupo formado por Línea 1, Mercado y Criolla Tulyehualco no se diferenciaron entre sí, pero si estos del resto.

Hierbamina Comercial

Este criterio permitió diferenciar a Línea 1 y Criolla Tulyehualco que resultaron diferentes entre sí y a un grupo de fenotipos formado por Mercado, Nepal, Tulyehualco y Criolla Mixteca. Los integrantes de cada grupo no se pueden diferenciar entre sí, pero si el grupo de los demás. La velocidad de germinación varió dentro de un rango de 29 y 17 h. Línea 1 y Criolla Tulyehualco se diferenciaron del resto de los fenotipos mientras que el grupo formado por Mercado, Nepal, Tulyehualco y Criolla Mixteca no se diferenciaron entre sí, pero si estos del resto.

Ácido 2,4-diclorofenoxiacético

Este criterio permitió diferenciar a Línea 1 así como a Criolla Tulyehualco que resultaron diferentes entre sí y a un grupo de fenotipos formado por Mercado, Nepal, Tulyehualco y Criolla Tulyehualco. Los integrantes de cada grupo no se pueden diferenciar entre sí, pero si el grupo de los demás. La velocidad de germinación varió dentro de un rango de 31 y 17 h. Línea 1 y Criolla Tulyehualco se diferenciaron entre sí y del resto de los fenotipos mientras que el grupo formado por Mercado, Nepal, Tulyehualco y Criolla Tulyehualco no se diferenciaron entre sí, pero si estos del resto.

c) Velocidad de germinación en presencia de ácido salicílico y compuestos análogos

Ácido acetilsalicílico

Este criterio permitió diferenciar a Criolla Tulyehualco y a Línea 1 que resultaron diferentes entre sí y a un grupo de fenotipos formado por Mercado, Nepal, Tulyehualco y Criolla Mixteca. Los integrantes de cada grupo no se pueden diferenciar entre sí, pero si entre ambos grupos. La velocidad de germinación varió dentro de un rango de 23 y 13 h.

Ácido salicílico

Este criterio permitió diferenciar a Criolla Tulyehualco y a Línea 1, 2 grupos de fenotipos se formaron el primero por Tulyehualco y Criolla Mixteca y el segundo por Mercado y Nepal. Los integrantes de cada grupo no se pueden diferenciar entre sí, pero si de Criolla Tulyehualco y Línea 1. La velocidad de germinación varió dentro de un rango de 22 y 13 h. Los grupos formados por Tulyehualco y Criolla Mixteca no se diferenciaron entre sí, pero si estos del resto y lo mismo ocurre para Mercado y Nepal.

Ácido sulfosalicílico

Este criterio permitió diferenciar a Criolla Tulyehualco, Mercado así como a Línea 1 que resultaron diferentes entre sí y a un grupo de fenotipos formado por Criolla Mixteca, Tulyehualco y Nepal. Los integrantes de cada grupo no se pueden diferenciar entre sí, pero si el grupo de los demás. La velocidad de germinación varió dentro de un rango de 21 y 13 h. Criolla Tulyehualco, Mercado, y Línea 1 se diferenciaron entre sí y del resto de los fenotipos mientras que el grupo formado por Criolla Mixteca, Tulyehualco y Nepal no se diferenciaron entre sí, pero si estos del resto.

d) Velocidad de germinación en presencia de CuSO_4 y carencia de hierro CuSO_4

Este criterio permitió diferenciar a Criolla Mixteca y a un grupo de fenotipos formado por Nepal, Línea 1, Mercado, Tulyehualco y Criolla Tulyehualco. La velocidad de germinación varió dentro de un rango de 22 y 12 h. Criolla Mixteca se diferencio del resto de los fenotipos. El grupo formado por Nepal, Línea 1, Mercado, Tulyehualco y Criolla Tulyehualco no se diferenciaron entre sí, pero si de Criolla Mixteca.

Solución sobrenadante de sideróforos

Ca7

Este criterio permitió diferenciar a Criolla Mixteca y a un grupo de fenotipos formado por Nepal, Mercado, Tulyehualco, Línea 1 y Criolla Tulyehualco. La velocidad de germinación varió dentro de un rango de 22 y 12 h. Criolla Mixteca se diferencio del resto de los fenotipos. El grupo formado por Nepal, Mercado, Tulyehualco, Línea 1 y Criolla Tulyehualco no se diferenciaron entre sí, pero si de Criolla Mixteca.

Ca9m

Este criterio permitió diferenciar a Criolla Mixteca y a un grupo de fenotipos formado por Nepal, Tulyehualco, Mercado, Línea 1 y Criolla Tulyehualco. La velocidad de germinación varió dentro de un rango de 26 y 13 h. Criolla Mixteca se diferencio del resto de los fenotipos. El grupo formado por Nepal, Tulyehualco, Mercado, Línea 1, y Criolla Tulyehualco no se diferenciaron entre sí, pero si de Criolla Mixteca.

Cavm

Este criterio permitió diferenciar a Criolla Mixteca y a un grupo de fenotipos formado por Nepal, Mercado, Tulyehualco, Criolla Tulyehualco y Línea 1. La velocidad de germinación varió dentro de un rango de 24 y 12 h. Criolla Mixteca se diferencio del resto de los fenotipos. El grupo formado por Nepal, Mercado, Tulyehualco, Criolla Tulyehualco y Línea 1 no se diferenciaron entre sí, pero si de Criolla Mixteca.

5.3 Vigor de plántulas

Longitud de plántulas a las 72 h

Este criterio permitió diferenciar a Línea 1, Criolla Tulyehualco así como a Criolla Mixteca que resultaron diferentes entre sí y a un grupo de fenotipos formado por Mercado, Nepal y Tulyehualco. Los integrantes de cada grupo no se pueden diferenciar entre sí, pero si el grupo de los demás. La longitud de las plántulas varió dentro de un rango de 14.3 y 11 mm. Línea 1, Criolla Tulyehualco y Criolla Mixteca se diferenciaron entre sí y del resto de los fenotipos mientras que el grupo formado por Mercado, Nepal y Tulyehualco no se diferenciaron entre sí, pero si estos del resto.

Longitud de las plántulas a las 96 h

Este criterio permitió diferenciar a Criolla Tulyehualco que resulto diferente y a 2 grupos de fenotipos formado por Línea 1, Mercado asi como Tulyehualco, y el segundo formado por Nepal y Criolla Mixteca. Los integrantes de cada grupo no se pueden diferenciar entre sí, pero si el grupo de los demás. La longitud de las plántulas varió dentro de un rango de 15.0 y 12.3 mm. Criolla Tulyehualco se diferencio del resto de los fenotipos mientras que los grupos formados por Línea 1, Mercado y Tulyehualco no se diferenciaron entre sí, pero si estos del resto y lo mismo ocurre para Nepal y Criolla Mixteca.

Longitud de las plántulas a las 120 h

Este criterio permitió diferenciar a Criolla Mixteca que resulto diferente y a un grupo de fenotipos formado por Mercado, Nepal, Criolla Tulyehualco, Tulyehualco y Línea 1. Los integrantes del grupo no se pueden diferenciar entre sí, pero si Criolla Mixteca de los demás. La longitud de las plántulas varió dentro de un rango de 18.0 y 13.7 mm. Criolla Mixteca se diferenció del resto de los fenotipos mientras que el grupo formado por Mercado, Nepal, Criolla Tulyehualco, Tulyehualco y Línea 1 no se diferenciaron entre sí, pero si estos de Criolla Mixteca.

Villaseñor (1984) indica que se debe considerar al vigor como el factor más importante en el análisis de la calidad de las semillas, teniendo como función principal el emplearlo como un carácter de selección. Lamer y Bewley (1984) mencionan que en campo se requieren semillas con gran habilidad para emerger a altos niveles dentro de una amplitud de condiciones ambientales, ya que una emergencia rápida sirve para establecer un mayor número de plantas, al mismo tiempo que maximiza el periodo de crecimiento produciendo una calidad más uniforme a la cosecha.

El método de medición de las plántulas es aplicable a las plántulas que presentan una plúmula recta, como en los cereales, o bien raíces no ramificadas, como la lechuga. Se ha usado principalmente para cereales, cebada, trigo, maíz, aunque también se ha usado para soya, remolacha y para medir la longitud de la raíz de la lechuga. Se ha observado que semillas de alto vigor germinan en forma más sincronizada que las de bajo vigor y que, además, las plántulas crecen más rápido y uniformemente. En un cultivo como la remolacha azucarera se obtuvieron aumentos de rendimiento con plantas que emergieron más rápido y produjeron plántulas grandes, debido a que mantuvieron una ventaja de tamaño, aún si las plantas más pequeñas producidas por las semillas de bajo vigor presentaban la misma tasa de crecimiento relativo.

La lechuga constituye otro ejemplo de un cultivo donde la uniformidad de la emergencia es importante para permitir una cosecha rápida de plantas de tamaño similar. En este caso, solo son importantes la tasa de emergencia y un crecimiento uniforme, ya que las plantas crecen lo suficientemente separadas como para no verse afectadas por competencia. En cultivos de zanahoria para enlatar, es necesaria una emergencia sincronizada, ya que la competencia entre plantas es un factor importante para controlar el tamaño de las raíces. Si la emergencia se extiende sobre un período prolongado, la diferencia de tamaño de las raíces en el momento de la cosecha será mayor que en un cultivo que emergen en forma simultánea, debido a que las plantas que emergen primero se desarrollan más, a expensas de las plántulas más lentas.

En todos estos casos el vigor tiene una influencia importante sobre la capacidad de rendimiento y sus componentes, y que no afecta simplemente al porcentaje de emergencia (Stanham, 1973). Las empresas semilleras, principalmente internacionales, utilizan la información del vigor de las semillas en los programas de promoción y mercado; las nacionales usan la información del vigor como estrategia de mercado en respuesta a la competitividad, ya que el vigor presenta una relación con la velocidad de deterioro de la semilla, por lo que las semillas de bajo vigor toleran por menor tiempo el almacenamiento que las semillas de alto vigor; por lo tanto, las industrias semilleras utilizan la información del vigor para predecir el establecimiento en campo del cultivo en condiciones de estrés y asimismo, determinar el período óptimo de almacenamiento (Jianhua y McDonald, 1997).

5.4 Materia seca de tallos de plántulas generadas de semillas germinadas en presencia de soluciones de herbicidas

Agua

Este criterio permitió diferenciar a Criolla Tulyehualco y Nepal y a dos grupos de fenotipos el primero formado por Mercado y Tulyehualco, y el segundo por Línea 1 y Criolla Mixteca. Los integrantes de los grupos no se pueden diferenciar entre sí, pero sí de los demás. El peso de materia seca de los tallos de las plántulas varió dentro de un rango de 18.5 y 15.3 mg. Criolla Tulyehualco y Nepal se diferenciaron del resto de los fenotipos mientras que los grupos formados por Mercado y Tulyehualco, y Línea 1 y

Criolla Mixteca no se diferenciaron entre sí, pero si estos de Criolla Tulyehualco y Nepal.

Hierbamina

Este criterio permitió diferenciar a un grupo de fenotipos formado por Mercado, Tulyehualco, Línea 1, Criolla Mixteca, Nepal y Criolla Tulyehualco. Los integrantes del grupo no se pueden diferenciar. El peso de materia seca de los tallos de las plántulas varió dentro de un rango de 32.8 y 23.8 mg.

2,4-D

Este criterio permitió diferenciar a un grupo de fenotipos formado por Mercado, Nepal, Tulyehualco, Criolla Mixteca, Criolla Tulyehualco y Línea 1. Los integrantes del grupo no se pueden diferenciar. El peso de materia seca de los tallos de las plántulas varió dentro de un rango de 28.8 y 23.8 mg.

La prueba del peso de las plántulas, se desarrolló con el objeto de facilitar la clasificación de las plántulas débiles y vigorosas. La observación visual de las diferencias entre plántulas vigorosas y débiles es muy subjetiva y por lo tanto está sujeta a variación dependiendo de la interpretación que le dé el analista (Moreno, 1984). Debido a los problemas que produce el contenido variable de agua, los agricultores interesados en la productividad de las cosechas, prefieren expresar el crecimiento de las plantas en función del aumento de la materia seca de la planta o de parte de ella (raíz, tallo). La materia seca se obtiene normalmente secando el material recién cortado durante un periodo de tiempo comprendido entre 24 y 48 horas, a temperaturas entre 70 y 80°C.

La materia seca puede resultar una estimación más válida que la materia fresca para expresar la noción de crecimiento (Salisbury, 1992). Se observaron cambios en la materia seca y fresca de semillas de guisante a medida que crecían en la oscuridad. La materia fresca aumentó a causa de la captación de agua, mientras que la materia seca disminuyó debido a la respiración (Salisbury, 1992).

Tekrony (1991), aduce que los tejidos vegetales implicados en la mayor producción de materia seca (biomasa) se forman después de la emergencia de la plántula y tienen una magnitud superior a la requerida para cubrir la demanda fisiológica del grano en desarrollo, por lo que no depende del vigor de la semilla. Para que una semilla produzca una planta, el eje embrionario incluye las células meristemáticas de la radícula y de la plúmula, que son esenciales para el desarrollo de los diferentes órganos de la planta. Muchas o todas las células del endospermo y escutelo pueden estar muertas o no funcionar, y bajo condiciones de germinación óptimas podría producirse una planta normal, pero inicialmente de bajo vigor. Por el contrario, sin las células vivas del endospermo y escutelo no podrían producir una planta (Harrington, 1973).

5.4.1 Materia seca total (tallos y raíces) de plántulas generadas de semillas germinadas en presencia de soluciones de herbicidas

Agua

Este criterio permitió diferenciar a un grupo de fenotipos formado por Mercado, Tulyehualco, Criolla Tulyehualco, Nepal, Línea 1 y Criolla Mixteca. Los integrantes del grupo no se pueden diferenciar entre sí. El peso de materia seca total de las plántulas varió dentro de un rango de 27.7 y 21.7 mg.

Hierbamina

Este criterio permitió diferenciar a un grupo de fenotipos formado por Mercado, Tulyehualco, Línea 1, Criolla Mixteca, Nepal y Criolla Tulyehualco. Los integrantes del grupo no se pudieron diferenciar entre sí. El peso de materia seca total de las plántulas varió dentro de un rango de 32.8 y 23.8 mg.

2,4-D

Este criterio permitió diferenciar a un grupo de fenotipos formado por Mercado, Nepal, Tulyehualco, Criolla Mixteca, Criolla Tulyehualco y Línea 1. Los integrantes del grupo no se pudieron diferenciar entre sí. El peso de materia seca total de las plántulas varió dentro de un rango de 28.8 y 23.8 mg.

5.4.2 Materia seca de tallos de plántulas generadas de semillas germinadas en presencia de soluciones de ácido salicílico y compuestos análogos

Ácido acetilsalicílico

Este criterio permitió diferenciar a un grupo de fenotipos formado por Mercado, Tulyehualco, Nepal, Criolla Tulyehualco, Línea 1 y Criolla Mixteca. Los integrantes del grupo no se pueden diferenciar entre sí. El peso de materia seca total de las plántulas varió dentro de un rango de 19.5 y 14.3 mg.

Ácido salicílico

Este criterio permitió diferenciar a un grupo de fenotipos formado por Mercado, Tulyehualco, Línea 1, Nepal, Criolla Tulyehualco, y Criolla Mixteca. Los integrantes del grupo no se pudieron diferenciar entre sí. El peso de materia seca total de las plántulas varió dentro de un rango de 19.3 y 11.3 mg.

Ácido sulfosalicílico

Este criterio permitió diferenciar a un grupo de fenotipos formado por Mercado, Tulyehualco, Criolla Tulyehualco, Nepal, Línea 1, y Criolla Mixteca. Los integrantes del grupo no se pudieron diferenciar entre sí. El peso de materia seca total de las plántulas varió dentro de un rango de 17.8 y 11.1 mg.

5.4.3 Materia seca de raíces de plántulas generadas de semillas germinadas en presencia de soluciones de ácido salicílico y compuestos análogos

Ácido acetilsalicílico

Este criterio permitió diferenciar a un grupo de fenotipos formado por Criolla Mixteca, Tulyehualco, Mercado, Nepal, Criolla Tulyehualco y Línea 1. Los

integrantes del grupo no se pueden diferenciar entre sí. El peso de materia seca total de las plántulas varió dentro de un rango de 13.3 y 9.3 mg.

Ácido salicílico

Este criterio permitió diferenciar a un grupo de fenotipos formado por Mercado, Tulyehualco, Nepal, Criolla Mixteca, Criolla Tulyehualco y línea 1. Los integrantes del grupo no se pudieron diferenciar entre sí. El peso de materia seca total de las plántulas varió dentro de un rango de 11.3 y 7.7 mg.

Ácido sulfosalicílico

Este criterio permitió diferenciar a un grupo de fenotipos formado por Mercado, Nepal, Criolla Mixteca, Tulyehualco, Criolla Tulyehualco y Línea 1. Los integrantes del grupo no se pudieron diferenciar entre sí. El peso de materia seca total de las plántulas varió dentro de un rango de 12.1 y 8.8 mg.

5.4.4 Materia seca total (tallos y raíces) de plántulas generadas de semillas germinadas en presencia de soluciones de ácido salicílico y compuestos análogos

Ácido acetilsalicílico

Este criterio permitió diferenciar a un grupo de fenotipos formado por Mercado, Tulyehualco, Criolla Mixteca, Nepal, Criolla Tulyehualco y Línea 1. Los integrantes del grupo no se pueden diferenciar entre sí. El peso de materia seca total de las plántulas varió dentro de un rango de 29.5 y 24.8 mg.

Ácido salicílico

Este criterio permitió diferenciar a un grupo de fenotipos formado por Mercado, Tulyehualco, Nepal, Línea 1, Criolla Tulyehualco y Criolla Mixteca. Los integrantes del grupo no se pudieron diferenciar entre sí. El peso de materia seca total de las plántulas varió dentro de un rango de 30.7 y 20.7 mg.

Ácido sulfosalicílico

Este criterio permitió diferenciar a un grupo de fenotipos formado por Mercado, Tulyehualco, Nepal, Criolla Tulyehualco, Criolla Mixteca y Línea 1. Los integrantes del grupo no se pudieron diferenciar entre sí. El peso de materia seca total de las plántulas varió dentro de un rango de 30.0 y 22.7 mg.

5.5 Desarrollo de plántulas

En esta fase de la investigación se eligió al mejor individuo de cada planta de amaranto tolerante al herbicida Doble Super de acuerdo a la mayor longitud, número de hojas y color de hojas. Aunque para el caso de *Amaranthus* spp. aún no se ha definido un criterio universal para determinar la madurez fisiológica, no obstante, el cambio de color de la inflorescencia o panoja es el indicador más utilizado. Así, en panojas verdes se ha observado el cambio de color verde a un color oro, en panojas rojas cambia

de color rojo a café rojizo. En ese estado, las semillas son duras y no es posible penetrarlas con la uña, pero cuando alcanza la madurez al sacudir la panoja, las semillas maduras caen.

Mújica y Berti (1997), asocian la madurez con la senescencia de las hojas, la planta tiene un aspecto seco de color café y generalmente se espera que caiga la primera helada de otoño para que disminuya la humedad de la semilla. La madurez fisiológica constituye la última fase del proceso reproductivo que se caracteriza por una serie de profundos cambios físicos y químicos que se hacen evidentes con el aumento de tamaño de la semilla, al incrementarse la reserva de carbohidratos, ácidos orgánicos, minerales, compuestos nitrogenados y otros cambios en el color, peso, contenido de humedad, olor, sabor, textura, consistencia y, se caracteriza fundamentalmente por la independencia de la semilla de la planta madre (Niembro, citado por Montoya, 1999).

En general, el amaranto tiende a ser una planta con una alta estabilidad del rendimiento, pues su plasticidad le permite modificar su fenología y estructura en diferentes ambientes para conservar la expresión de rendimiento (Espitia, 1991b). Sin embargo, en regiones templadas de la Meseta Central de México, los cultivares de *A. hypochondriacus* y *A. cruentus* desarrollan su ciclo biológico entre 120 y 208 días (Espitia, 1987), al mismo tiempo que en regiones cálidas de Morelos y Veracruz alcanzan su madurez en 80 días (Bañuelos *et al.*, 1988).

El National Research Council (1984) indica que la duración del ciclo biológico del amaranto depende principalmente del genotipo y está altamente influenciado por el ambiente, en general, éste varía de 4 a 5 meses, aunque en áreas de clima cálido la maduración puede ocurrir en menor tiempo (3 meses) y en regiones frías se puede demorar hasta 10 meses.

5.6 Estimación de la relación de peso de materia seca tallo y raíz de plantas de amaranto desarrolladas en campo

En los inicios de la domesticación de amaranto de grano tuvieron que ocurrir modificaciones como lo es el cambio de color de las semillas de negro a pálido, correlacionado con cambios en calidad y sabor, seguido por cambios subsecuentes como son: incremento total del tamaño de la planta, de la inflorescencia, en la producción de semillas por gran cantidad de flores femeninas en la inflorescencia, pigmentación por antocianinas en hojas, tallos e inflorescencias y pérdida de glumas duras.

La planta madura al momento de la cosecha mide de 1-1.5 m de altura, es de tallo grueso (± 2 cm de diámetro), con estrías longitudinales rojizas, de hojas pecioladas ovaladas de 15-18 cm de largo por 10 cm de ancho. Sus flores forman una inflorescencia terminal o panoja piramidal muy apretada de 50 a 100 cm de longitud, con flores femeninas abundantes y masculinas escasas (± 250 femeninas por cada masculina), envueltas cada una por brácteas suaves coloreadas que dan a la inflorescencia una apariencia

verdosa, roja, salmón o enladrillada. En cada flor se forma una cápsula que abre transversalmente y contiene una sola semilla, generalmente blanca, de 0.05 a 0.9 mg, produciéndose en cada planta hasta 50 000 semillas.

Reyna (1984) menciona que el amaranto ha mostrado un alto grado de adaptación a diversas regiones climáticas, siendo este un cultivo resistente a la sequía; asimismo, indica que las zonas productoras de amaranto se caracterizan por una temperatura media anual de 18 a 24 °C con precipitaciones de 800 a 1150 mm anuales.

Bernal *et al.* (1999) y Trinidad (2002) mencionan que las variedades Línea 1 y Nepal presentan un comportamiento uniforme ya que han sido variedades que han sido mejoradas seleccionando características fenotípicas uniformes lo que identifica una gran plasticidad, que es una característica que a las plantas de amaranto les permite adaptarse a un amplio rango de ambientes (Hauptli, 1977), ya que tienen la capacidad de ajustar su forma, tamaño y niveles de producción de acuerdo a las limitaciones ambientales, sobre todo a la disponibilidad de nutrientes en el suelo (Alejandre, 1981).

Las plantas de amaranto pertenecen al grupo de plantas que efectúan la fotosíntesis por la especializada ruta C4. Las ventajas de las especies que poseen ruta fotosintética C4, está la de responder mejor bajo condiciones ambientales adversas y hacer un uso más eficiente del agua consumida para formar biomasa, en comparación con las plantas C3 (National Research Council, 1984).

Por otra parte, Grubben (1979) al estudiar las prácticas de cultivo y condiciones ecológicas bajo las que se cultiva el amaranto en África, reporta que el amaranto tiene un desarrollo inicial rápido y un alto contenido de materia seca.

Hauptli (1977) comparó la distribución de la biomasa de especies cultivadas y de malezas, ambas de amaranto, y encontró que mientras los rendimientos de los dos grupos fueron parecidos, las malezas dedicaron un gran porcentaje de su energía a la producción de semillas.

Las malezas desviaron de un 20 a un 50% de su biomasa a las semillas, en contraste a un 10 a 15% en las especies cultivadas para el mismo propósito. Las plantas de cultivo que asignaron más de su biomasa a las semillas produjeron los más altos rendimientos por planta, lo que no ocurrió con las malezas.

Las raíces de las plantas de la variedad Mercado presentaron las menores longitudes de raíces (44%), por lo tanto, tienen menor capacidad de absorción de agua y de nutrimentos a través del suelo. Las raíces son muy delgadas pero prolíficas y nos indica un menor sistema radical. Las mayores longitudes de raíz se observaron en las plantas de la variedad Nepal (100%), y son debidas a raíces pivotantes, debido a que profundizan verticalmente en el suelo y tienen la mayor capacidad de aprovechamiento y captación del agua.

Las mayores longitudes de tallo (Línea 1, 100%) y raíz (Nepal, 100%) registradas en las plantas de amaranto, indican que por sus características genotípicas existe una buena profundidad de raíz y longitud del tallo, lo cual indica que están relacionados con el peso de del tallo. Espitia (1987) menciona que la longitud de planta es una principal característica agronómica que influye en el rendimiento. Las plantas de las variedades más sensibles para absorber agua y nutrimentos son los que tienen menor longitud de tallo (Mercado, 17%) y raíz (Mercado, 44%).

Las plantas de la variedad Criolla Mixteca registraron el mayor peso de tallo (100%), por lo tanto tiene una capacidad alta de generar biomasa aérea a diferencia de las plantas de la variedad Mercado (2%). En maíz, la tendencia es que a mayor cantidad de biomasa, hay un mayor rendimiento de grano, aunque en el caso de Criolla Mixteca el rendimiento de grano es menor. Hay una relación muy estrecha entre la biomasa y el área foliar con el rendimiento de grano.

El cuadro 31 describe un resumen de los resultados obtenidos que permitieron de manera muy directa definir:

1. Que ninguno de los criterios fue capaz de diferenciar a plenitud a cada uno de los fenotipos de los demás.
2. Dentro de las características físicas consideradas en este trabajo imbibición, y dentro de las características fisiológicas de la semilla, la germinación de la semilla en presencia de Doble Super permitieron diferenciar a 5 de los 6 fenotipos en estudio; del criterio físico de la semilla peso de 100 semillas y de las características fisiológicas germinación en presencia de Doble Super, germinación en presencia de ASS, velocidad de germinación en presencia de AS y ASS, germinación en presencia de Ca7 y la determinación de la longitud de plántulas a las 72 h, permitieron diferenciar a 4 de los 6 fenotipos en estudio.
3. Dentro de las características fisiológicas: germinación en presencia del herbicida Hierbamina, 2,4-D, AS, velocidad de germinación en presencia de AAS y longitud de plántulas efectuada a las 96 h, permitieron diferenciar a 3 de los 6 fenotipos en estudio.
4. Sólo 20 criterios no permitieron diferenciar a los 6 fenotipos de amaranto.
5. Los criterios que permitieron observar con fidelidad y que tienen la mayor potencialidad de diferenciar a los fenotipos de amaranto por su gran sensibilidad son la imbibición, la germinación en presencia de Doble Super y el peso de 100 semillas.

Cuadro 32. Representación de la capacidad de cada criterio experimental indicado para diferenciar a cada uno de los fenotipos de amaranto en estudio.

Criterios	Línea 1	Mercado	Nepal	Tulyehualco	Criolla Tulyehualco	Criolla Mixteca
Peso de 100 semillas	3	1	4	1	2	4 [†]
Color	1	1	1	1	1	2
Imbibición	3	3	2	4	1	5
Germinación en agua	1	2	2	1	1	1
Velocidad de germinación en agua	2	2	2	2	2	1
Germinación en presencia del herbicida Doble Super (1 µL/mL)	2	5	4	3	1	2
Germinación en presencia del herbicida Doble Super (0.6 µL/mL)	2	5	4	3	1	1
Germinación en presencia del herbicida Doble Super (0.006 µL/mL)	1	1	1	1	1	1
Germinación en presencia del herbicida Hm	1	1	2	1	1	1
Germinación en presencia del herbicida 2,4-D	1	1	2	1	2	1
Velocidad de germinación en presencia del herbicida Doble Super (1 µL/mL)	2	1	1	2	1	1
Velocidad de germinación en presencia del herbicida Doble Super (0.6 µL/mL)	2	1	1	1	2	1

Continúa cuadro 32

Crterios	Lnea 1	Mercado	Nepal	Tulyehualco	Criolla Tulyehualco	Criolla Mixteca
Velocidad de germinación en presencia de herbicida Doble Super (0.006 µL/mL)	4	4	3	2	4	1
Velocidad de germinación en presencia del herbicida Hm	2	1	1	1	3	1
Velocidad de germinación en presencia del herbicida 2,4-D	3	1	1	1	2	1
Germinación en presencia de AAS	1	2	3	1	1	1
Germinación en presencia de AS	1	3	3	1	2	1
Germinación en presencia de ASS	1	2	4	1	3	1
Velocidad de germinación en presencia de AAS	3	1	1	1	2	1
Velocidad de germinación en presencia de AS	4	2	2	1	3	1
Velocidad de germinación en presencia de ASS	4	3	1	1	2	1
Germinación en presencia de CuSO ₄	1	1	2	1	1	1
Germinación en presencia de Ca7	1	3	4	1	2	1
Germinación en presencia de Ca9m	1	2	1	1	1	1
Germinación en presencia de Cavm	1	2	2	1	1	1
Velocidad de germinación en presencia de CuSO ₄	2	2	2	2	2	1

Continúa cuadro 32						
Criterios	Línea 1	Mercado	Nepal	Tulyehualco	Criolla Tulyehualco	Criolla Mixteca
Velocidad de germinación en presencia de Ca7	2	2	2	2	2	1
Velocidad de germinación en presencia de Ca9m	2	2	2	2	2	1
Velocidad de germinación en presencia de Cavm	2	2	2	2	2	1
Longitud de plántulas a las 72 h	1	3	3	3	2	4
Longitud de plántulas a las 96 h	1	1	3	1	2	3
Longitud de plántulas a las 120 h	1	1	1	1	1	2
Materia seca de tallos de plántulas que se generaron a partir de semilla geminada en Hm	1	1	1	1	1	1
Materia seca de tallos de plántulas que se generaron a partir de semilla geminada en 2,4-D	1	1	1	1	1	1
Materia seca total de plántulas que se generaron a partir de semilla geminada en Hm	1	1	1	1	1	1
Materia seca total de plántulas que se generaron a partir de semilla geminada en Hm	1	1	1	1	1	1

Continúa cuadro 32						
Criterios	Línea 1	Mercado	Nepal	Tulyehualco	Criolla Tulyehualco	Criolla Mixteca
Materia seca de tallos de plántulas que se generaron a partir de semilla geminada en AAS	1	1	1	1	1	1
Materia seca de tallos de plántulas que se generaron a partir de semilla geminada en AS	1	1	1	1	1	1
Materia seca de tallos de plántulas que se generaron a partir de semilla geminada en ASS	1	1	1	1	1	1
Materia seca de raíces de plántulas que se generaron a partir de semilla geminada en AAS	1	1	1	1	1	1
Materia seca de raíces de plántulas que se generaron a partir de semilla geminada en AS	1	1	1	1	1	1
Materia seca de raíces de plántulas que se generaron a partir de semilla geminada en ASS	1	1	1	1	1	1

Continúa cuadro 32						
Criterios	Línea 1	Mercado	Nepal	Tulyehualco	Criolla Tulyehualco	Criolla Mixteca
Materia seca total de plántulas que se generaron a partir de semilla geminada en AAS	1	1	1	1	1	1
Materia seca total de plántulas que se generaron a partir de semilla geminada en ASS	1	1	1	1	1	1
Días a la maduración de la semilla	1	2	1	1	1	1
Longitud de raíz principal (cm)	1	2	1	1	2	1
Longitud de tallo principal (cm)	1	2	1	1	1	1
No. de ramificaciones	1	2	1	1	1	1
No. de hojas	1	2	1	1	1	1
No. de panojas	1	3	2	1	1	1
Color de panoja	1	2	1	2	1	1
Peso de raíz (g)	1	3	2	1	1	1
Peso de tallo (g)	1	3	2	1	3	1
Relación raíz/tallo	2	3	1	2	3	1

† En cada hilera los números indican que el criterio es igual o similar en los fenotipos respectivos y números diferentes al de otros fenotipos indican que el criterio es diferente lo que permite diferenciar al fenotipo de los demás.

Finalmente, los criterios más sencillos de determinar son el peso de 100 semillas, el color, la determinación de la germinación, la longitud de las plántulas y el peso de materia seca, mientras que la velocidad de germinación (T_{50}) es el más difícil porque se requiere de tiempo y manipulación adecuada, pero a la vez es práctico pero no caro.

CONCLUSIONES

Los objetivos se cumplieron totalmente. Se pudieron caracterizar seis fenotipos de amaranto (*A. hypochondriacus* L.), que actualmente se consideran adaptables y de buena productividad en la parte alta de México. Estos son Línea 1, Mercado, Nepal, Tulyehualco, Criolla Tulyehualco y Criolla Mixteca mediante los patrones de germinación, velocidad de germinación, emergencia de semilla sometida a germinación en presencia de herbicidas, ácido salicílico y compuestos análogos, sulfato de cobre y carencia de hierro, y el peso de materia seca. Se pudo caracterizar la semilla de amaranto de los seis fenotipos seleccionados mediante pruebas de calidad física y fisiológica.

El someter la semilla de amaranto a condiciones de estrés (germinación en presencia de herbicidas, ácido salicílico, ácido acetilsalicílico, ácido sulfosalicílico, CuSO_4 y carencia de hierro) permitió diferenciar a los seis fenotipos de amaranto.

Ninguno de los criterios utilizados permitió diferenciar a cada uno de los fenotipos de los demás. Dentro de los criterios físicos de evaluación de las semillas, la variable peso de 100 semillas presentó diferencias altamente significativas, las variedades con los mayores pesos fueron Tulyehualco y Mercado con 93 y 92 mg. La imbibición de las semillas varió entre Línea 1 (1.37 g) y Criolla Mixteca (1.13 g).

Dentro de los criterios fisiológicos de evaluación de la semilla, la variable germinación en presencia de herbicidas, el factor soluciones tuvo diferencias altamente significativas, las soluciones que permitieron el mayor porcentaje de germinación fueron: el agua, la solución 3 de Doble Super, el 2,4-D y la Hierbamina (92, 90, 87 y 87%, respectivamente). El factor variedades también presentó diferencias altamente significativas y tanto Línea 1 como Criolla Mixteca tuvieron los porcentajes de germinación más altos. La interacción entre ambos factores fue altamente significativa. Para la variable velocidad de germinación en presencia de herbicidas, el factor soluciones de herbicidas tuvo diferencias altamente significativas, las soluciones que aumentaron la velocidad de germinación fueron: solución 1 de Doble Super, 2,4-D, Hierbamina y la solución 2 de Doble Super con 24 y 23 h. El factor variedades presentó diferencias altamente significativas, Criolla Mixteca presentó la mayor velocidad de germinación (26 h). La interacción entre ambos factores fue significativa.

Para la variable germinación en presencia de ácido salicílico y compuestos análogos, el factor soluciones no tuvo significancia estadística, el factor variedades presentó diferencias altamente significativas, y las que presentaron mayores porcentajes de germinación fueron Línea 1, Tulyehualco y Criolla Mixteca (98, 97 y 95%, respectivamente). No hubo interacción entre factores. Para la variable velocidad de germinación en presencia de ácido salicílico y compuestos análogos, el factor soluciones tuvo efecto significativo, por lo que el AAS, AS, y ASS incrementaron la velocidad de germinación (17, 16 y 16 h, respectivamente). La variedad

Criolla Mixteca presento la mayor velocidad de germinación (21 h). La interacción entre ambos factores no tuvo significancia estadística.

Para la variable germinación en presencia de CuSO_4 y los sobrenadantes de medio gastado, el factor soluciones no tuvo efecto significativo, el factor variedades si tuvo significancia, los mayores porcentajes de germinación lo tuvieron Línea 1 y Tulyehualco (97%, en ambos casos). La interacción entre factores no tuvo significancia. Para la variable velocidad de germinación en presencia de CuSO_4 y los sobrenadantes de medio gastado, la mayor velocidad de germinación (16 y 15 h) se registró con los sobrenadantes Ca9m y Cavm, Criolla Mixteca presentó el mayor tiempo (23 h). No hubo interacción entre ambos factores.

Para la variable longitud de plántulas, el factor días tuvo efecto altamente significativo, el día 5 (120 h) presentó la mayor longitud de plantulas de amaranto. El factor variedades presentó efecto altamente significativo, todas las variedades a excepción de Criolla Mixteca presentaron las mayores longitudes. La interacción entre ambos factores fue significativa.

Para la variable peso de materia seca total de tallos en presencia de herbicidas Hierbamina Comercial y 2,4-D, el factor soluciones tuvo efecto altamente significativo, Hierbamina y 2,4-D registraron el mayor peso de materia seca de tallos con 27 y 26 mg, respectivamente. El factor variedades no tuvo significancia estadística, y la interacción entre factores tampoco presentó significancia estadística. Para la variable peso de materia seca total en presencia de herbicidas Hierbamina Comercial y 2,4-D el factor soluciones no tuvo significancia estadística, pero si hubo diferencias significativas entres variedades, las que tuvieron los mayores pesos de materia seca fueron Mercado, Tulyehualco, Nepal y Criolla Tulyehualco (30, 28, 25 y 25 mg., respectivamente). La interacción entre factores no tuvo significancia estadística.

Para la variable peso de materia seca de tallos en presencia de ácido salicílico y compuestos análogos el factor soluciones no tuvo significancia estadística, el factor variedades si tuvo diferencias estadísticas, por lo que las variedades con el mayor peso de materia seca de tallos fueron todas las variedades a excepción de Criolla Mixteca. Para la variable peso de materia seca de raíces en presencia de ácido salicílico y compuestos análogos, el factor soluciones no tuvo significancia estadística, el factor variedades tampoco tuvo significancia, y por lo tanto no hubo interacción entre factores.

Para la variable peso de materia seca total en presencia de ácido salicílico y compuestos análogos, el factor soluciones no tuvo significancia estadística, el factor variedades tampoco tuvo significancia, y por lo tanto no hubo interacción entre factores.

Los criterios más sencillos de determinar son el peso de 100 semillas, el color, la determinación de la germinación, la longitud de las plántulas y el peso de materia seca, mientras que la velocidad de germinación (T_{50}) es el

más difícil porque se requiere de tiempo y manipulación adecuada, pero a la vez es práctico pero no caro.

LITERATURA CITADA

- Alejandro, I. G. 1981.** Fertilización y densidad de población en amaranto (*Amaranthus hypochondriacus* L.) Tesis Profesional. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 1986. 169 p.
- Anderson, W. P. 1996.** Leed Science: Principles and Practices. 3rd. Ed. West Publishing Company, Minneapolis, MN.
- Aragón, G. A. y López, O. J. F. 2001.** Descripción y Control de las Plagas del Amaranto. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. México. Edit. Alternativas Siza. p. 32.
- Aristeo, C. P. 1997.** Reguladores de crecimiento XIV: Efecto de AS y DMSO en zanahoria, rábano y betabel. Tesis de licenciatura. Facultad de ciencias, UNAM.
- Ascencio, J. 2005.** Efecto del estrés abiótico sobre la fisiología de malezas y cultivos. Anales de Botánica Agrícola. 12:41-47.
- Bailey, L. H. 1914.** Amaranthus. Standard Cyclopedia of Horticultura. Macmillan Publishing. New York, NY, USA.
- Bardales, S., Sandoval, E. y Bye, R. 1991.** Anatomía sistemática de *Amaranthus* L. In: Primer Congreso Internacional del Amaranto. PUAL-UNAM. Oaxtepec, Morelos, México. p. 25.
- Bassin, C. C. y Bassin, J. M. 1998.** Seeds: Ecology, Biogeography, and Evolution of Dormancy and Germination. Academic Press, San Diego, California. EE.UU. 666 p.
- Basu, R. N. 1972.** Effect of non-auxin chemicals on translocation of auxins in cutting of *Phaseolus vulgaris* L. Jour. Exp. Bot. 23:357-365.
- Bayardo, P. R. y Carrillo, C. G. 2002.** Diferenciación del teocintle y formas criollas e híbridas de maíz mediante patrones de germinación y vigor de plántula. In: Memoria del XIX Congreso Nacional de Fitogenética. 1-5 de septiembre. Saltillo, Coah., México. pp: 237.
- Becerra, R. 2000.** El Amaranto: Nuevas Tecnologías para un antiguo cultivo.- en Biodiversitas. Boletín bimestral de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. No. 30, Año 5, Mayo de 2000.
- Benavides-Mendoza, A., A. M. Salazar-Torres, F. Ramírez-Godina, V. Robledo-Torres, H. Ramírez-Rodríguez y R. Maiti. 2003.** Tratamiento de semilla de chile con ácidos salicílico y sulfosalicílico y respuesta de las plántulas al frío. Terra latinoamericana 22: 41-47.

- Besnier R. F. 1989.** Semillas, Biología y Tecnología. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. pp. 195.
- Beevers, C. A. y Lipson, H. 1934.** Crystal structure of $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$. Proceedings of the Royal Society (London). pp. 146, 570-582.
- Bewley, J. D. 1997.** Seed Germination and Dormancy. The Plant Cell 9: 1055-1066.
- Bewley, J. D. y Black. 1994.** Seeds: Physiology of Development and Germination. Plenum Press. New York, N. Y. EE. UU. 462 pp.
- Boerboom, C. 1998.** Herbicide mode of action. Agronomy Department. University of Wisconsin.
- Brune, A., Urbach, W. y Dietz, K. J. 1994.** Compartmentation and transport of zinc in barley primary leaves as basic mechanisms involved in zinc tolerance. Plant Cell Environment. 17:153-162.
- Cárdenas, J. O. F. y Romero, R. 1973.** Clasificación de los herbicidas (Control de malezas en Colombia). Temas de orientación agropecuaria. No. 84-85: 27-30.
- Carrillo, J. M. 2001.** Ácido sulfosalicílico, posible inductor de la resistencia sistémica adquirida en *S. tuberosum* L. Tesis de Maestría en Ciencias. Instituto de Recursos Naturales Genéticos y Productividad. Especialidad en Genética. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México. 73 p.
- Casas, A., Vázquez, M., Viveros, J. y Caballero, J. 1996.** Plant management among the Nahuatl and the Mixteca in the Balsas River Basin, México: an ethnobotanical approach to the study of domestication. Human Ecology 24: 455-478.
- Cervantes S. J. M., Riquelme, E. V. y González, S. M. 1987.** Efectos del nivel de alimentación y del nivel de inclusión de paja de amaranto (*Amaranthus hypocondriacus* L.), sobre la digestibilidad in vivo de raciones completas para borregos. In: T. Reyna T., G. Suárez R. y J. M. Cervantes S. (eds.). Memorias del Coloquio Nacional del Amaranto. Instituto de Desarrollo Estatal para la acción Social del Gobierno del Estado de Querétaro, Querétaro, México. pp. 222-231.
- Chadna, K. C. y Brown, S. A. 1974.** Biosynthesis of phenolic acids in tomato plants infected with *Agrobacterium tumefaciens*, Can. J. Bot. 52: 2041-2046.

- Chávez, G. J. 2002.** Potencial agroindustrial del frijol silvestre (*Phaseolus vulgaris* L.): liberación de electrolitos durante la imbibición y la cocción. Tesis profesional. Universidad autónoma chapingo. Depto. de ingeniería agroindustrial. Chapingo, Texcoco, Estado de México.
- Ching, T. M. 1973.** Biochemical aspects of seed vigour. *Seed Sci. & Technology*. 1. (1): 73-88.
- Chiquito, C. R. G. 2002.** Impacto de la PGPR en la uniformidad, vigor y Condición fitosanitaria de plantas de chile (*Capsicum annuum* L.) y jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) determinado al momento del transplante. Tesis de maestría en ciencias. Montecillo, Texcoco. Edo. de México. pp 69.
- Chou, C. H. y Patrick, Z. A. 1976.** Identification and phytotoxic activity of compounds produced during decomposition of corn and rye residues in soil. *Jour. Chem. Ecol.* 2:369-387.
- Cole, D. J. 1994.** Detoxification and activation of agrochemicals in plants. *Pesticide Science*. 42:209-222.
- Cook, C. M., Kostidou, A., Vardaka, E. y Lanaras, T. 1997.** Effects of copper on the growth, photosynthesis and nutrient concentrations of *Phaseolus* plants. *Photosynthetica*. 4:179-193.
- Covas, G. 1991.** Cuatro cultivares de amarantos uraníferos (*Amaranthus* L. spp.) adaptados a las condiciones ambientales de la región semiárida pampeana de la República Argentina. *In: Primer Congreso Internacional de Amaranto*. PUAL-UNAM. Oaxtepec, Morelos, México. pp. 31
- Daloz, C. R. y Munger, H. M. 1980.** Amaranth, an underexploited vegetable crop. *HortScience*. 15 (3): 383.
- Daniel, P. W., Helms, U. E. y Baker, F. G. 1982.** Silvicultura. McGraw Hill. 1ª Edición en español. México. pp. 492.
- De Liñan, V. C. 1997.** Farmacología vegetal. Ediciones Agrotécnica. Universidad politécnica. Madrid, España. pp. 301-304.
- Desphande, S. S.; M. Cheryan. 1986.** Microestructure and water of *Phaseolus* and winged beans. *Journal of Food Science*. 51:1218-1223.
- Díaz, O. A. C. 1994.** Análisis de crecimiento comparativo en tres poblaciones de *Amaranthus hypochondriacus*, en el Municipio de Chalco, Estado de México. Tesis profesional en Biología. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.

- Díaz, V. M. E., Villa, P. y Frías, A. 2002.** Evaluación de la producción de sideróforos por *Pseudomonas aeruginosa*. Título original: *Evaluation of the siderophores production by Pseudomonas aeruginosa*. Rev. Latinoam. Microbiol. 2002; 44 (3-4): 112-117
- DEA (Diccionario de Especialidades Agroquímicas). 2003.** Editorial Thomson. pp. 1386-1387, 1399-1400.
- Early, K. D. 1986.** Cultivo y usos del amaranto en dos centros de domesticación: México y Perú. *In: V Congreso Internacional de Sistemas Agropecuarios Andinos*. Puno, 1 al 14 de marzo. PISA, IID CANADA. Puno Perú.
- Ellis, B. E. y Armhein, N. 1971.** The "NIH-shift" during aromatic ortho-hydroxylation in higher plants. *Phytochemistry* 10:3069-3072.
- Ernst, W. H., Verkleij, J. y Schat, W. 1992.** Metal tolerance in plants. *Acta Botanica Netherland*. 41: 229-248.
- Espitia, R. E. 1987.** Caracterización y evaluación preliminar de germoplasma de *Amaranthus* spp. *In: Coloquio Nacional del Amaranto*. Memoria. 13 al 15 de agosto de 1987. Querétaro, Qro. pp. 122.
- Espitia, R. E. 1992a.** Amaranth germplasm development and agronomic studies in Mexico. *Food Review International*. 6: 71-86.
- Espitia, R. E. 1992b.** Razas mexicanas de amaranto. *In: F. Castillo G. y M. Livera M. (comp.). Resúmenes del XVI Congreso Nacional de citogenética*. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. pp. 669.
- Espitia R. E. 1994.** Breeding of grain amaranth. *In: O. Paredes-López (ed.). Amaranth. Biology, Chemistry and Technology*. CRC Press. Boca Raton. FL, USA. pp. 23-38.
- Feine, L. B. 1980.** A provisional key to some edible species of the family Amaranthaceae. *In: Proceedings of the Second Amaranth Conference, 1979*. Rodale Press. Emmaus, PA, USA. pp. 165-169.
- Forthoffer, N., Helvig, C., Dillon, N., Benveniste, I., Zimmerlin, A., Tardif, F. y Salaún, J. P. 2001.** Induction and inactivation of a cytochrome P450 conferring herbicide resistance in wheat seedlings. *European Journal of Drug Metabolism and Pharmacokinetics*. 26 (1):9-16.
- García P. R. y Larque S. A. 1981.** El efecto de los salicilatos en la maduración fisiológica del jitomate *Lycopersicon esculentum* Mill. *Agrociencia* 44:7-15.

- González, Z. L. y Orozco, S. A. 1996.** Métodos de análisis de datos en la germinación de semillas, un ejemplo: *Manfreda brachystachya*. Boletín de la Sociedad Botánica de México 58: 15-30.
- Granados, S. D. y López R. G. F. 1986.** Chinampas: historia etnobotánica de la "alegría" (*Amaranthus hypochondriacus* L.), domesticación de verdolaga (*Portulaca oleracea* L.) y romerillo (*Suaeda difusa* Wats). In: A. Trinidad S., F. Gómez L. y G. Suárez R. (comp.). Memoria del Primer Seminario Nacional del Amaranto. El Amaranto *Amaranthus* spp. (Alegría) su Cultivo y Aprovechamiento. CP-CONACYT. Chapingo, México. pp. 23-55.
- Grubben, G. J. 1979.** Cultivation methods and growth analysis of vegetable amaranth, with special reference to South-Benin. In: Proceeding of the Second Amaranth Conference, Rodale, Pennsylvania. pp. 63-73.
- Grubben, G. y Daloz, C. 1980.** Draft report of the meeting on germplasm of vegetable amaranth at Kutztown. In: Proceedings of the Second Amaranth Conference, 1979. Rodale Press. Emmaus, PA, USA. pp. 161-164.
- Ginocchio, R. y Narváez, J. 2002.** Importancia de la forma química y de la matriz del sustrato en la toxicidad por cobre en *Noticastrum sericeum* (Less.) Less. Ex Phil. Revista Chilena de Historia Natural. 75: 603-612.
- Gutiérrez, C. M. A. 1997.** Reguladores de crecimiento XIII. Estudio de AS en soya, algodónero y tabaco. Tesis de doctorado en ciencias. Colegio de Postgraduados. pp 174.
- Hagood, S. 1997.** Classification and comparisons of the major group of herbicides based on their mode of action. Dpt. of Plant Pathology, Physiology and Weed Science. En línea: www.ento.vt.edu
- Hansch, C., Anderson, S. 1967.** The effect of intramolecular hydrogen bonding on partition coefficients. J. Org. Chem. 32: 2583-2586.
- Harper, J. L. 1977.** Population Biology of Plants. Academic Press, New York.
- Harborne, J. B. 1984.** Phytochemical Methods. Chapman and Hall. 2d. ed.
- Harrington, J. F. 1959.** Secado, almacenaje y empaque de semillas para mantener germinación y vigor. In: Short course for seedsmen. University of Cal. Davis, Cal. USA.
- Hauptli, H. 1977.** Agronomic potential and breeding strategy for grain amaranth. In: Proceedings of the First Amaranth Seminar. Rodale, Maxatawny, Pennsylvania, pp. 71-78.

- Hauptli, H. y Jain, S. K. 1978.** Amaranth and meadow foam two new crops. California Agriculture. 31 (9):6-7
- Heap, I. 2000.** International survey of herbicide-resistant weeds. Classification of herbicides by mode of action. www.weedscience.com.
- Heredia, A. S. 2006.** Experimentos de química recreativa con sulfato de cobre pentahidratado. Rev. Eureka Enseñanza, divulgación científica. 3(3), pp. 467- 484. En línea en: <http://www.apac-eureka.org/revista/>
- Herrera, G. F. 1997.** Germinación y desarrollo de plántulas de *Kochia scoparia* L. Schrad en soluciones salinas. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Especialista en Edafología. Montecillo, México. pp. 47.
- Howell, C. R. y R. D. Stipanovis. 1980.** Suppression of *Phytophthora ultimum* induced damping-off cotton seedlings by *Pseudomonas fluorescens* and its antibiotics, pyoluteorin. Phytopathology. 70: 712-715.
- Hsu F. y Kleier D. M. 1990.** Phloem mobility of xenobiotics 111. Sensitivity of unified model to plant parameters and application to patented chemical hybridizing agents. Science 38:315-323.
- Huang, P. Ch. 1980.** A study of the taxonomy of edible amaranth: an investigation of amaranth both of botanical and horticultural characteristics. In: Proceedings of the Second Amaranth Conference, 1979. Rodale Press. Emmaus, PA, USA. pp. 142-150.
- Irving, W., Betschart, A. A. y Saunders, R. M. 1981.** Morphological studies on *Amaranthus cruentus* J. Food Science 46:1170-1174.
- ISTA. International Seed Testing Association. 1985.** International Rules for Seed Testing. Rules 1985. Seed Science Technology 13: 299-355.
- ISTA. (International Seed Testing Association). 1999.** International Rules for Seed Testing. Seed Sci. and Tech. 27 supplement.
- Jianhua, Z. and M. B. McDonald. 1997.** The saturated accelerated aging tests for small-seeded crops. Seed Sci. and Technol. 25 (1):123-131.
- Jiménez, C. M. 1992.** Mantenimiento de germoplasma de *Solanum tuberosum* in vitro empleando ácido acetil salicílico. Tesis de licenciatura en biología. Facultad de ciencias. UNAM, México. pp 80.

- Karssen, C. M., Haigh, A., Toorn, P. V. D. y Weges, R. 1989.** Physiological mechanisms involved in seed priming. *In*: R. B. Taylorson (ed.) Recent Advances in the Development and Germination of Seeds. Plenum Press. New York, EE. UU. pp. 269-280.
- Kermode, A. R. 1995.** Regulatory mechanisms in the transition from seed development to germination: interactions between the embryo and the seed environment. *In*: Kigel, J. y G. Galili (eds.), Seed Development and Germination. Marcel Dekker, Inc. New York, N. Y. EE. UU. pp. 273-332.
- Khan, W., Prithviraj, B. y Smith, D. L. 2003.** Photosynthetic responses of corn and soybean to foliar application of salicylates. *Journal of Plant Physiology*, 160:485-492.
- Kidway, A. 1969.** Nutritive value of some common plants. *Journal of Biochemistry*. 2: 28-32.
- Kimura, Y., Takesake, K. Takahashi, Y. y Tamura, S. 1976.** Isolation, Identification and biological activities of growth inhibitors in peanut. *Agr. Biol. Chem.* 40:126-128.
- Kittel, C. 1998.** Introducción a la Física del Estado Sólido. Barcelona. Editorial Reverté.
- Kleczkowski, K. y Schell, J. 1995.** Phytohormone conjugates: nature and function. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 14, 4:283-298.
- Klessig D. F. y Malamy, J. 1994.** The salicylic acid signal in plants. *Plant molecular biology* 26: 1439-1458.
- Kohashi, S. J. 1956.** Herbicidas selectivos en zanahoria. (ensayo preliminar con algunos derivados del petróleo). Tesis profesional. Universidad Autonoma de Chapingo. Chapingo, Mex. Pp. 3.
- Lambers, H., Chapin, F. S. y Pons, T. L. 1998.** *Plant Physiological Ecology*. Springer-Verlag, Berlin, Germany. 506 pp.
- Larqué-Saavedra, A. 1979.** Stomatal closure in response to acetyl salicylic acid treatment. *Physiol. Plant.* 93: 371-375.
- Leasch, N., W., Kaiser y Urbach. 1979.** Effects of disalicydenepropanediamines on photosynthetic electron transport of isolated spinach chloroplasts. *Plant Physiol.* 63:605-608.
- López, D. H. A. 1987.** Efecto del ácido acetil salicílico en el crecimiento de yemas de *Solanum cardiophyllum* (Lindl) cultivadas *in vitro*. Tesis maestro en ciencias. Instituto de genética colegio de postgraduados, montecillo, edo. De Mèx. Pp. 82.

- MacClung de T., E. J. González, E. Ibarra y J. Zurita. 1997.** Metodología para el estudio de restos arqueológicos de *Amaranthus* spp. En: Primer Congreso Internacional del Amaranto. 22-27 de Septiembre. Oaxtepec, Morelos. México. p. 20.
- Mapes, S. C. y Bye, R. 1991.** El amaranto como “quelite” en México: comparación de estrategias de domesticación. *In:* Primer Congreso Internacional del Amaranto. PUAL-UNAM. Oaxtepec, Morelos, México. pp. 29.
- Mapes, S. E. C. 1997.** Etnobotánica del “quintonil” conocimiento, uso y manejo de *Amaranthus* spp. en México. Tesis de Doctor en Ciencias en Biología. Facultad de Ciencias. UNAM. México, D.F.
- Márquez, R. R., Reyes, P. A. y Sánchez, A. S. 1995.** Evaluación de cuatro genotipos de amaranto (*A. hypochondriacus* y *A. cruentus*) en seis épocas de siembra en Xocoyucan, Tlaxcala. Tesis Profesional. Instituto Tecnológico Agropecuario No. 29. Xocoyucan, Tlaxcala. 154 p.
- Martín, F. W. y Telek, L. 1979.** Vegetables for the hot, humid tropics. Part. 6. *Amaranthus* and *Celosia*. United States Department Agriculture. New Orleans, LA, USA.
- Martínez, G. A. 1996.** Diseños Experimentales: métodos y elementos de teoría. Edit. Trillas. México. 756 p.
- Mayer, A. M. y Poljakoff, A. M. 1978.** The Germination of Seeds. 2ª ed. Pergamon, Press, Inc. New York, N. Y. EE. UU. 192 p.
- Merck y Co. Inc. 1976.** The Merck index. An encyclopedia of chemicals and drugs. Merck and Co. Inc. USA. Pp. 114.
- Metraux, J. P. 2002.** Recent breakthroughs in the study of salicylic acid biosynthesis Trends in Plant Science. <http://plants.trends.com>.
- Moreno, M. E. 1984.** Análisis físico y biológico de semillas agrícolas. Instituto de Biología de la UNAM. Ciudad Universitaria. Primera edición. México, D.F. pp. 222-229.
- National Research Council. 1984.** Amaranth. Modern Projects for an ancient Crop. National Academy Press Washintong, D. C. p. 80-81.
- Neilands, J. B. 1981.** Microbial iron compounds. Ann. Rev. Biochem. 50: 715-731.
- Nieto. R. A. 2005.** Estructura y fisiología de las semillas. Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Fitotecnia. Academia de Fisiología vegetal. Chapingo, México. pp. 13-30.

- Okuno, K. y Sakaguchi. 1981.** Glutinous and non-glutinous starches in persiperm of grain amaranth. *Cereal researches communications*. 9(4):305-310.
- Oota, Y. 1977.** Renoval by chemical of photoperiodic Light requeriment of *Lemma gibba* G. *Plant and Cell Physiol.* 18:95-105.
- Otiniano, V. J. R. 2003.** Estudio de la capacidad del ácido sulfosalicílico para inducir el proceso de tuberización en *Solanum tuberosum* L. Tesis de Maestro en Ciencias. Montecillo, Texcoco, Estado de México. 99 p.
- Páez, M. E. 1991.** Efecto de dos tratamientos de imbibición aplicados a la semilla sobre la producción del ajonjolí (*Sesamum indicum* L.). *Bioagro* 3(2): 56-59.
- Pal, M. 1972.** Evolution and improvement of cultivated *Amaranthus* L. Breeding system and inflorescence structure. *Proceeding of the Indian National Science Academy*, 38 B (1 & 2): 28-37
- Paredes, L. O., Barba de la Rosa, A. P., Hernández, D. y Carabez, A. 1995.** Amaranto. *Características alimentarias y aprovechamiento agroindustrial*. Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos. Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico. Washington, D.C.
- Pancheva, T. V., Popota, L. P. y Uzunova, A. N. 1996.** Effects of salicylic acid growth and photosynthesis in barley plants. *J. Plant Physiol.* 149: 57-63.
- Peña, P. R. y López, P. J. 1997.** La técnica generada para el cultivo de amaranto en el I.T.A. No. 29 de Xocoyucan, Tlaxcala. p. 5.
- Peña, V. C. B.; Garcia, H. E. del R.; Bernal, L. I.; Aguirre, R. J. R. 1999.** Seed quality of wild and domesicated common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) after storage. *Interciencia* 24(1):8-13 y 79-80.
- Peretti A. 1994.** Manual para análisis de semillas. Ed. Hemisferio sur. Buenos Aires, Argentina.
- Pérez, A. J. y Kogan, M. A. 2006.** Resistencia de malezas a herbicidas. Informe del departamento de ciencias vegetales. pp. 4-9.
- Pollock, B. M. y Ross, E. E. 1972.** Seeds and Seedling Vigour. *In: Seed Biology*. Kozlowski (ed). Vol. I: 313-380.
- Pradeau, D. 2001.** Análisis Químicos Farmacéuticos de Medicamentos. Edit. UTEHA-Noriega. pp. 965 y 978.

- Price, M. y Berkelaar D. 2006.** ECHO Notas de Desarrollo. El grano de amaranto. Julio 2006, Num. 91. North Ft. Myers, FL. USA. pp. 1-6.
- Radosevich, S. R., Holt, J. S., y Ghera, C. 1997.** Weed ecology: implications for management. 2nd ed. John Wiley. New York, NY, USA.
- Ramírez, M. E. 2003.** Comportamiento de la germinación a diferentes temperaturas en variedades de amaranto (*Amaranthus* spp.). Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados. p. 85.
- Ramírez, V. M. L. 2005.** Efecto del crecimiento determinado e indeterminado en la calidad de la semilla en amaranto (*Amaranthus hypochondriacus* L.) Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo. de Méx. 76 p.
- Ramon, J. V. 2001.** Estudio de la germinación y desarrollo de palma camedor (*Chamaedorea elegans* Mart.) bajo condiciones controladas. Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados. pp. 9-10.
- Raskin, I., Turner, I. M. y Melander W. R. 1989.** Regulation of heat production in the inflorescences of arum lily by endogenous salicylic acid. Proc. Nat. acad. Sci. USA. 86:2214-2218.
- Raskin, I. A. E., Melander, W. R., y Meeuse, B. J. D. 1987.** Salicylic acid: a natural inducer of heat production in *Arum lilies*. Science 237: 1601-1602.
- Razz, R. y Clavero, T. 1996.** Métodos de escarificación en semillas de *Humboldtiella ferruginea* y *Leucaena leucocephala*. Rev. Fac. Agron. (LUZ): 1996,13:73-77.
- Rebolledo, R. H. H. 1999.** SAS en microcomputadora. Análisis estadístico de datos experimentales. Universidad Autónoma Chapingo. Depto de Suelos. Area de Fertilidad. México.
- Reyna, T. T. 1984.** Requerimientos agroclimáticos para la caracterización del cultivo de amaranto (*Amaranthus* spp.) en México. Memoria del Primer seminario del amaranto. Vol. I. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. pp. 81-89.
- Rendón, S. L. A. 1983.** Control hormonal de la abscisión de órganos reproductivos de *Phaseolus vulgaris* cv. Cacahuete-72. Tesis de maestría en ciencias. Instituto de Genética. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. Pp. 151.
- Reséndiz, P. M. L. 1999.** Efecto de ácido salicílico en el crecimiento de cebolla, ajo, lechuga, zarzamora y frambuesa. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias UNAM. pp. 58.

- Robles, S. R. 1995.** Diccionario Genético y Filogenético. Ed. Trillas. México, D.F. pp. 85.
- Rodríguez, H. A., Toro, L. y Arteaga, M. L. 2005.** Efectos del herbicida pendimethalin sobre germinación y plántulas de sorgo granífero (*Sorghum bicolor* L.). *Agronomía Tropical*. 36 (1-5): 111-117.
- Rodríguez, S. E. J.; I. B. Calon; J. R. Cruz y C. J. Badillo. 1984.** Hydration and cooking properties of dry beans. *Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico* 68 (3): 259-267.
- Rodríguez, S. F. 1982.** Fertilizantes. *Nutrición Vegetal*. A. G. T. Editor, S. A. pp. 97.
- SAGARPA, 2003.** Anuario Estadístico de la Producción Agrícola de los Estados Unidos Mexicanos 1999. Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera. México.
- Salazar M. y C. G. Carrillo. 2000.** Evaluación de los ácidos: salicílico, acetilsalicílico y sulfosalicílico en diferentes fenómenos biológicos en vitroplantas de (*S. tuberosum* L.). *Ciencias Agrarias*. UAEM. 13:22-25.
- Salisbury, F. y Ross, C. 1991.** *Plant Physiology*. Brooks Cole. 4ª edición. 682 p.
- San Miguel, R., Gutiérrez, M. y Larqué, S. 2003.** Salicylic acid increases the biomass accumulation of *Pinus patula*. *Suthern Journal Forestry*. 27 1:52-54.
- Saunders, R. M. y Becker, R. 1983.** Amaranthus: a potential food and feed resource. *In: Y. Pomeranz (ed.) Advances in Cereal Science and Technology*. American Association of Cereal Chemistry. St. Paul, MN, USA. pp. 357-396.
- Sauer, J. D. 1967.** The grain amaranths and their relatives: a revised taxonomic and geographic survey. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 54 (2):103-137.
- Secretaría de Desarrollo Rural del Estado de Puebla (SDR). 2007.** Monografía de la Cadena Agroalimentaria de Amaranto. Dirección Agrícola 2005-2011.
- Sistema Producto Amaranto. 2007.** Plan Rector. 41 p. En línea: www.sistemaproductoamaranto.com.pdf

- Smith, B. J., Marois, E. J., Huguet, L. S., Midland, J., Simis, J. y Noel, T. K. 1998.** Accumulation of salicylic acid on 4-hidroxibenzoic acid in phloem fluids of cucumber during systemic acquired resistance is preceded by a transient increase in phenylalanine ammonia-lyase activity in petioles and stems. *Plant Physiology*. 116:231-238.
- Suárez, R. G. 1981.** Depósito de taninos en la testa de *Amaranthus hypochondriacus* L. (Alegria) Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 82 p.
- Suárez, R. G., Márquez, G. J. y Martínez, M. A. 1991.** Ontogenia de la semilla de *Amaranthus hypochondriacus* L. (alegría) p.26. *In:* Primer Congreso Internacional del Amaranto. PUAL-UNAM. Oaxtepec, Morelos, México.
- Tabuada, S. M. 1999.** Amaranto (*Amaranthus cruentus* L. y *Amaranthus hypochondriacus* L.) *In:* Cultivos Alternativos: Una opción alimentaria. Programa de Capacitación y Extensión de la Alianza para el Campo. Secretaria de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural (SAGAR). Cuernavaca, Morelos, México. pp. 11-25.
- Taiz y Zeiger. 2002.** *Plant Physiology*. Sinauer Associates. E.U.A. pp. 303-307.
- Taylor, A. G. 1988.** Susceptibility of semi-hard snapbean seeds to imbibitional chilling injury. *HortScience* 23 (3):813.
- Teutonico, R. A. y Knorr, D. 1985.** Amaranth composition, properties, and applications of a rediscovered. *Food Technology* 4:49-60.
- Transue, D. K., Fairbanks, D. J., Robinson, L. S. y W. R. Anderson. 1994.** Plant Genetic resource. *Crop. Sci.* 34: 1385-1389.
- Trinidad, S., A., Medina, E. K. D. y Vera, F. M. 1986.** Utilización de fertilizantes en el cultivo de amaranto (*Amaranthus* spp). *In:* A. Trinidad S., F. Gómez L. y G. Suárez R. (comp.). Memoria del Primer Seminario Nacional del Amaranto: El Amaranto *Amaranthus* spp. (Alegria), su Cultivo y Aprovechamiento. CP-CONACYT. Chapingo, México. pp. 110-117.
- Velásquez, M. I. 1990.** Cambio en la concentración de betacianinas bajo estrés hídrico y salino de *Amaranthus* sp. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. UNAM. México, D.F.
- Vera, M. F. 1986.** Densidades de población y fertilización con nitrógeno y fósforo en el cultivo de amaranto (*Amaranthus cruentus* L.). Aprovechamiento de su biomasa como recurso forrajero. Tesis de Maestría en Ciencias. Especialidad en Edafología. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.

- Villarias, M. J. L. 1981.** Guía de Aplicación de Herbicidas. Control de malas hierbas. Volumen II. Ed. Mundi-Prensa. España. pp. 348-355, 587-594.
- Villaseñor, M. H. E. 1984.** Factores genéticos que determinan el vigor en plántulas de maíz. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 149 p.
- Weber, L. E. 1987.** Grain amaranth germplasm development by the Rodale Research Center. pp. 89-97. *In:* Reyna, T. T., Suárez, G. R., Cervantes, S. J. M. (eds.) Memorias del Coloquio Nacional del Amarantho. Instituto de Desarrollo Estatal para la acción Social del Gobierno del Estado de Querétaro, Querétaro, México.
- Weissman, G. 1991.** Aspirin. *Sci. Am.* January: 58-64.
- Werck, R., D., Hehn, H. y Didierjean, L. 2000.** Cytochromes P450 for engineering herbicide tolerance. *Trends Plant Science.* 5:116-123.
- Werker, E. 1980.** Seed dormancy as explained by the anatomy of embryo envelopes. *Israelite Journal of Botany* 29:22-44.

Páginas de Internet consultadas:

1. <http://www.latinsalud.com> (consultada el día 4 de julio de 2006).
2. <http://www.nefro.cl/pt.doc> (consultada el día 25 de julio de 2006).
3. <http://es.wikipedia.org> (consultada el día 16 de noviembre de 2006).
4. www.inia.org.uy/publicaciones (consultada el día 13 de abril de 2007).
5. <http://fbio.uh.cu> (consultada el día 10 de agosto de 2007).

Apéndice

	Página
A-1 Lista de productos químicos utilizados.....	173
A-2 Preparación de soluciones de herbicidas.....	175
A-3 Preparación de soluciones de AAS, AS, ASS y 2,4-D.....	176
A-4 Preparación del medio de cultivo B de King.....	177
A-5 Ejemplo de un análisis factorial 6 x 6 en SAS para el porcentaje de germinación total en presencia de soluciones de herbicidas	178
A-6 Ejemplo de un análisis con diseño completamente al azar en SAS para el porcentaje de germinación total en presencia de soluciones de herbicidas.....	184

APÉNDICE

A-1 Lista de productos químicos utilizados

1. Nombre comercial del producto: Doble Super

Casa: Syngenta.

Principio activo: Paraquat + diquat

Herbicida en solución acuosa

Composición porcentual

Ingrediente activo (i.a.):

PARAQUAT. Sal dicloruro o sal dimetil sulfato

del ión 1,1'-dimetil-4,4' apostrofe del ión Bipyridilina (equivalente a 100 g de i.a. por litro)

DIQUAT: 1,1' etilen 2,2' del ión Bipyridilium (equivalente a 100 g de i.a. por litro)

Ingredientes inertes: diluyente, humectante, y estabilizador.

Moderadamente tóxico

2. Nombre comercial del producto: Hierbamina Comercial

Casa: Syngenta.

Grupo químico: fenoxi acetamida

Herbicida agrícola, hormonal.

Ácido 2,4-D.

*Composición porcentual

Ingrediente activo:

Ácido 2,4-D; sal dimetil amina del ácido 2,4-Diclorofenoxiacético con un contenido de ácido 2,4-D no menor de 83%.

(Equivalente a 479 g de i.a. por litro)

Ingredientes inertes: Disolvente, humectante, secuestrante y compuestos relacionados.

3. Nombre comercial del producto: Ácido 2,4-D

Peso molecular: 221

De la casa Nutritional Biochemicals Corporation (NBC),

Presentación 100 g for Chemical Purposes. Cleveland, Ohio.

4. Nombre comercial del producto: AAS

$C_9H_8O_4$

Peso molecular: 180.2

De la casa SIGMA

5. Nombre comercial del producto: AS

$C_7H_6O_3$ nombre químico: ácido 2-hidroxibenzoico

Peso molecular: 138.1

De la casa SIGMA

6. Nombre comercial del producto: ASS

Peso molecular: 254.22

$C_7H_6O_6S \cdot 2H_2O$ ácido 5-sulfosalicílico (dihidratado)

7. Nombre comercial del producto: $CuSO_4$

$CuSO_4 \cdot 5 H_2O$

Peso molecular: 249.69

De la casa J. T. Baker

A-2 Preparación de soluciones de herbicidas

Las soluciones de herbicidas utilizadas se consignan en el cuadro que sigue:

Cuadro 33. Concentraciones utilizadas de herbicidas Doble Super y Hierbamina Comercial.

Solución	Concentración
1	0.1 mL de herbicida Doble Super en 10 mL de agua (10 $\mu\text{L}/\text{mL}$)
2	1 mL de solución 1 en 10 mL de agua (1 $\mu\text{L}/\text{mL}$)
3	6 mL de solución 2 en 10 mL de agua (0.6 $\mu\text{L}/\text{mL}$)
4	1 mL de solución 3 en 10 mL de agua (0.06 $\mu\text{L}/\text{mL}$)
5	1 mL de solución 4 en 10 mL de agua (0.006 $\mu\text{L}/\text{mL}$)

A-3 Preparación de soluciones de AAS, AS, ASS y 2,4-D

AAS

180.2 - 1000 mL - 1 M

X – 10 mL - 1.35×10^{-5}

X=2.5 mg de AAS agregados en un vaso de precipitado y disuelto con 2 gotas de NaOH 1 N.

AS

138.1 - 1000 mL - 1 M

X – 10 mL - 1.35×10^{-5}

X=2 mg de AS agregados en un vaso de precipitado y disuelto con 2 gotas de NaOH 1 N.

ASS

254.22 - 1000 mL - 1 M

X – 10 mL - 1.35×10^{-5}

X=3.5 mg de ASS agregados en un vaso de precipitado y disuelto con 2 gotas de NaOH 1 N.

2,4-D

221 - 1000 mL - 1 M

X – 10 mL - 1.35×10^{-5}

X= 3 mg de 2,4-D disueltos en 10 mL de agua destilada.

A-4 Preparación del medio de cultivo B de King

El medio se preparó con agua destilada. En un matraz Erlenmeyer se agregaron las sustancias necesarias para preparar medio litro de medio (Cuadro 34). Se le adiciona el agua (500 mL). La boca del matraz se cubrió con un tapón de algodón y un capuchón de papel y el medio se esterilizó en una autoclave a 1.05 Kg/cm^2 durante 15 minutos; posteriormente frente a un mechero se le agregan las soluciones estériles y enseguida se vierte en cajas de Petri de vidrio estériles (100 x 15 mm) un volumen de 25 mL aproximadamente por caja. Se deja reposar hasta que se solidifique el medio. Para el caso del medio líquido se preparo sin agar.

Cuadro 34. Sustancias utilizadas para la preparación de medio de cultivo B de King.

Agua	1 Litro*
Caseína	15 g
Glicerol	10 mL
K_2HPO_4	1.5 g
Agar	18 g (Merck)
Adicionar 6 mL de MgSO_4 1 M (Solución estéril)	1.8 mL

*Cantidades para preparar un litro.

A-5 Ejemplo de un análisis factorial 6 x 6 en SAS para el porcentaje de germinación total en presencia de soluciones de herbicidas

Factor A: soluciones químicas
 Factor B: variedades

```

DATA AMARANTO;
INPUT A B REPET Y;
CARDS;
1      1      1      95
1      1      2      97
1      1      3      100
1      2      1      83
1      2      2      85
1      2      3      87
1      3      1      90
1      3      2      80
1      3      3      83
1      4      1      96
1      4      2      99
1      4      3      97
1      5      1      92
1      5      2      91
1      5      3      87
1      6      1      96
1      6      2      95
1      6      3      95
2      1      1      56
2      1      2      76
2      1      3      50
2      2      1      17
2      2      2      11
2      2      3      15
2      3      1      28
2      3      2      27
2      3      3      20
2      4      1      25
2      4      2      28
2      4      3      41
2      5      1      74
2      5      2      60
2      5      3      68
2      6      1      60
2      6      2      58
2      6      3      58
3      1      1      66
3      1      2      74
3      1      3      68
3      2      1      42
3      2      2      40
3      2      3      45
3      3      1      44
3      3      2      40
3      3      3      55
3      4      1      45
3      4      2      49
3      4      3      55
  
```

3	5	1	71
3	5	2	76
3	5	3	71
3	6	1	78
3	6	2	69
3	6	3	70
4	1	1	100
4	1	2	100
4	1	3	100
4	2	1	81
4	2	2	90
4	2	3	86
4	3	1	87
4	3	2	79
4	3	3	86
4	4	1	95
4	4	2	98
4	4	3	93
4	5	1	85
4	5	2	82
4	5	3	88
4	6	1	92
4	6	2	90
4	6	3	95
5	1	1	100
5	1	2	100
5	1	3	88
5	2	1	84
5	2	2	85
5	2	3	84
5	3	1	81
5	3	2	77
5	3	3	86
5	4	1	89
5	4	2	71
5	4	3	100
5	5	1	79
5	5	2	80
5	5	3	90
5	6	1	85
5	6	2	95
5	6	3	97
6	1	1	98
6	1	2	94
6	1	3	100
6	2	1	78
6	2	2	83
6	2	3	85
6	3	1	73
6	3	2	79
6	3	3	78
6	4	1	94
6	4	2	96
6	4	3	100
6	5	1	70
6	5	2	79
6	5	3	88
6	6	1	89
6	6	2	91
6	6	3	99

```

PROC PRINT;
PROC GLM;
CLASS A B REPET;
MODEL Y=A B A*B;
MEANS A/TUKEY;
MEANS B/TUKEY;
MEANS A*B/TUKEY;
RUN;

```

Procedimiento GLM

Información de nivel de clase

Clase	Niveles	Valores
A	6	1 2 3 4 5 6
B	6	1 2 3 4 5 6
REPET	3	1 2 3

Número de observaciones leídas 108
Número de observaciones usadas 108

Procedimiento GLM

Variable dependiente: Y

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	35	51029.00000	1457.97143	47.79	<.0001
Error	72	2196.66667	30.50926		
Total correcto	107	53225.66667			

R-cuadrado 0.958729 Coef Var 7.230788 Raiz MSE 5.523519 Y Media 76.38889

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
A	5	37786.00000	7557.20000	247.70	<.0001
B	5	7091.66667	1418.33333	46.49	<.0001
A*B	25	6151.33333	246.05333	8.06	<.0001

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
A	5	37786.00000	7557.20000	247.70	<.0001
B	5	7091.66667	1418.33333	46.49	<.0001
A*B	25	6151.33333	246.05333	8.06	<.0001

Sistema SAS

Procedimiento GLM

Prueba del rango estudentizado de Tukey (HSD) para Y

NOTA: Este test controla el índice de error experimentwise de tipo I, pero normalmente

tiene un índice de error de tipo II más elevado que REGWQ.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	72
Error de cuadrado medio	30.50926
Valor crítico del rango estudentizado	4.14063
Diferencia significativa mínima	5.3907

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Tukey Agrupamiento	Media	Número de observaciones	A
A	91.556	18	1
A	90.389	18	4
A	87.444	18	6
A	87.278	18	5
B	58.778	18	3
C	42.889	18	2

Procedimiento GLM

Prueba del rango estudentizado de Tukey (HSD) para Y

NOTA: Este test controla el índice de error experimentwise de tipo I, pero normalmente

tiene un índice de error de tipo II más elevado que REGWQ.

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	72
Error de cuadrado medio	30.50926
Valor crítico del rango estudentizado	4.14063
Diferencia significativa mínima	5.3907

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Tukey Agrupamiento	Media	Número de observaciones	B
A	86.778	18	1
B A	84.000	18	6
B C	79.500	18	5
C	76.167	18	4
D	66.278	18	3
D	65.611	18	2

Sistema SAS
Procedimiento GLM

Nivel de A	Nivel de B	Número de observaciones	-----Y----- Media	Desviación estándar
1	1	3	97.333333	2.5166115
1	2	3	85.000000	2.0000000
1	3	3	84.333333	5.1316014
1	4	3	97.333333	1.5275252
1	5	3	90.000000	2.6457513
1	6	3	95.333333	0.5773503
2	1	3	60.666667	13.6137186
2	2	3	14.333333	3.0550505
2	3	3	25.000000	4.3588989
2	4	3	31.333333	8.5049005
2	5	3	67.333333	7.0237692
2	6	3	58.666667	1.1547005
3	1	3	69.333333	4.1633320
3	2	3	42.333333	2.5166115
3	3	3	46.333333	7.7674535
3	4	3	49.666667	5.0332230
3	5	3	72.666667	2.8867513
3	6	3	72.333333	4.9328829
4	1	3	100.000000	0.0000000
4	2	3	85.666667	4.5092498
4	3	3	84.000000	4.3588989
4	4	3	95.333333	2.5166115
4	5	3	85.000000	3.0000000
4	6	3	92.333333	2.5166115
5	1	3	96.000000	6.9282032
5	2	3	84.333333	0.5773503
5	3	3	81.333333	4.5092498
5	4	3	86.666667	14.6401275
5	5	3	83.000000	6.0827625
5	6	3	92.333333	6.4291005
6	1	3	97.333333	3.0550505
6	2	3	82.000000	3.6055513
6	3	3	76.666667	3.2145503
6	4	3	96.666667	3.0550505
6	5	3	79.000000	9.0000000
6	6	3	93.000000	5.2915026

A-6 Ejemplo de un análisis con diseño completamente al azar en SAS para el porcentaje de germinación total en presencia de soluciones de herbicidas

DATA AMARANTO;
INPUT A B REPET Y;
CARDS;

1	1	1	95
1	1	2	97
1	1	3	100
1	2	1	83
1	2	2	85
1	2	3	87
1	3	1	90
1	3	2	80
1	3	3	83
1	4	1	96
1	4	2	99
1	4	3	97
1	5	1	92
1	5	2	91
1	5	3	87
1	6	1	96
1	6	2	95
1	6	3	95
2	1	1	56
2	1	2	76
2	1	3	50
2	2	1	17
2	2	2	11
2	2	3	15
2	3	1	28
2	3	2	27
2	3	3	20
2	4	1	25
2	4	2	28
2	4	3	41
2	5	1	74
2	5	2	60
2	5	3	68
2	6	1	60
2	6	2	58
2	6	3	58
3	1	1	66
3	1	2	74
3	1	3	68
3	2	1	42
3	2	2	40
3	2	3	45
3	3	1	44
3	3	2	40
3	3	3	55
3	4	1	45
3	4	2	49
3	4	3	55
3	5	1	71
3	5	2	76
3	5	3	71
3	6	1	78
3	6	2	69
3	6	3	70
4	1	1	100
4	1	2	100
4	1	3	100

4	2	1	81
4	2	2	90
4	2	3	86
4	3	1	87
4	3	2	79
4	3	3	86
4	4	1	95
4	4	2	98
4	4	3	93
4	5	1	85
4	5	2	82
4	5	3	88
4	6	1	92
4	6	2	90
4	6	3	95
5	1	1	100
5	1	2	100
5	1	3	88
5	2	1	84
5	2	2	85
5	2	3	84
5	3	1	81
5	3	2	77
5	3	3	86
5	4	1	89
5	4	2	71
5	4	3	100
5	5	1	79
5	5	2	80
5	5	3	90
5	6	1	85
5	6	2	95
5	6	3	97
6	1	1	98
6	1	2	94
6	1	3	100
6	2	1	78
6	2	2	83
6	2	3	85
6	3	1	73
6	3	2	79
6	3	3	78
6	4	1	94
6	4	2	96
6	4	3	100
6	5	1	70
6	5	2	79
6	5	3	88
6	6	1	89
6	6	2	91
6	6	3	99

```

PROC PRINT;
PROC GLM;
CLASS A B REPET;
MODEL Y=A B A*B;
MEANS A/TUKEY;
MEANS B/TUKEY;
MEANS A*B/TUKEY;
RUN;

```

The GLM Procedure

Información de nivel de Clase

Class	Niveles	Valores
TRAT	36	11 12 13 14 15 16 21 22 23 24 25 26 31 32 33 34 35 36 41 42 43 44 45 46 51 52 53 54 55 56 61 62 63 64 65 66
REPET	3	1 2 3

Número de observaciones 108

Análisis de varianza de los resultados obtenidos en la germinación en presencia de herbicidas.

Fuente	DF	Suma de Cuadrados	Cuadrado de la Media	F-Valor	Pr > F
Model	35	51029.00000	1457.97143	47.79	<.0001
Error	72	2196.66667	30.50926		
Corrected Total	107	53225.66667			
	R-Cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Y Media	
	0.958729	7.230788	5.523519	76.38889	

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la Media	F-Valor	Pr > F
TRAT	35	51029.00000	1457.97143	47.79	<.0001

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la Media	F-Valor	Pr > F
TRAT	35	51029.00000	1457.97143	47.79	<.0001

Tukey Grouping		Mean	TRAT
	A	100.000	41
B	A	97.333	14
B	A	97.333	11
B	A	97.333	61
B	A C	96.667	64
B	A C	96.000	51

	B		A		C		95.333	16
	B		A		C		95.333	44
	B	D	A		C		93.000	66
	B	D	A		C		92.333	46
	B	D	A		C		92.333	56
E	B	D	A		C		90.000	15
E	B	D	A		C	F	86.667	54
E	B	D	A		C	F	85.667	42
E	B	D	A	G	C	F	85.000	45
E	B	D	A	G	C	F	85.000	12
E	B	D	A	G	C	F	84.333	13
E	B	D	A	G	C	F	84.333	52
E	B	D	A	G	C	F	84.000	43
E	B	D	A	G	C	F	83.000	55
E	B	D	A	G	C	F	82.000	62
E	B	D		G	C	F	81.333	53
E		D		G	C	F	79.000	65
E		D	H	G		F	76.667	63
E			H	G		F	72.667	35
E			H	G		F	72.333	36
			H	G		F	69.333	31
I			H	G			67.333	25
I			H		J		60.667	21
I	K		H		J		58.667	26
I	K				J		49.667	34
		K	L		J		46.333	33
M	K	L					42.333	32
M		L			N		31.333	24
M					N		25.000	23
					N		14.333	22

Minimum Significant Difference 18.054
