

13
201



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

REGULADORES DEL CRECIMIENTO XIV:
EFECTO DEL ACIDO SALICILICO (AS) Y DIMETILSULFOXIDO
(DMSO), EN EL CRECIMIENTO DE ZANAHORIA, BETABEL Y
RABANO.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

BIOLOGO

P R E S E N T A :

PEDRO ARISTEO CORTES



DIRECTOR DE TESIS PROFESIONALES
DR. ALFONSO LARQUE SAAVEDRA



FACULTAD DE CIENCIAS
SECCION ECCELAR

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

264926



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

M. en C. Virginia Abrín Batule
Jefe de la División de Estudios Profesionales de la
Facultad de Ciencias
P r e s e n t e

Comunicamos a usted que hemos revisado el trabajo de Tesis:

"REGULADORES DEL CRECIMIENTO XIV: EFECTO DEL ACIDO SALICILICO (AS)
Y DIMETILSULFOXIDO (DMSO), EN EL CRECIMIENTO DE ZANAHORIA, RABANO
Y BETABEL"

realizado por PEDRO ARISTEO CORTES

con número de cuenta 8826918-4 , pasante de la carrera de BIOLOGIA

Dicho trabajo cuenta con nuestro voto aprobatorio.

Atentamente

Director de Tesis Propietario	Dr. Alfonso Larqué-Saavedra
Propietario	Biól. Mario Gutiérrez Rodríguez
Propietario	Biól. Rubén San Miguel Chávez
Suplente	Dr. Helia Reyna Osuna Fernández
Suplente	Dr. Alicia Enriqueta Brechu Franco

Alfonso Larqué-Saavedra
Mario Gutiérrez Rodríguez
Rubén San Miguel Chávez
Helia Reyna Osuna Fernández
Alicia Enriqueta Brechu Franco

Consejo Departamental de Biología

Edna M. Suárez Díaz

DRA. EDNA MARIA SUAREZ DIAZ

DEDICATORIA

En agradecimiento a mis padres por su cariño y por el apoyo recibido durante mi formación profesional.

Como un testimonio de gratitud ilimitada; a mi hija, por que su presencia ha sido y será siempre el motivo más grande que me ha impulsado para lograr esta meta; a mi esposa por su comprensión y tolerancia.

A Pachita por que nos enseñó el deseo de salir adelante y trabajar.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Alfonso Larqué-Saavedra por su apoyo en la realización del presente trabajo y por las facilidades otorgadas, por sus muestras de gentileza y amistad brindada.

Al Biólogo Mario Gutiérrez por sus sugerencias en el planeamiento y desarrollo de las investigaciones y por su gran amistad.

Al Biólogo Rubén San Miguel por el apoyo constante y decidido durante toda la presente investigación y por su gran amistad.

A las Doctoras Helia Reyna Osuna y Alicia Brechu, por sus sugerencias en la revisión del escrito final.

Al Lic. Daniel Garibay, por su ayuda para la captura de imágenes.

Al M.C. David Martínez por su amistad.

A la UNAM, mi Alma Mater, que me ha dado las facilidades para realizar mis estudios profesionales.

CONTENIDO

INDICE DE CUADROS.....	vii
INDICE DE FIGURAS.....	x
RESUMEN.....	xiii
I. INTRODUCCION.....	1
II. REVISION DE LITERATURA.....	3
2.1. Importancia de las hortalizas.....	3
2.2. Clasificación de las hortalizas.....	4
2.3. Rábano (<i>Raphanus sativus</i> L.) var Champion.....	4
2.3.1. Generalidades.....	4
2.3.2. Importancia.....	5
2.3.3. Características botánicas.....	6
2.3.4. Variedades.....	7
2.3.5. Condiciones del cultivo.....	8
2.4. Betabel (<i>Beta vulgaris</i> L) var. Fort giant.....	8
2.4.1. Generalidades.....	8
2.4.2. Importancia.....	9
2.4.3. Características botánicas.....	11
2.4.4. Variedades comerciales.....	13
2.4.5. Condiciones del cultivo.....	13
2.5. Zanahoria (<i>Daucus carota</i> L.) var. Nantes.....	14

2.5.1. Generalidades.....	14
2.5.2. Importancia.....	15
2.5.3. Características botánicas.....	16
2.5.4. Variedades.....	19
2.5.5. Condiciones del cultivo.....	19
2.6. Reguladores de crecimiento.....	20
2.7. Acido salicílico.....	20
2.7.1. Generalidades.....	20
2.7.2. Biosíntesis del ácido salicílico.....	22
2.7.3. Papel de los salicilatos en las plantas.....	22
2.7.8. Acido salicílico en otros procesos fisiológicos.....	25
2.8. Dimetilsulfóxido (DMSO).....	27
2.8.1. Características del dimetilsulfóxido.....	27
2.8.2. Efectos del dimetilsulfóxido en las plantas.....	30
III. OBJETIVOS E HIPÓTESIS.....	32
IV. EXPERIMENTO 1 “EFECTO DEL AS Y DMSO SOBRE EL CRECIMIENTO DE PLANTAS DE ZANAHORIA VAR. NANTES, BAJO CONDICIONES DE CAMPO”.....	33
4.1. Localización del experimento.....	33
4.2. Material vegetal.....	33
4.3 Tratamientos.....	33
4.4. Preparación de las Soluciones.....	34
4.5. Aplicación de soluciones.....	35

4.6. Diseño experimental.....	35
4.7. Variables estudiadas.....	35
4.8. Análisis estadístico.....	36
4.9. Resultados y discusión.....	37
4.10. Conclusiones.....	46
V. EXPERIMENTO 2: “EFECTO DEL AS Y DMSO SOBRE EL CRECIMIENTO DE PLANTAS DE BETABEL VAR. FORT GIANT, BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO”.....	47
5.1. Localización del experimento.....	47
5.2. Material vegetal.....	47
5.3. Manejo de las plantas.....	47
5.4. Tratamientos.....	48
5.5. Soluciones.....	48
5.6. Aspersiones.....	49
5.7. Diseño experimental.....	49
5.8. Variables estudiadas.....	50
5.9. Análisis estadístico.....	51
5.10. Resultados y discusión.....	51
5.11. Conclusiones.....	64
VI. EXPERIMENTO 3: “EFECTO DEL AS Y DMSO SOBRE EL CRECIMIENTO DE PLANTAS DE RABANO VAR. CHAMPION, BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO”.....	65
6.1. Generalidades.....	65
6.2. Localización del experimento.....	65

6.3. Material vegetal.....	65
6.4. Manejo de las plantas.....	65
6.5. Tratamientos.....	66
6.6. Soluciones.....	66
6.7. Aspersiones.....	67
6.8. Diseño del experimento.....	67
6.9. Variables estudiadas.....	67
6.10. Análisis estadístico.....	68
6.11. Resultados y discusión.....	68
6.12. Conclusiones.....	79
VII. DISCUSION GENERAL.....	80
VIII. CONCLUSION GENERAL.....	85
IX. BIBLIOGRAFIA.....	86

INDICE DE CUADROS

CUADRO	PAGINA
1. Valores nutritivos en 100 g de rábano.....	5
2. Valor nutricional en 100 g del hipocotilo de betabel (Watt, <i>et al.</i> , 1975.).....	10
3. Principales estados productores de betabel en México (SAGAR, 1985).....	10
4. Composición nutritiva de la zanahoria en 100 gr. de parte comestible (Watt <i>et al.</i> , 1975).....	15
5. Principales estados de la República Mexicana, productores de zanahoria. (SAGAR 1995).....	16
6. Propiedades químicas de dimetilsulfóxido (Merck, Co., 1996).....	28
7. Tratamientos aplicados a zanahoria var. 'Nantes' bajo condiciones de campo.....	34
8. Comparación de medias de la variable peso fresco de la raíz (g) en zanahoria (<i>Daucus carota</i> L.) var. Nantes, después de haber aplicado AS y DMSO, bajo condiciones de campo.....	38
9. Comparación de medias de la variable longitud de la raíz (cm) en zanahoria (<i>Daucus carota</i> L.) var. Nantes, después de haber aplicado AS y DMSO, bajo condiciones de campo.....	41
10. Comparación de medias de la variable peso fresco del vástago (g) en zanahoria (<i>Daucus carota</i> L.) var. Nantes, después de haber aplicado AS y DMSO, bajo condiciones de campo.....	43

11.	Resumen de los mejores tratamientos de los tres parámetros evaluados en zanahoria var. Nantes.....	45
12.	Tratamientos aplicados a betabel var 'Fort giant' bajo condiciones de invernadero.....	48
13.	Correspondencias en molaridad entre las concentraciones de AS+DMSO y DMSO solo.....	49
14.	Comportamiento de la clorofila <i>in situ</i> , en plantas de betabel var. Fort giant determinada posteriormente a la aplicación de las soluciones de AS y DMSO.....	52
15.	Parámetros de crecimiento (raíz y vástago), determinados posteriormente a la aplicación de DMSO y AS, en plantas de betabel var. Fort giant.....	56
16.	Diámetro polar y ecuatorial de la raíz comestible de betabel var. Fort giant, después de haber aplicado DMSO y AS, cultivada bajo condiciones de invernadero.....	61
17.	Peso seco de los parámetros de crecimiento, determinados posteriormente a la aplicación de AS y DMSO en betabel var. Fort giant.....	62
18.	Resumen de los mejores tratamientos de los tres parámetros evaluados en betabel var. Fort giant.....	63
...		
19.	Tratamientos aplicados a rábano (<i>Raphanus sativus</i> L) var. Champion bajo condiciones de invernadero.....	66
20.	Comportamiento de la clorofila <i>in situ</i> , en plantas de rábano var. Champion determinada posteriormente a la aplicación de las soluciones de AS y DMSO.....	70

21.	Parámetros de crecimiento (raíz y vástago), determinados posteriormente a la aplicación de DMSO y AS, en plantas de rábano var Champion	72
22.	Valores del diámetro polar y diámetro ecuatorial, de la raíz comestible de rábano var. Champion, posteriormente a la aplicación de DMSO y AS, bajo condiciones de invernadero.....	76
23.	Valores de peso seco de los parámetros de crecimiento determinados posteriormente a la aplicación de AS y DMSO en rábano var. Champion bajo condiciones de invernadero.....	77
24.	Resumen de los mejores tratamientos de los tres parámetros evaluados en rábano var Champion.....	78

INDICE DE FIGURAS

NUMERO	PAGINA
1. Estructura externa e interna del rábano (Guenkov, 1983).....	6
2. Estructura externa e interna de la raíz comestible de betabel (Guenkov, 1983).....	12
3. Estructura interna y externa de la zanahoria (Guenkov, 1983).....	17
4. Fórmula estructural del ácido salicílico.....	22
5. Rutas propuestas para la biosíntesis de ácido salicílico y ácido 4-hidroxibenzoico. Las enzimas que catalizan las reacciones han sido identificadas. PAL (fenil amonio-liasa), CA4H (ácido cinámico 4-hidroxilasa) y BA2H (ácido benzoico 2-hidroxilasa) (Smith <i>et al.</i> , 1998).....	23
6. Fórmula estructural del DMSO.....	28
7. Diseño experimental de bloques al azar, con 4 repeticiones para cada tratamiento en condiciones de campo para las plantas de zanahoria.....	36
8. Gráfica de peso fresco de raíz (g) de zanahoria var. Nantes, después de haber aplicado AS y DMSO bajo condiciones de campo.....	39
9. Gráfica de longitud de raíz (cm) de zanahoria var. Nantes, después de haber aplicado AS y DMSO bajo condiciones de campo.....	42
10. Gráfica de peso fresco del vástago (g) de zanahoria var. Nantes, después de haber aplicado AS y DMSO bajo condiciones de campo.....	44

11.	Gráfica de fotosíntesis en plantas de betabel var. Fort giant determinada a los 10 y 15 días posteriores a la aplicación de las soluciones de AS y DMSO.....	54
12.	Gráfica de peso fresco del vástago (g) en plantas de betabel var. Fort giant bajo condiciones de invernadero, después de haber aplicado AS y DMSO.....	55
13.	Gráfica de peso fresco de la raíz comestible en plantas de betabel var. Fort giant bajo condiciones de invernadero, después de haber aplicado AS y DMSO.....	57
14.	Gráfica de peso fresco de la raíz fibrosa (g) en plantas de betabel var. Fort giant bajo condiciones de invernadero, después de haber aplicado AS y DMSO.....	58
15.	Gráfica longitud de la raíz fibrosa (cm) en plantas de betabel var. Fort giant bajo condiciones de invernadero, después de haber aplicado AS y DMSO.....	59
16.	Gráfica de volumen de la raíz comestible (ml) en plantas de betabel var. Fort giant bajo condiciones de invernadero, después de haber aplicado AS y DMSO.....	60
17.	Gráfica de fotosíntesis en plantas de rábano var. Champion determinada a los 10 y 15 días posteriores a la aplicación de las soluciones de AS y DMSO.....	69
18.	Gráfica del peso fresco del vástago (g) en plantas de rábano var Champion bajo condiciones de invernadero, después de haber aplicado AS y DMSO.....	71
19.	Gráfica del peso fresco de raíz (g) en plantas de rábano var Champion bajo condiciones de invernadero, después de haber aplicado AS y DMSO.....	73

20. Gráfica del volumen (ml) en plantas de rábano var Champion bajo condiciones de invernadero, después de haber aplicado AS y DMSO.....74
21. Gráfica de la longitud de raíz (ml) en plantas de rábano var Champion bajo condiciones de invernadero, después de haber aplicado AS y DMSO.....75
22. Posible rol del AS y H₂O₂ en el metabolismo de las plantas.....84

RESUMEN

Actualmente el ácido salicílico, ha vuelto a ser tema de discusión, ya que recientemente se ha encontrado que ejerce numerosos efectos en el metabolismo de las plantas.

Con el fin de conocer el efecto del ácido salicílico (AS) y el dimetilsulfoxido (DMSO), sobre el crecimiento radical y aéreo así como en la clorofila y tasa de fotosíntesis, se establecieron tres experimentos utilizando plantas de rábano var. Champion, betabel var. Fort giant (condiciones de invernadero) y zanahoria var. Nantes (condiciones de campo), a los que se les asperjó foliarmente diferentes concentraciones de ácido salicílico en el rango de 10^{-10} a 10^{-4} M y dimetilsulfoxido a diferentes concentraciones en un rango de 3.77×10^{-8} a 3.77×10^{-4} M.

En los resultados de los experimentos se observó un aumento significativo en las variables estudiadas, pero cabe señalar que para cada planta se encontró una concentración de DMSO y AS óptima diferente.

En el primer experimento montado con las plantas de zanahoria var, Nantes, se observaron aumentos significativos en el crecimiento de la raíz y vástago en los tratamientos de DMSO y AS. Los mejores tratamientos de AS fueron las concentraciones 10^{-7} y 10^{-6} M, ya que estimularon el crecimiento de la raíz de zanahoria, en peso hasta 60% y longitud 15%. Estas mismas concentraciones también estimularon un mayor crecimiento del vástago hasta 57% con respecto al testigo, sobretodo en la F3 y F4 de crecimiento. En lo que respecta al DMSO, los mejores resultados se obtuvieron en la concentración 3.77×10^{-3} M; se observó un mayor desarrollo de la raíz superando en la fase final del crecimiento a los tratamientos de AS y testigo, ya que creció en peso hasta 75% y longitud hasta en 28%. En lo que respecta a la parte aérea estimulo hasta en 52%.

En el segundo experimento montado con plantas de betabel var. Fort giant, se observó que el ácido salicílico a concentraciones de 10^{-8} a 10^{-6} M, estimularon el crecimiento aéreo (14%) y radical parte comestible (15.5%) en peso y parte fibrosa (11.8%) en longitud. En clorofila *in situ* y fotosíntesis no se observaron diferencias significativas.

En éste experimento se observó que el DMSO ejerció mayor efecto que el AS en el crecimiento de las plantas de betabel. Los mejores resultados se obtuvieron en la concentración $3.7 \times 10^{-4} \text{ M}$ con un aumento en el contenido de clorofila *in situ* (16%) y superior actividad fotosintética (125%) con respecto al testigo, consiguiendo ganancias significativas en el peso del vástago (47%). También se estimulo significativamente un mayor crecimiento en todo su sistema radica parte comestible (38%) en peso y parte fibrosa (147%) en peso y (49%) en longitud con respecto al testigo.

En el tercer experimento montado con plantas de rábano var. Champion, el ácido salicílico estimuló más el desarrollo radical y aéreo que los tratamientos de DMSO y control. El AS a una concentración de 10^{-10} M , estimuló el crecimiento significativamente de la raíz (peso 210%, volumen 200% y longitud 120%) con respecto al testigo. En la tasa de fotosíntesis y clorofila *in-situ* no se encontraron diferencias significativas en los tratamientos de AS.

En los tratamientos de DMSO no se observaron diferencias significativas en todos los parámetros medidos en las plantas de rábano var. Champion, aunque cabe señalar que en general los resultados fueron siempre superiores al testigo.

1.0 INTRODUCCION

El constante aumento de la población humana y los continuos trastornos ecológicos, acentúan cada vez más la falta de alimentos, aún cuando se tienen producciones considerables. Es por eso, que surge la necesidad de buscar alternativas viables dentro de la producción de cultivos y una de ellas es el de utilizar reguladores de crecimiento en la agricultura, ya que estos ayudan a acelerar o inhibir diversos procesos fisiológicos con la finalidad de poder incrementar el rendimiento así como disminuir el ciclo agrícola en los cultivos de interés antropocéntrico. Es necesario estudiar y analizar nuevas sustancias que estimulen el crecimiento o induzcan más rápido el desarrollo de los cultivos, en especial los que están relacionados con un aumento en el crecimiento de la raíz, pues esto puede ayudar a solucionar diversos problemas, como el aumento de rendimiento, mayor captación de agua, toma de nutrimentos e incrementó de la resistencia a sequía.

Es por esto que en el presente estudio se contempló analizar el efecto del ácido salicílico (AS) y dimetilsulfóxido (DMSO) en las raíces de zanahoria, rábano y betabel, pues en nuestro país se producen estos cultivos a lo largo de todo el año, por lo que un incrementó en el crecimiento de la raíz, beneficiaría de una manera trascendente a los productores de dichas hortalizas.

El presente estudio tiene como antecedente el trabajo realizado por Gutiérrez (1997), en soya, algodónero y tabaco donde encontró que el AS, estimula fuertemente la formación de raíces hasta en un 100% a diferencia del testigo.

El ácido salicílico es un compuesto fenólico que actualmente ha sido reconocido como un regulador de crecimiento, ya que se ha observado que aplicaciones exógenas de éste compuesto en las plantas, afectan una larga variedad de procesos metabólicos.

Para tratar de explicar por qué aumenta el tamaño de las raíces se ha propuesto que el ácido salicílico estimula la formación de enzimas precursoras de auxinas como la AIA oxidasa y la polifenol oxidasa (Ling y Li, 1995), ésta formación de auxinas promueve un mayor crecimiento y desarrollo radical. Otro mecanismo que probablemente éste implicado es, que el AS modifica la concentración *in vivo* de H_2O_2 (peróxido de hidrógeno) vía catalasa, éste cambio en la concentración puede afectar la ruta de la AIA oxidasa (Zheng y Huystee, 1992; Wagner, 1995).

En cuanto al DMSO, es un compuesto que posee propiedades de un gran disolvente, se conoce muy poco acerca de su efecto como regulador del crecimiento, el único antecedente que se tiene es el aumento del rendimiento de raíces en remolacha mediante aspersiones foliares (Prik'ko et al.,1978). Generalmente se emplea para disolver la mayoría de las hormonas vegetales, en las investigaciones y en pocas ocasiones se ha analizado su efecto solitario a bajas concentraciones en las plantas, es por eso que en nuestra investigación se planteó el saber más acerca de su acción reguladora en las hortalizas.

2.0 REVISION DE LITERATURA

2.1 IMPORTANCIA DE LAS HORTALIZAS

En México las hortalizas representan un importante recurso económico y alimenticio, ya que gracias a la cantidad de microclimas existentes en el país, se pueden explotar más de 120 tipos y variedades de hortalizas.

La producción anual en 1990 se estimó en alrededor de 15 millones de toneladas, misma que se obtuvo en una superficie aproximada de 1.2 millones de hectáreas. Del volumen producido casi el 80% se destinó al mercado interno, exportándose cerca de 1,3 millones de toneladas (esto representó casi el 9%) y el resto fue para la industria y diversos usos. En términos económicos las hortalizas son cultivos de alta densidad, que generan anualmente cerca de un millón de empleos y divisas por un monto de entre 500 y 700 millones de dólares e ingresos importantes al sector agrícola nacional (SNM, 1992).

Las principales regiones productoras de hortalizas son: Sinaloa, Guanajuato, Baja California, Veracruz, Michoacán, Sonora, Tamaulipas, Puebla, Nayarit, Morelos, Guerrero, Jalisco y Colima (SAGAR, 1995).

Se ha calculado, que una cuarta parte del gasto familiar que se destina a alimentos, se realiza en hortalizas y frutas, grupo que representa uno de los elementos más importantes en términos nutricionales en la dieta de la población. El alto contenido de vitaminas, proteínas, minerales, etc., hace de éstos productos un alimento indispensable para una dieta balanceada.

Sin embargo, a diferencia de otros cultivos, como los cereales y oleaginosas, el conocimiento de los aspectos productivos y de comercialización de las hortalizas es limitado. Ello se debe en gran medida, a que son productos altamente perecederos, en los que la influencia de factores agronómicos, fitosanitarios y climatológicos determinan que su proceso de comercialización sea particularmente complejo (SNM, 1992).

2.2. CLASIFICACION DE LAS HORTALIZAS.

Todas las plantas presentan un ciclo biológico, pero en los cultivos agronómicos, se toma en cuenta el ciclo agrícola o ciclo vegetativo, que comprende desde la etapa de siembra hasta la de cosecha, ya sea de un órgano vegetativo o reproductivo con interés antropocéntrico.

Según Valadez (1990), las hortalizas las podemos clasificar según su parte comestible en :

- Hortalizas de raíz: rábano, camote, zanahoria, betabel, nabo.
- Hortalizas de hojas: lechuga, col, acelga, espinaca.
- Hortalizas de fruto: tomate, jitomate, pimiento, pepino, berenjena.
- Hortalizas de tallos: espárrago, colinabo.
- Hortalizas de flores: flor de calabaza, brócoli, alcachofa.
- Hortalizas de semillas: chicharo, maíz dulce, haba.

Existen otras clasificaciones de las hortalizas, entre las que figuran:

- Según la época de explotación.
- Tolerancia a la salinidad.
- Según su parte comestible.

De ahí que nosotros nos intereseamos en estudiar las hortalizas de raíz, en las que destacan la zanahoria, rábano y betabel, principal tema de estudio de ésta investigación.

2.3. RABANO (*Raphanus sativus* L.) var. Champion

2.3.1 Generalidades

Aunque no está bien definido el origen del rábano, la mayoría de los autores coinciden en que proviene del continente asiático y específicamente de China. Su origen se sitúa en las regiones montañosas al occidente de China (Valadez, 1990), en donde se han reportado 136 plantas endémicas de las cuales la más abundante es la del rábano, coincidiendo con Rodríguez (1976), quién también considera a China el país de donde el rábano fue llevado al Mediterráneo antes de la influencia de los griegos, y a principios del siglo XVI se introdujo al continente Americano.

En México el cultivo de rábano data de épocas muy antiguas, después de la conquista el cual se cultivaba durante todas las épocas del año a través del sistema de chinampas (Rojas, 1983).

2.3.2. IMPORTANCIA

El rábano es probablemente la hortaliza de más fácil cultivo, ya que su ciclo agronómico es sumamente corto, razón por la cual, se le encuentra generalmente, en todos los mercados y huertos familiares.

La importancia alimenticia del rábano radica en sus raíces carnosas, frescas y aromáticas, que se consumen en ensaladas, encurtidos o aperitivos.

Watt (1975), los valores nutritivos de los rábanos en 100 g de materia fresca, los podemos apreciar en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Valores nutritivos en 100 g de rábanos.

Proteínas	0.86 g	Vit. A	30 U.I *	Calcio	37 mg
Lípidos	0	Vit. B ₁	30 mcg	Fósforo	31 mg
Carbohidratos	2.44 g	Vit. B ₂	20 mcg	Hierro	1.0 mg
Calorías	14.00	Vit. C	24 mg		

* Una Unidad Internacional (U.I) de vitamina A es equivalente a 0.3 mg de vitamina A en alcohol

Además se le atribuyen propiedades medicinales, como depurativo de la sangre, antiescorbútico y diurético. El cocimiento de sus hojas mezclado con miel se recomienda para infecciones de la garganta, bronquitis, pulmones y del hígado (Rodríguez, 1976).

En México para 1995, la superficie nacional sembrada de rábano fue de 1405 hectáreas con una producción de 21,263 toneladas, donde los principales estados productores fueron: Baja California, Puebla, Jalisco, Morelos, Estado de México y el Distrito Federal (SAGAR, 1995). El Valle de México es una de las principales zonas productoras de rábano y su producción cubre las necesidades de esta hortaliza en el Distrito Federal y zonas aledañas (Méndez, 1984).

2.3.3. CARACTERISTICAS BOTANICAS.

El rábano pertenece a la familia *Cruciferae* y su nombre científico es *Raphanus sativus* L. El rábano es de ciclo anual y puede emitir hasta el tallo floral, aunque comúnmente se considera su ciclo vegetativo hasta la completa formación de la raíz carnosa que ocurre a los 25-30 días de germinada la semilla.

TAXONOMIA

La siguiente clasificación taxonómica del rábano fue tomada de Jones (1988).

División: *Magnoliophyta*
 Clase: *Magnoliopsida*
 Subclase: *Dilleniidae*
 Orden: *Capparales*
 Familia: *Cruciferae*
 Genero: *Rhapanus*
 Especie: *Rhapanus sativus* L.

SISTEMA RADICAL

Presenta un sistema radical poco desarrollado que consta de una raíz principal y finas raicillas laterales.

El engrosamiento que caracteriza al órgano de consumo del rábano, es una raíz pivotante, aunque generalmente se le llama raíz carnosa siendo importante órgano de reserva de la planta. Proviene básicamente del hipocótilo y la base de la caliptra. Su estructura interna se caracteriza por lo siguiente: una corteza muy fina de 2-3 mm de grosor, integrada por floema y la masa de color blanquecino constituida por xilema (Figura 1).

El color de la superficie de la corteza puede ser: blanco, rojo, rosado o amarillo dependiendo de las distintas variedades.

HOJAS

Son compuestas, imparipinnadas, con bordes generalmente dentados, con presencia de tricomas y de un color verde intenso.

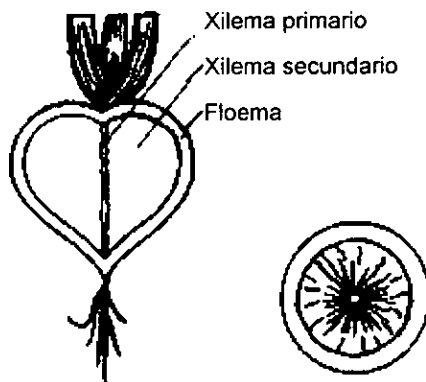


Figura 1. Estructura externa e interna del rábano (Guenkov, 1983).

TALLO FLORAL, INFLORESCENCIA Y FLORES

En la floración, el tallo puede alcanzar hasta 1.5 m. Las flores son blancas o malvas. La inflorescencia es racimosa. Las flores son hermafroditas con los pétalos blancos, rosados o rosados violáceos según la variedad. La polinización es cruzada y la llevan a cabo las abejas.

FRUTOS Y SEMILLAS

El fruto es una silicua indehiscente, rellena en su interior de tejido parenquimatoso, en el cual se sitúan las semillas de color marrón rojizo y de forma más o menos redondeada. En un gramo pueden contabilizarse entre 80 y 120 semillas y su capacidad germinativa media es de cuatro años (Maroto, 1989).

2.3.4 VARIEDADES

Dentro de la especie *Raphanus sativus* L. se consideran dos subespecies de acuerdo a la forma y tamaño de la raíz, estas son:

1. *Raphanus sativus major*, conocido comúnmente como rábano largo. Desarrolla raíces alargadas y carnosas con diámetro entre 5 y 7 cm, la pulpa es más o menos dura y con sabor picante. Algunas variedades de ésta subespecie son: White, Icicle, Long Escarlet, Short top, Alargado blanco, Chartier, Negro de España, Largo rojo del país (Rodríguez, 1976).

2. *Raphanus sativus minor*, conocido comúnmente como rábano redondo, desarrolla raíces pequeñas, globosas y carnosas que llegan a medir 5 cm de diámetro, algunas variedades son: Redondo rosa, Redondo blanco, Cherry bell, Champion, Crimson giant, Cometcavallier (Rodríguez, 1976).

2.3.5 CONDICIONES DEL CULTIVO

El rábano variedad Champion, está ampliamente distribuido en México, la germinación es óptima a 25°C, el rábano es muy exigente al balance de luz.

Son plantas de fotoperiodo largo, el mejor periodo de siembra es de octubre a marzo. No es recomendable su siembra en los meses de verano por que las altas temperaturas y una mayor duración del día no son favorables para el desarrollo de la raíz carnosas. El rábano requiere suelos de buena textura y abundante materia orgánica, aunque pueden cultivarse en suelos ligeros, arenosos y areno-arcillosos. Lo suelos arcillosos no son favorables, pero cuando son ricos en caliza, las raíces toman un sabor más picoso. Es una planta poco tolerante a la salinidad, acepta suelos ligeramente ácidos a neutros (pH= 6-7). También se requiere de una buena humedad en el suelo, si ésta es deficiente se afecta la calidad de las raíces.

La semilla germina de 3 a 5 días dependiendo de las condiciones ambientales y la cosecha se hace de 25 a 35 días posteriores a la germinación, cuando la raíz ha alcanzado un óptimo desarrollo y calidad.

2.4. BETABEL (*Beta vulgaris* L.) var. Fort giant.

2.4.1 GENERALIDADES

El betabel, también llamado en algunos países remolacha o betarraga, se considera descendiente de la remolacha silvestre (*Beta maritima* L.) que se encuentra actualmente en las costas del Mediterráneo, Asia menor, el sur de Suecia y Finlandia.

Las antiguas civilizaciones como la romana, egipcia e hindú utilizaban sus hojas como alimento y la raíz carnosa como medicamento. Existe la creencia de que los peones que construyeron la pirámide de Keops, faraón egipcio que vivió 3,000 años a.C., consumían betabel, el que aparentemente crecía en estado silvestre en partes de Asia.

Su introducción en la agricultura ocurrió aproximadamente después del siglo XV, pero no es hasta los siglos XVIII y XIX en que se realizaron los primeros trabajos de selección, creándose valiosas variedades que se han conservado hasta la actualidad. En 1558 fué reportada en Alemania, y en América por 1806 se seleccionaba el hipocótilo para consumirlo cocido (Splittstoesser, 1984). Los resultados de las guerras independentistas en América y las convulsiones existentes en muchas de las colonias situadas en clima tropical determinaron la introducción del betabel en Europa, durante la segunda mitad del siglo pasado. Los problemas políticos obligaron a los europeos a sustituir buena parte de la caña de azúcar (materia prima de las colonias), por betabel para asegurar la producción azucarera.

Al auge europeo de la remolacha siguió un gran desarrollo en los países americanos con zonas templadas (Uruguay, Chile, etc.), especialmente cuando comenzaron sus procesos de industrialización y de sustitución de importaciones. En México no se tiene un dato preciso, pero se conoce que el betabel, tuvo muy poca importancia.

2.4.2 IMPORTANCIA

El cultivo del betabel o remolacha azucarera ocupa un importante lugar en la producción agrícola total de los países de climas templados, en México se produce fundamentalmente para el consumo en fresco como ensaladas y jugos, aunque también se utiliza para complementar la alimentación del ganado lechero, en época de sequía.

Su mayor importancia desde el punto de vista alimenticio se debe a su alto contenido de hierro y fósforo, siendo mucho menor en los restantes elementos, tanto minerales como vitaminas.

Con base en 100 g de parte comestible (Watt *et al.*, 1975) se proporcionan la concentración de los siguientes compuestos orgánicos y minerales en betabel (Cuadro 2).

Cuadro 2. Valor nutricional de la raíz comestible de betabel.

Agua	89.0 %
Proteína	54.0 g
Carbohidratos	5.4 g
Calcio	92.0 mg
Fósforo	146.0 mg
Fierro	2.4 mg
Acido ascórbico	34.0 mg
Vitamina A	80 U.I

* Una Unidad Internacional (U.I) de vitamina A es equivalente a 0.3 mg de vitamina A en alcohol

En México la producción de betabel se ha incrementado en los últimos años, en 1982 se tenía una superficie sembrada de 96 hectáreas distribuidas en 5 estados, para 1995 se cultivaron alrededor de 574 hectáreas, con una producción anual de 12, 123 toneladas, teniendo un valor de \$ 12, 335, 888 nuevos pesos (SAGAR, 1995).

Los principales estados que se dedican al cultivo de betabel, se pueden apreciar en la Cuadro 3.

Cuadro 3. Principales estados productores de betabel (SAGAR, 1995).

ESTADO	HECTAREAS	TONELADAS	VALOR DE LA PRODUCCION \$
Puebla	197	4095	2,795,706
Jalisco	125	4320	4,001,890
Baja California	91	2225	923,359
México	79	884	2,237,999
Distrito Federal	36	344	894,400
Guanajuato	28	106	157,940
Sonora	6	51	32,894
Tlaxcala	5	60	96,000
Otros	7	130	195,750

2.4.3 CARACTERISTICAS BOTANICAS

El betabel es una planta típicamente bienal, que forma la raíz carnosa en el primer año y la inflorescencia en el segundo.

TAXONOMIA

La siguiente clasificación taxonómica del betabel fue tomada de Jones (1988).

División: *Magnoliophyta*
 Clase: *Magnoliopsida*
 Subclase: *Caryophyllidae*
 Orden: *Caryophyllales*
 Familia: *Chenopodiaceae*
 Genero: *Beta*
 Especie: *Beta vulgaris* L.

SISTEMA RADICAL

El sistema radical del betabel en su fase adulta, se puede dividir en dos: raíz comestible y raíz fibrosa.

La parte comestible de la raíz, se ha comprobado que proviene de un hipocótilo ensanchado "Cambium engrosado" (Yamaguchi, 1983); el término hipocótilo sólo se usa en las primeras fases del desarrollo, por lo que cuando la planta es adulta se menciona como una raíz comestible o raíz tuberosa (Genin, 1994). Su color puede ser rojo o morado, debido al pigmento denominado betacianina, que es un compuesto que posee nitrógeno con propiedades semejantes a las antocianinas.

La raíz comestible del betabel muestra un tipo usual de desarrollo primario y secundario temprano. Sin embargo más tarde una serie de cambios supernumerarios se originan por fuera del centro vascular normal y producen varios incrementos en el tejido vascular (Esau, 1972). La estructura interna de la raíz comestible está formada por círculos concéntricos claros y oscuros; en los primeros círculos ésta más desarrollado el xilema y, por ello, es menos tierno y en los segundos el floema. Debido a lo anterior, las mejores variedades serán aquellas que tengan una mayor proporción de círculos oscuros que claros. Se plantea que entre menos se destaquen los círculos claros en la raíz carnosa, serán más adecuadas para el consumo humano (Figura 2).

La raíz fibrosa presenta un sistema radical desarrollado y muy ramificado. La raíz principal llega a medir de 1.5 - 2 m, y lateralmente 60 cm (Guenko, 1983). Dadas sus características, muestra cierta resistencia a sequía.

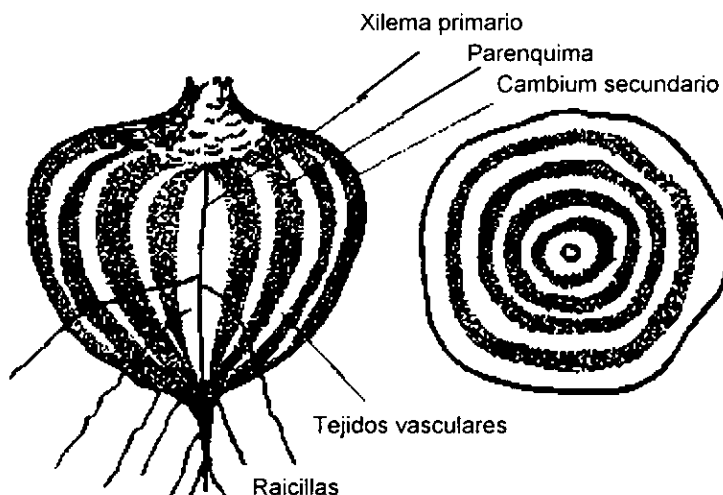


Figura 2. Estructura externa e interna de la raíz comestible del betabel (Guenkov, 1983).

HOJAS

Las hojas son simples y se agrupan formando una roseta. Presentan un color verde intenso, con las nervaduras generalmente más oscuras. El peciolo es alargado algo vellosa en algunas variedades, generalmente con tonalidades rojizas.

TALLO

El tallo tiene un crecimiento limitado en el primer año, localizándose en el punto de intersección de la raíz carnosa y las hojas. El tallo floral crece después de vernalizada (requerimiento de un periodo frío antes de florecer) la raíz carnosa, puede alcanzar una altura de 80-120 cm. Cada una de las ramificaciones termina en una flor.

FLORES Y SEMILLAS

La inflorescencia está compuesta por una larga panícula, las flores son sésiles y hermafroditas, con 5 sépalos y 5 pétalos verdes con pigmentación rojiza. Se presenta el fenómeno de protandria (la antera madura antes que el estigma). La fecundación es cruzada, el aire y los insectos trasladan el polen al estigma. El ovario es súpero.

En el proceso de fecundación se fusionan varias flores, dando lugar a glomérulos, a los cuales generalmente se les llama semilla, pero en realidad cada glomérulo está integrado por 2 - 4 semillas. Los glomérulos no tienen una forma definida y son de color pardo claro (Pérez, 1988).

2.4.4 VARIEDADES COMERCIALES

El betabel es diploide ($2n= 18$), en el trabajo de mejoramiento genético se busca fundamentalmente la ausencia de anillos en la raíz carnosa y altos rendimientos. Los principales variedades son:

1. Achatados: Croshy, Croshy egiptian, Early wonder.
2. Globular y ovalado: Fort giant, Detroit Drak Red.
3. Redondo: Asgrow wonder, Perfect detroit.
4. Alargado: Half long blood y Long dark blood.

2.4.5 CONDICIONES DEL CULTIVO

En México puede explotarse el betabel durante todo el año, aunque cabe aclarar que en los meses cálidos, disminuye la calidad (coloración) de esta hortaliza.

La temperatura de germinación es de 10 a 30°C, siendo la óptima de 20 a 25°C, tardando de 5 a 10 días en germinar, el crecimiento de las raíces carnosas (hipocótilo ensanchado) se desarrollan rápidamente cuando las plantas se encuentran entre 15 y 23°C, ésta hortaliza puede tolerar las heladas y sequías. El betabel es una especie originaria de una especie marina por lo que tolera la sal y sequía.

El betabel es sensible a pH ácidos y se desarrolla mejor en suelos neutros y alcalinos, prefiriendo pH de 6.5-7.5. Esta clasificada como una hortaliza altamente tolerante a la salinidad, alcanzando valores de 6400 a 7680 ppm en el suelo (Maas, 1984). En cuanto a textura se desarrolla mejor en suelos ligeros (arenosos) pues en suelos arcillosos se deforma la parte comestible.

El betabel es una especie algo exigente a la humedad del suelo, por lo que se parece bastante a la zanahoria. Es más exigente durante la fase de germinación y en las primeras fases del crecimiento. Cuando ya ha formado el sistema radical, la demanda de humedad disminuye.

Para la cosecha se pueden utilizar dos indicadores: uno que implica conocer el diámetro de la parte comestible, y el otro es el tiempo en días, el cual depende del cultivar, ya que pueden ser precoces, intermediarios o tardíos y de las condiciones ambientales.

Para el caso de la variedad Fort giant utilizado en éste experimento, el betabel se cosecha cuando presenta un diámetro promedio de 6 a 8 cm, que se alcanza de 100 a 110 días, en condiciones ambientales de 30°C como máximo a medio día.

2.5 ZANAHORIA (*Daucus carota* L.) var. Nantes

2.5.1 GENERALIDADES

Al parecer el origen de la zanahoria se localiza en Asia Central; en Afganistán ha presentado gran diversidad genética (Vavilov, 1951), donde puede encontrarse en estado espontáneo, y de cuya forma original proceden las formas actuales, a partir de selecciones iniciadas en el siglo XVII.

La zanahoria ha sido cultivada desde hace unos dos mil años, y fue muy apreciada por determinadas clases sociales en la Grecia antigua. En Europa fue introducida en el siglo XVIII, arribando al Continente Americano a principios del año 1600 (Yamaguchi, 1983).

2.5.2. IMPORTANCIA

El cultivo de zanahoria se ha multiplicado por todo el mundo, ya que forma parte importante de la alimentación moderna actual, por su alto contenido vitamínico y por la producción que se tiene durante todo el año.

Es muy rica en vitaminas A, B, y C, siendo apreciada principalmente por su contenido de caroteno, precursor de la vitamina A (Cuadro 4).

Cuadro 4. Composición nutritiva de la zanahoria en 100 g de parte comestible (Watt *et al.*, 1975).

Agua	88.2 %	Sodio	47.0 mg
Proteína	1.1 g	Potasio	341.0 mg
Grasa	0.2 g	Ac. ascórbico	0.8 mg
Carbohidratos	9.7 g	Tiamina	0.06 mg
Fibra	1.0 g	Niacina	0.6 mg
Ceniza	0.8 g	Riboflaina	0.05 mg
Calcio	37.0 mg	Vitamina A	11.00 U.I *
Hierro	0.7 mg		
Fósforo	36.0 mg		

* Una Unidad Internacional (U.I) de vitamina A es equivalente a 0.3 mg de vitamina A en alcohol

La zanahoria ha sido muy utilizada en las modernas técnicas de cultivo de tejidos, actualmente se ha conseguido regenerar plantas enteras a partir de células del floema de la raíz de zanahoria.

En México el cultivo de la zanahoria está ampliamente distribuido, en 1987 se tenía una superficie de 4800 hectáreas sembradas, actualmente se cultivan 7,674 hectáreas, con una producción de 191,845 toneladas (SAGAR, 1995), de los cuales, los principales estados productores son los siguientes (Cuadro 5).

Cuadro 5. Principales estados de la República Mexicana, productores de zanahoria (SAGAR, 1995).

ESTADO	HECTAREAS	TONELADAS	VALOR DE LA PRODUCCION \$
Guanajuato	3,095	67,107	38,594,739
Puebla	1,403	38,081	23,470,998
México	1,057	19,491	32,086,924
Zacatecas	1,018	29,889	23,804,032
Coahuila	535	14,874	13,994,100
Michoacán	358	11,246	9,539,300
Baja California	179	5,075	12,181,447
Oaxaca	144	1,215	2,227,200
San Luis Potosí	137	2,876	2,346,200
Distrito Federal	127	1,404	1,684,800
Sonora	123	2,075	1,404,295
Querétaro	104	2,795	2,136,118
Nuevo Leon	95	2,280	3,420,000
Aguascalientes	46	558	422,790
Otros	56	627	366,734

2.5.3 CARACTERISTICAS BOTANICAS

TAXONOMIA

La siguiente clasificación taxonómica de la zanahoria fue tomada de Jones (1988).

Division: *Magnoliophyta*
 Clase: *Magnoliopsida*
 Subclase: *Rosidae*
 Orden: *Apiales*
 Familia: *Umbeliferae*
 Genero: *Daucus*
 Especie: *Daucus carota*

SISTEMA RADICAL

Presenta un sistema de raíces muy desarrollado y ramificado, que puede alcanzar una profundidad en el suelo de más de 1.5 m y algunas raíces pueden llegar hasta los dos metros. De la raíz principal brotan raíces secundarias que también se extienden lateralmente en el suelo de 60 a 70 cm.

El engrosamiento de la parte superior de la raíz da lugar a la raíz carnosa u órgano de consumo de ésta especie, donde se acumulan las sustancias nutritivas.

Estructuralmente la raíz carnosa de la zanahoria está formada por la corteza o floema y el cilindro central o xilema, en el límite de ambos está el cambium. Generalmente, la corteza o floema es más delicado, tierno y con mayor contenido de sustancias nutritivas (Figura 3), mientras que el cilindro central o xilema es tosco, áspero y menos rico en nutrientes (Pérez *et al*, 1988).

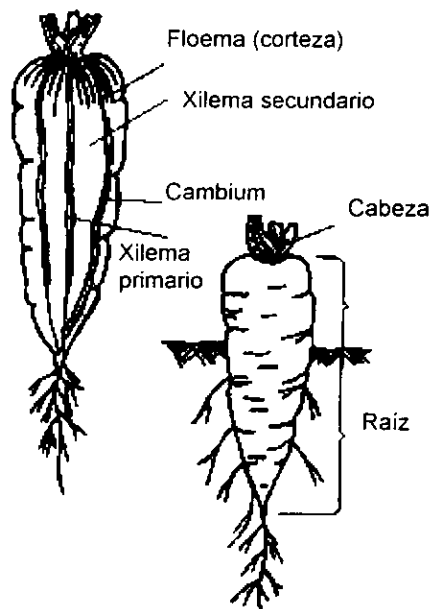


Figura 3. Estructura interna y externa de la zanahoria (Guenkov, 1983).

TALLO

El tallo de la zanahoria alcanza unos pocos milímetros de altura en el primer año de vida de la planta, localizándose en la parte superior de la raíz carnosa; después de la vernalización se desarrolla ampliamente alcanzando una altura de 1.5 m.

HOJAS

Son compuestas, con peciolo largos, doble o triplemente pinnado-partidas y se disponen en roseta con los folíolos marcadamente hendidos y en algunos casos vellosos, el color de las hojas puede variar de verde claro a oscuro (Pérez, 1988).

INFLORESCENCIA Y FLORES

La inflorescencia de la zanahoria es una umbela compuesta; las flores tienen el ovario infero, son blancas, amarillentas o azuladas con 5 pétalos y 5 estambres, además son hermafroditas, pero no se produce la autofecundación, ya que los órganos sexuales no maduran al mismo tiempo (Pérez, 1988).

FRUTO Y SEMILLAS

El fruto de la zanahoria es un esquizocarpo (2 o más carpelos unidos, separándose al madurar). Las semillas son pequeñas, convexas de un lado y planas del otro, presentan pequeñas espinas en la parte convexa y su color generalmente es pardo claro. Debido a la testa dura que poseen, su germinación se hace difícil y demorada (Pérez, 1988).

Las semillas pueden conservar su poder germinativo por 3 o 4 años, si son almacenadas en condiciones adecuadas.

2.5.4 VARIEDADES

Existen variedades cuya raíz es amarilla y alargada.

En general las variedades más apreciadas son las de raíces rojo-anaranjadas, dentro de cuyo grupo existe una gran variabilidad en función de su longitud, dentro de ellas podemos encontrar:

1. Largas: de longitud superior a los 20 cm. como las variedades Hicolor, Bercoro, Flacoro, Saint Valery y Scarla.
2. Semilargas: cuya longitud es de 15 a 20 cm, como las variedades Nantes, Primato, TipTop, Forto, Express, Slendero, Marko y Ramosa.
3. Semicortas: cuya longitud es de 10 a 12 cm, como las variedades Chantenay, Foram y Obtusa de Guerande.
4. Cortas: cuya longitud es inferior a los 10 cm. como las variedades Rojo de Nancy, Early french Frame y Corta de Guerande.

En México la variedad "Nantes", es la más aceptada en el mercado ya que presenta un tamaño mediano, color naranja claro, con puntas redondeadas.

2.5.5 CONDICIONES DEL CULTIVO

La temperatura óptima para que ocurra la germinación es de 18 a 25°C, la cual demora entre 10 y 12 días en producirse (Guenko, 1983). Durante la fase de germinación de las semillas, la capa superficial del suelo debe estar medianamente húmeda, ya que si se presenta una oscilación severa gran parte de las semillas no germina, lo que afecta la densidad de población.

Después de la germinación, la fase de crecimiento inicial es muy lento, además su sistema radical es débil, por lo que se debe mantener una humedad adecuada, posteriormente cuando las plantas han crecido, las exigencias de humedad son menores. Posteriormente que se han formado las raíces carnosas, no deben mantenerse las plantas bajo oscilaciones drásticas de humedad en el suelo, ya que un gran porcentaje de raíces se agrietan o se pudren. Para el crecimiento de la raíz carnosa se considera la mejor temperatura de 20-22°C y para el crecimiento de las hojas de 23-25°C. Las altas temperaturas provocan que el crecimiento de las raíces carnosas sea muy lenta o casi se paralice, afectando el sabor.

Los suelos más adecuados para cultivar la zanahoria son los ligeros, los arcillo-arenosos, de buena estructura y buena aireación. Esta planta se desarrolla adecuadamente en suelos con reacción neutra o ligeramente ácida, de pH 6 a 7.5 (Pérez, 1988).

2.6 REGULADORES DE CRECIMIENTO

Los reguladores del crecimiento vegetal son compuestos orgánicos que estimulan, inhiben o modifican de alguna forma los procesos fisiológicos de las plantas. Este término engloba a las sustancias químicas naturales y sintéticas (Jankiewicz, 1989).

Los reguladores del crecimiento generalmente los han clasificado en cinco grupos: auxinas, citocininas, giberelinas, ácido abscísico y etileno. Aunque hay sustancias que actualmente son clasificadas también como R.C.V (Reguladores del crecimiento vegetal), siendo el caso de ácido jasmónico, compuestos fenólicos y ácido salicílico.

Es interesante conocer que los R.C.V. promueven o inhiben algún proceso vegetal dependiendo de diversos factores como: el estado fisiológico de la planta, la especie, etapa fenológica, concentración, la frecuencia, la forma y época de aplicación del regulador lo que hace que sea muy dinámico su estudio.

2.7 ÁCIDO SALICILICO (AS)

2.7.1. GENERALIDADES

El ácido salicílico (AS) es uno de los numerosos compuestos fenólicos, presente en las plantas, pertenece al grupo de los salicilatos, cuya característica química los relaciona por presentar el radical 2-hidroxibenzoico (figura 4), como el ácido acetilsalicílico y el metilo de AS (Klessig y Malamy, 1994; Weissman, 1991).

El ácido salicílico (AS), se aisló por primera vez en 1838 a partir de plantas del género *Salix* perteneciente a la familia Salicaceae, a la cual debe su nombre (Devore, 1979). También se ha encontrado en los géneros *Spirea*, *Gautheria*, *Xanthium*, *Arum* y *Lemna* (Raskin *et al.*, 1987). Las hojas de arroz contienen los niveles más altos de ácido salicílico oscilando entre 0.01 y 37.19 $\mu\text{g g}^{-1}$ de peso fresco (Silverman *et al.*, 1995).

El AS se produce en hojas jóvenes, meristemos florales y vegetativos y es transportado vía floema (Cleland y Ajami, 1974). Las concentraciones de ácido salicílico superiores a 300 μM en exudados de floema, han sido observados 10 horas después de la inoculación de hojas de tabaco con *Pseudomonas syringae*, proponiendo que el ácido salicílico es transportado vía floema como ácido libre y que ésta es la forma más activa de la molécula señalada (Rhodes, 1994; Waterman y Mole, 1994). Ácido salicílico y ácido 4-hidroxibenzoico se acumulan en altos niveles en el fluido del floema, después de 6 horas, en las que se habían inoculado *Pseudomonas syringae*, en las hojas de *Cucumis sativa* (Smith-Becker *et al.*, 1998).

El AS se encuentra en las plantas en forma de conjugados de azúcar, como son ésteres de glucosa (glucosa unida con un grupo carboxilo) y glucósidos (glucosa unida con un grupo hidroxilo) como la salicina que por acción enzimática o mediante ácidos se hidroliza en glucosa y saligenina, ésta última por oxidación general del AS (Devore, 1979; Umetamy *et al.*, 1990).

El ácido salicílico en la industria, se obtiene químicamente por medio del tratamiento de la sal de un fenol con dióxido de carbono, el cual produce el reemplazamiento de un hidrógeno anular por el grupo carboxilo, conociéndose ésta reacción con el nombre de Kolbe, mediante la cual se obtiene el ácido ortobenzoico o ácido salicílico (López, 1984).

El ácido salicílico es un polvo cristalino, que tiene un punto de fusión de 157 a 159°C, es poco soluble en agua y muy soluble en solventes orgánicos polares. El pH en una solución acuosa saturada es de 2.4. Tiene una fluorescencia de 412 nm excitado hasta 301 nm y por estas propiedades es más fácil estudiarlo ya que puede ser detectado dentro del sistema de las plantas (Raskin I *et al.*, 1990).

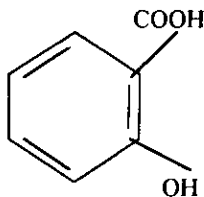


Figura 4. Fórmula estructural del ácido salicílico

2.7.2. BIOSINTESIS DEL ACIDO SALICILICO

El mecanismo más importante para la formación de ácidos benzoicos en plantas, es la degradación de la cadena lateral de los ácidos cinámicos, los cuales son importantes intermediarios en la ruta del ácido shikímico. (Raskin, 1992).

Actualmente se conoce que el ácido salicílico es sintetizado a partir de la eritrosa 4 fosfato y el fosfoenol piruvato (PEP) en tabaco y arroz (Silverman *et al.*, 1995), pasando por la vía metabólica del ácido shikímico, llegando al ácido cinámico, posteriormente la conversión de ácido cinámico a ácido salicílico es producido en la vía metabólica del ácido benzoico (figura 5). En arroz, también los precursores de la lignina, el ácido p-coumárico y ferúlico, vía ácido benzoico rápidamente se convierten en AS

La enzima ácido benzoico 2-hidroxilasa, que cataliza la reacción de ácido benzoico hacia ácido salicílico, fué recientemente identificada en hojas de tabaco (Leon *et al.*, 1993).

2.7.3. PAPEL DE LOS SALICILATOS EN LAS PLANTAS

El AS se considera como un regulador de crecimiento, ya que recientemente se ha encontrado que el ácido salicílico conjuntamente con el ácido jasmónico regulan la biosíntesis de otros metabolitos secundarios (Bennet y Wallsgrave, 1994).

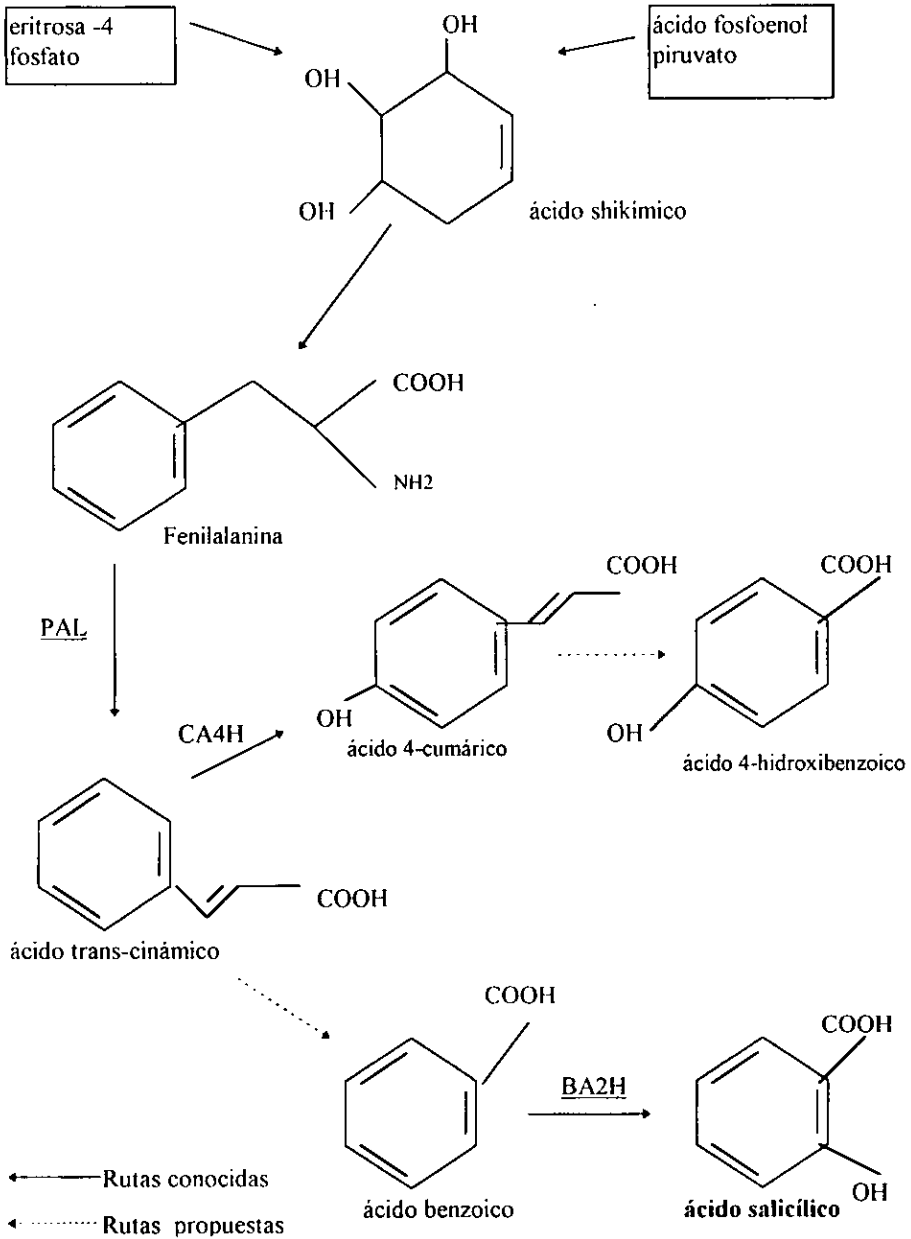


Figura 5. Rutas propuestas para la biosíntesis de ácido salicílico y ácido 4-hidroxibenzoico. Las enzimas que catalizan las reacciones han sido identificadas. PAL (fenil amonio-licasa), CA4H (ácido cinámico 4-hidroxilasa) y BA2H (ácido benzoico 2-hidroxilasa) (Smith *et al.*, 1998).

Se ha observado que el ácido salicílico en algunas ocasiones estimula o inhibe algún proceso fisiológico en plantas. Por ejemplo se ha reportado que el AS es un inhibidor de la biosíntesis de etileno, ya que reduce la conversión de ácido 1-aminociclopropano-carboxílico (ACC) hacia etileno, en cultivos celulares de pera *Pyrus communis* (Leslie y Romani, 1986), zanahoria (Roustan *et al.*, 1990) y manzana (Romani *et al.*, 1989). También la aspirina (ácido acetilsalicílico) mostró niveles de inhibición semejantes a los del ácido salicílico (Leslie y Romani, 1988).

En relación a la raíz, se conoce que:

- 1) El AS actúa sinérgicamente con auxinas, promoviendo el enraizamiento de *Phaseolus vulgaris* (Basu *et al.*, 1969).
- 2) Aumenta la capacidad para el aprovechamiento total de carbohidratos en la región de formación de la raíz de *Phaseolus vulgaris* (Roy, 1975).
- 3) El AS inhibe la absorción de K^+ en tejido radical de *Avena sativa* (Harper y Bolke, 1981).
- 4) El ácido abscísico (ABA) es un potente inhibidor del crecimiento del hipocótilo de plantas de *Raphanus sativus*, pero cuando se aplica con ácido salicílico, éste antagoniza la acción del ABA y restaura el crecimiento normal en las plantas. Respuestas similares se encontraron en la síntesis de betacianinas en plantas de *Amaranthus caudatus*. (Ray, 1983; Ray, 1986)
- 5) El AS en combinación con AIA, actúan sinérgicamente induciendo la formación de raíces adventicias en arbustos subtropicales, vid (Bose *et al.*, 1972), frijol (Roy *et al.*, 1972), *Phaseolus aureus* y *Acer saccharinum* (Kling y Meyer, 1983).
- 6) El AS estimula fuertemente el desarrollo de raíces adventicias en el árbol del Neem de 6 años de edad, al combinarlo con ácido indolbutírico (AIB) se inhibió el enraizamiento, concluyendo que es mejor manejarlo sólo que en combinación con AIB (Mohinder *et al.*, 1992).
- 7) El AS también estimula la formación de raíces adventicias en el hipocótilo de *Vigna radiata* (Ling y Li, 1995). EL ASA induce la formación de tubérculos de papa *in vitro* (López y Scott, 1997).

2.7.4 ACIDO SALICILICO EN OTROS PROCESOS FISIOLÓGICOS

Se conoce que el AS interviene en otros procesos metabólicos como:

- 1) Incrementa la temperatura de estructuras reproductivas masculinas en *Arum lilies* (Raskin *et al.*, 1987).
- 2) AS es capaz de inducir la floración de *Lemna gibba*, en días cortos (Cleland y Ajami, 1974).
- 3) Promueve la formación de yemas en caulonema de *Anoetangium thamsoni* (Saxena y Rashid, 1980).
- 4) Incrementa la capacidad de la vía alternativa en la respiración aumentando la acumulación de proteínas de 35 kd en células de tabaco (Rhoads y McIntosh, 1993)
- 5) Aumenta la producción en soya *Glycine max L.* (Sharma, Kwon y Ganeshan, 1993; Gutiérrez, 1997).
- 6) Induce la acumulación de glucosinolatos (2-feniletilglucosinolato) en las hojas de *Brassica napus* (Kiddle, Doughty y Walgrove, 1994).
- 7) Incrementa la actividad de la superóxido dismutasa, catalasa y nitrato reductasa en hojas de soya aumentando clorofila, por tanto la tasa de fotosíntesis aumenta marcadamente (Zhao *et al.*, 1995).
- 8) Aplicaciones exógenas de AS inducen la expresión de los genes relacionados con la patogénesis y establecen el SAR (Sistema de resistencia adquirida) (Bi *et al.*, 1995; Conrath *et al.*, 1995).
- 9) Ácido acetilsalicílico en concentraciones de 0.5 a 20 mM adicionadas al cultivo de tejidos *in vitro* de *Catharantus roseus*, produce efectos marcados en la producción de metabolitos secundarios, incrementa 505% el total de alcaloides, 1587% para compuestos fenólicos, 612% para las furanocumarinas y 1476% para las antocianinas (Godoy y Loyola, 1997).

10) Se ha encontrado que AS aplicado exógenamente induce secuencias de activación (*as-1* tipo *cis*) en la síntesis de genes como la nopalina, octopina y glucación S-Transferasa (GNT35) en plantas de tabaco (Xiang *et al.*, 1996).

11) Se ha encontrado que el AS aumenta la concentración de H_2O_2 y la peroxidación lipídica aumentando la formación de clorofila e isómeros de caroteno (Rao *et al.*, 1997).

12) El AS se acumula rápidamente en el fluido floemático de *Cucumis sativa*, después de 6 horas de haber sido inoculadas las hojas con *Pseudomonas syringae* (Smith-Becker *et al.*, 1998).

En especial el grupo de investigación que encabeza el Dr. Alfonso Larqué-Saavedra del Colegio de Postgraduados, se ha interesado en el estudio del efecto de los salicilatos en los vegetales, observando:

1) El ácido acetilsalicílico (ASA) a concentraciones de 10^{-3} M y ácido abscísico 10^{-5} M, redujeron de manera significativa la pérdida de agua en 48%, después de 10 horas de haber sido aplicado en *Phaseolus vulgaris* (Larqué-Saavedra, 1978).

2) En *Commelina communis*, se encontró que el ASA a concentraciones de 10^{-2} y 10^{-3} M, cierra los estomas totalmente a los 13 minutos después de la aplicación (Larqué-Saavedra, 1979).

3) El ácido acetilsalicílico (ASA) estimula el crecimiento, floración y fructificación de *Phaseolus vulgaris* (Lang, 1986).

4) ASA aumenta la madurez fisiológica del jitomate (García y Larqué, 1981).

5) El ASA asperjado redujo el número de espinas y gloquidios de *Opuntia amyklaea* a una concentración de 10^{-2} M (Rodríguez, 1990).

6) El AS reduce significativamente el número de espinas de naranjo agrio (Cortés, 1982).

7) El ASA induce el crecimiento de yemas de *Solanum cardyophyllum* cultivadas *in vitro* (López, 1987),

8) Aplicaciones de ASA promueven la floración en naranja cv. navelina bajo condiciones de invernadero en la tercera fecha de evaluación (Almaguer, 1994).

9) También se diseñó un método de espectrometría de fluorescencia para la detección de ácido salicílico endógeno en tejidos vegetales (Soto y Larqué, 1986).

10) El estudio más reciente se realizó en soya, algodón y tabaco (Gutiérrez, 1997), donde se observó que el AS, estimula fuertemente el crecimiento aéreo pero sobre todo el crecimiento y formación de raíces hasta en 100 % a diferencia del testigo.

2.8. DIMETILSULFÓXIDO (DMSO)

2.8.1 CARACTERÍSTICAS DEL DIMETILSULFÓXIDO

El Dimetilsulfóxido (DMSO), es un compuesto químico extraordinario y controvertido. Fue sintetizado por vez primera en el año de 1866 por Alexander Saylzetf. Actualmente se obtiene como un subproducto común en la manufactura de pulpa de papel e industrias relacionadas (Leake, 1967). Comercialmente es extraído del petróleo y por oxidación del sulfuro de dimetilo (DMS) en presencia de óxidos nitrogenados (Pearson *et al*, 1981).

Su molécula presenta una estructura química piramidal, con átomos de azufre, oxígeno y carbono (Figura 6). El enlace azufre-oxígeno es completamente polar, de tal modo que su constante dieléctrica es elevada (Linderberg, 1961 citado por Mc Gregor, 1967).

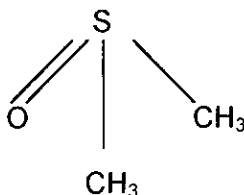


Figura 6. Estructura química del DMSO (Lang, 1986).

El DMSO es una sustancia aceitosa, incolora, con pH de 7 y peso molecular de 78.1 (Merck, 1996). Su constante dieléctrica permite una fácil separación de cargas y por lo tanto es un buen disolvente para gran cantidad de moléculas iónicas, polares y polarizables. Debido al aumento de la densidad electrónica en el átomo de oxígeno y a su capacidad estérica, disuelve cationes en general (McGregor, 1967) (Cuadro 6).

El incremento de su uso en la química orgánica es, en gran medida, el resultado de sus amplias propiedades como disolvente y su actividad química única. Es un disolvente polar aprótico, debido a su tendencia de aceptar, más que donar protones. Las amplias propiedades como disolvente que lo caracterizan son el resultado de su capacidad para producir solvatos por interacciones dipolo-dipolo o asociaciones disolvente-soluto por enlaces hidrofóbicos (Brown *et al*, 1963).

Es extremadamente higroscópico y miscible en agua en todas las proporciones. Es probable que se establezca una asociación 2:1 con el agua (Cowie y Toporowski, 1961).

Cuadro 6. Propiedades químicas del dimetilsulfóxido (Merck Co., 1996).

Peso molecular	78.13
Punto de fusión	18 °C
A presión normal	189 °C
Tensión de vapor a 25°C	0.600 mm Hg
Calor de fusión	38.8 cal/g
Densidad a 25°C	1.096
Constante dieléctrica a 25°C	46.6
Conductividad a 25°C	3×10^{-8} s/cm mol
Viscosidad a 25°C	2 cp

Sus características fisicoquímicas lo hacen un disolvente poco usual, por lo cual es ampliamente utilizado en la industria (Pearson *et al.*, 1981).

El DMSO presenta extraordinarias cualidades de penetración en los tejidos lo que ha ocasionado que sea empleado en la agricultura para ayudar al transporte de los elementos nutritivos; así como para el testigo de enfermedades en los vegetales (Leake, 1967; Smale *et al.*, 1975). Puede atravesar la barrera dérmica rápidamente en concentraciones altas, llevándose a cabo esto con muy poco o ningún daño tisular permanente (Kligman, 1965; Perlman y Wolfe 1966; Goldman *et al.*, 1967).

Debido a su pequeña dimensión, puede penetrar regiones de las subunidades proteicas más fácilmente que otros disolventes. Es probable que la permeabilidad a través de una barrera proteica, cuya conformación integral es dependiente de la captura de agua, es el resultado de cambios configuracionales reversibles de estas proteínas debidos a la sustitución del agua por el disolvente (Rammler y Zaffaroni, 1967).

Este compuesto tiene dos propiedades biológicas muy importantes. La primera, es su capacidad para proteger gran variedad de células de los efectos perjudiciales de la congelación, almacenamiento y descongelación a muy bajas temperaturas. La segunda concierne a la modificación del daño inducido por los rayos X en células vegetales y en una amplia diversidad de sistemas biológicos, cuando está presente antes y durante la exposición a la radiación (Ashwood y Smith, 1967). Su acción protectora contra los efectos de la radiación y en parte la de materiales biológicos almacenados en congelación, pueden ser atribuidos a su capacidad para capturar radicales libres perjudiciales así como a su habilidad para deshidratar a las células y reemplazar los enlaces de agua (Roubal y Tappel, 1966; Singh *et al.*, 1976).

Existen informes limitados de su presencia en la naturaleza.

Ha sido encontrado en aceite de hierbabuena (Canova, 1971), cereales (Boyco *et al.*, 1978), cebada y malta (Annes *et al.*, 1979 citado por Pearson *et al.*, 1981) y aguas naturales (Andreae, 1980a), el hallazgo de éste en medios de crecimiento de fitoplancton hace pensar que es un producto del metabolismo de las algas (Andreae, 1980b).

Muchas algas marinas producen 3-dimetilsulfoniopropionato (DMSP), es un potente componente osmoprotector ya que se degrada a dimetilsulfido (DMS) jugando un rol importante en la biogeoquímica del ciclo del azufre. (Summers *et al.*, 1998). También se ha reportado que el fitoplancton produce DMSP (Keller *et al.*, 1989).

Ciertas plantas con flores acumulan DMSP, particularmente las tolerantes a la salinidad y las que están en condiciones bajas de nitrógeno, (Hanson y Gage, 1996). Entre las plantas que destacan son *Wollastonia biflora* L. (Storey *et al.*, 1993; Hanson *et al.*, 1994), caña de azúcar (Paquet *et al.*, 1994) y varias especies de *Spartina* (Colmer *et al.*, 1996).

Se conoce que el DMSP, estimula la síntesis en el cloroplasto de la S-metilmetionina, aumentando en el cloroplasto los niveles de clorofila de 0.9 a 1.9 $\mu\text{mol mg}^{-1}$ en *Wollastonia biflora* L. (Trossat *et al.*, 1998).

El DMSP es un sulfuro análogo de la betaina, teniendo una función enzimática compatible *in vitro* (Nishiguchi y Somero, 1992).

2.8.2 EFECTOS DEL DMSO EN LAS PLANTAS

Actualmente se conocen diversos efectos del dimetilsulfóxido en las plantas, en los que destacan:

- 1) Incrementó en el rendimiento de raíces de remolacha mediante aspersiones foliares (Prik'ko *et al.*, 1978).
- 2) Aumenta la proporción de flores femeninas en pepino (Rute y Butenko, 1981).
- 3) Auxinas más DMSO incrementan el amarre en frutos de fresa (Mudge y Narayanan, 1981).
- 4) Los meristemas de tomate y fresa soportan mejor el frío cuando se agrega DMSO al medio de cultivo (Growt *et al.*, 1978; Kartha, 1980)

5) Estimula la floración y fructificación de *Phaseolus vulgaris* (Lang, 1986).

Se conoce muy poco acerca del efecto del DMSO como estimulador de crecimiento. El único antecedente que se tiene es el aumento del rendimiento de raíces en remolacha mediante aspersiones foliares (Prik'ko *et al.*, 1978), generalmente se emplea en las investigaciones para disolver la mayoría de las hormonas vegetales, pero en raras ocasiones se ha analizado su efecto solitario a bajas concentraciones en plantas. Es por eso que nuestra investigación se interesó en saber más acerca de su acción reguladora en hortalizas.

III. OBJETIVO E HIPOTESIS

OBJETIVOS GENERALES

1. Determinar el efecto de ácido salicílico (AS) y dimetilsulfóxido (DMSO) a diferentes concentraciones, sobre el crecimiento de la raíz y vástago de rábano var. Champion, betabel var. For giant y zanahoria var. Nantes.
2. Evaluar la longitud de la raíz, peso fresco de raíz y vástago, en rábano, betabel y zanahoria, posteriores a los tratamientos con ácido salicílico y dimetilsulfóxido.
3. Conocer el efecto del DMSO y AS, sobre la tasa de fotosíntesis y clorofila *in situ* en rábano y betabel.
4. Determinar la concentración adecuada donde ejerza mayor efecto el DMSO y AS sobre el crecimiento y evaluar su incidencia en futuros trabajos de campo.

HIPOTESIS

- El AS y DMSO, incrementarán el tamaño y peso de la raíz y vástago, a diferencia del lote testigo en rábano, zanahoria y betabel.
- Como consecuencia de un mayor crecimiento la tasa de fotosíntesis y clorofila, aumentarán en los tratamientos con AS y DMSO, por lo que habrá más fotosintatos que se transporten a la raíz, aumentando el tamaño de ésta.

IV. EXPERIMENTO 1:

“EFECTO DEL AS Y DMSO SOBRE EL CRECIMIENTO DE PLANTAS DE ZANAHORIA VAR. NANTES; BAJO CONDICIONES DE CAMPO”

4.1 LOCALIZACION DEL EXPERIMENTO

El experimento se desarrolló bajo condiciones de campo, en el rancho “El Chilar”, ubicado a unos 10 km. al oriente de Texcoco México en una zona productora de zanahoria. La ubicación del terreno es de 19° 33' latitud norte y 98° 48' de longitud oeste, con una altitud de 2253 msnm.

El clima que predomina es C(Wo)(w). La temperatura media anual es de 14° a 16°C. La precipitación media anual es de 600 a 700 mm.

4.2 MATERIAL VEGETAL

El material vegetal que se utilizó fueron semillas y plantas de zanahoria variedad Nantes.

Manejo de plantas de zanahoria en campo.

La fecha de siembra de las plantas de zanahoria fue el día 3 de febrero de 1997, se sembraron dos hileras de semillas en la loma de cada surco, por medio de una sembradora de precisión. El ancho del surco fue de 65 cm.

En relación al manejo fitosanitario, se utilizó Herbizal y Sencor 480 SC, para atacar a las malas hierbas y Linuron contra el ataque de insectos.

En un lapso de dos o tres semanas, se efectuó un solo riego, dependiendo de las lluvias de la temporada.

4.3. TRATAMIENTOS

Los cinco tratamientos que se aplicaron se muestran en el Cuadro 7; las concentraciones empleadas se seleccionaron con base en trabajos previamente realizados.

Cuadro 7 Tratamientos aplicados a zanahoria var. 'Nantes' bajo condiciones de campo.

Tratamiento	Dosis de aplicación (M)	Número de aplicaciones
Ácido salicílico (AS)	10^{-7}	2
	10^{-6}	2
	10^{-5}	2
Dimetilsulfóxido (DMSO)	3.77×10^{-3}	2
Testigo	---	---

4.4. PREPARACION DE LAS SOLUCIONES

Es importante destacar que el DMSO 3.77×10^{-3} M, se empleo como otro testigo.

-Solución de AS

Se utilizó AS (grado reactivo, Sigma chemical Co.) disuelto en DMSO (Merck Co.). Se preparó una solución stock de 30 ml de 10^{-2} M de AS (PM=138.1) a partir de 0.4143 g de AS, disuelto en 9 ml de DMSO, aforando posteriormente a 30 ml de agua destilada. A partir de ésta se realizaron las disoluciones de 10^{-5} , 10^{-6} , 10^{-7} M de AS. A cada solución se le ajustó el pH a 5.5 con una solución de hidróxido de potasio al 10% y se agregó una gota de Tween-20 como agente adherente.

-Solución de DMSO

Se preparó una solución stock de 30 ml de 3.77×10^{-3} M de DMSO (Merck Co.), agregando 9 ml de DMSO en 30 ml de agua destilada y se llevó a una dilución de 3.7×10^{-3} M (cantidad requerida para preparar la solución de AS 10^{-5} M), se agregó Tween-20 y se ajustó el pH a 5.5.

4.5. APLICACION DE LAS SOLUCIONES

Las soluciones se aplicaron en dos ocasiones a todo el follaje hasta punto de goteo, con una mochila manual con capacidad de 15 litros. La hora de aplicación fue entre las 8:00 y las 10:00 h de los días 11 de abril de 1997 (68 días posteriores a la siembra) tiempo en el cual las plantas presentan tres hojas bien formadas y la raíz empieza a diferenciarse y 7 de mayo de 1997 (93 días posteriores a la siembra) las plantas presentan 4 hojas y la raíz está bien diferenciada (crecimiento secundario) notándose la presencia de carotenos (coloración anaranjada).

4.6. DISEÑO EXPERIMENTAL

Se utilizó un diseño experimental de bloques al azar. Cada bloque abarcó 3 surcos de 5 metros de largo cada uno. Entre cada bloque se dejó un espacio de 1 metro (Figura 7).

4.7. VARIABLES ESTUDIADAS

1. Peso fresco de raíz.
2. Peso fresco del vástago.
3. Longitud de raíz.

Los muestreos se efectuaron entre las 10:00 y 12:00 hrs, tomándose 10 plantas por cada bloque, se realizaron 6 fechas de evaluación, seleccionadas con base en las diferentes etapas de desarrollo del cultivo, siendo las siguientes:

- a) 16 de abril de 1997 (F1)
- b) 02 de mayo de 1997 (F2)
- c) 20 de mayo de 1997 (F3)
- d) 28 de mayo de 1997 (F4)
- e) 13 de junio de 1997 (F5)
- f) 01 de julio de 1997 (F6)

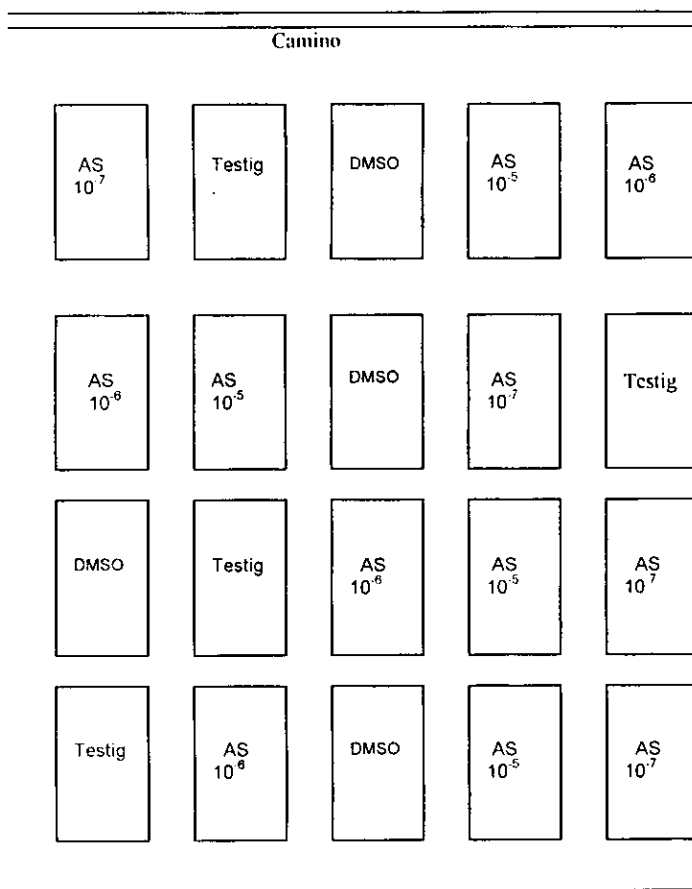


Figura 7. Diseño experimental de bloques al azar, con 4 repeticiones para cada tratamiento bajo condiciones de campo. Las concentraciones están denotadas en molaridad (M).

4.8. ANALISIS ESTADISTICO

Para el análisis estadístico se utilizó el paquete SAS, los datos obtenidos en el presente estudio se sometieron a un análisis de varianza y se hizo comparación de medias por la prueba de Tukey al 5% de significancia.

4.9 RESULTADOS Y DISCUSION

PESO FRESCO DE RAIZ

En el primer muestreo (F1), la prueba de medias indicó que el mejor tratamiento fue el DMSO, con un incremento de 27.3% en peso fresco de la raíz de zanahoria, con un valor de 1.4 g contra 1.1 g del testigo. En lo que respecta a los tratamientos de ácido salicílico, no presentaron diferencias significativas respecto al testigo (Cuadro 8).

En el segundo muestreo (F2), el mejor tratamiento siguió siendo el DMSO, con un incremento de 75.8%, con un valor en el peso de la raíz de zanahoria de 8.3 g, contra 4.7 g del testigo. En los tratamientos de AS, no se volvieron a presentar diferencias significativas con respecto al testigo (Cuadro 8).

En el tercer muestreo realizado (F3), los efectos cambiaron y las concentraciones de 10^{-6} y 10^{-7} M de AS aumentaron en peso fresco de la raíz con incrementos de 60 % y 41.5 % y valores de 21.1 g y 18.6 g respectivamente, con un valor en el testigo de 13.1 g. Siendo estadísticamente diferentes del testigo y demás tratamientos (Cuadro 8).

En el cuarto muestreo (F4), siguieron predominado las concentraciones de AS, 10^{-7} y 10^{-6} M, con incrementos de 44.5 % y 41.7 %, con valores medios en el peso de la raíz de 31.0 g y 30.4 g respectivamente, con un valor en el testigo de 21.5 g. Los demás tratamientos no presentaron diferencias estadísticas con respecto al testigo (Cuadro 8).

En el quinto muestreo (F5), el DMSO volvió a incrementar los valores de peso fresco de raíz y superó a los tratamientos de AS, aumentando 26.6 %, con un valor medio en el peso de raíz de zanahoria de 38.6 g, contra 30.5 g del testigo. La mejor concentración de AS fue la 10^{-6} M con un aumento de 11.3% efecto significativamente igual al del DMSO (Cuadro 8).

Finalmente en el sexto muestreo (F6), observamos que los valores disminuyeron y esto se debió a que hubo sobrerriego y las raíces empezaron a pudrirse por la presencia de hongos, el tratamiento más afectado fue el testigo. Los tratamientos de AS casi no fueron afectados, esto probablemente se deba a que se tienen antecedentes de que el ácido salicílico induce al sistema de resistencia adquirida (SAR), por lo que las plantas tuvieron resistencia a los hongos patógenos. Sin embargo el DMSO también resultó poco afectado (Cuadro 8).

Cuadro 8. Efecto del AS y DMSO sobre el peso (g) fresco de la raíz comestible de zanahoria (*Daucus carota* L.) var. Nantes asperjado foliarmente.

Muestras	Testigo	DMSO	AS 10 ⁻⁷	AS 10 ⁻⁶	AS 10 ⁻⁵
F1	1.1b	1.4a	1.0 b	1.1 b	1.0 b
F2	4.7b	8.3 a	4.6b	4.9 b	5.0 b
F3	13.1 b	13.8 b	18.6 a	21.1 a	13.0 b
F4	21.5 b	25.3 b	31.0 a	30.4 a	25.1 b
F5	30.5 b	38.6 a	30.8 b	34.0 ab	30.0 b
F6	23.4 c	33.9 a	27.1 bc	31.2 ab	29.4 b

Valores con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey= 0.05) para cada fecha.

En resumen los tratamiento con DMSO y AS 10⁻⁶ M, mostraron un mayor crecimiento sobre el peso de la raíz de zanahoria en el desarrollo del experimento. Las plantas tratadas con DMSO presentaron una mayor ganancia en el peso fresco de la raíz casi a través de todo el experimento destacando la F5 y F6. En cambio el tratamiento con ácido salicílico 10⁻⁶ M, tuvo un mayor crecimiento en la F3 y F4, probablemente por qué en éstos días se realizó una segunda aplicación, por lo que pensamos que sirvió de reforzamiento del efecto del AS sobre el desarrollo de la zanahoria. La dinámica del efecto de cada tratamiento se puede apreciar en la figura 8.

En el tratamiento de ácido salicílico 10⁻⁵ M, no se observó efecto alguno y se puede comparar con el testigo, el cual siempre estuvo muy por debajo de los demás tratamientos.

Los resultados del AS concuerdan con los antecedentes de que el AS estimula el crecimiento de la raíz, reportado inicialmente por Basu *et al* (1969) y luego por Gutiérrez (1997), donde menciona que AS estimula significativamente el desarrollo radical en soya, algodón y tabaco. Li y Li (1995) analizaron que el crecimiento de la raíz se debe a que la enzima ácido indolacético oxidasa y la polifenol oxidasa es afectada por el AS. Casi todos los estudios se han hecho en raíces fibrosas, por lo que éstos datos son muy valiosos ya que observamos un crecimiento mayor en raíces carnosas, con diferencias altamente estadísticas y con crecimientos bien marcados.

En cuanto al DMSO, no tenemos demasiados antecedentes de su efecto en las plantas y mucho menos en la raíz, por lo que da pauta para seguir estudiando y analizando éste formidable compuesto químico, ya que ocasionó un incremento significativo principalmente en los muestreos F5 y F6 con la concentración aplicada.

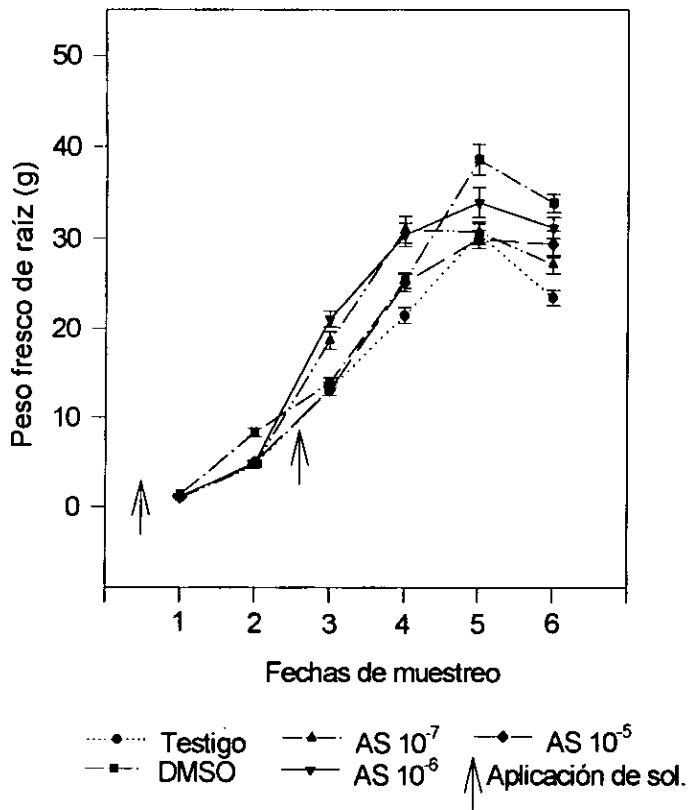


Figura 8. Peso fresco de raíz de zanahoria var. Nantes. Las flechas indican los días (68 y 93) en que se aplicó AS y DMSO bajo condiciones de campo.

LONGITUD DE LA RAIZ

Los datos del primer muestreo se descartaron porque todavía no se presentaba un completo desarrollo de la raíz comestible de zanahoria (no había una diferenciación bien definida en las raicillas).

Para el segundo muestreo (F2), el tratamiento de DMSO mostró un incremento de 28.1%, con un valor en la longitud de raíz de zanahoria de 7.9 cm contra 6.2 cm que midió el testigo. El mejor tratamiento de AS fue la concentración 10^{-5} M, con un incremento de 19%, con un valor medio en la longitud de raíz de zanahoria de 7.4 cm. Ambos tratamientos tuvieron un efecto significativamente mayor que los demás (Cuadro 9).

En el tercer muestreo (F3), el DMSO, 10^{-6} y 10^{-7} M de AS fueron los mayores con diferencias significativas. El tratamiento 10^{-6} M, incrementó 15.3%, con un valor medio en la longitud de la raíz de 9.2 cm, contra la media del testigo, cuyo valor fue de 8.0 cm, luego la concentración 10^{-7} M, con un incremento de 15.2%, con un valor de 9.0. El DMSO solamente incrementó 2.8% con un valor de 8.2 cm (Cuadro 9).

En el cuarto muestreo (F4), los tratamientos de AS volvieron a ser los mejores con diferencias significativas con respecto al control, destacando la concentración 10^{-7} M con un incremento de 15%, con un valor en la longitud de raíz de zanahoria de 10.4 cm, contra 9.0 cm del testigo, luego le siguió la concentración 10^{-6} M con un incremento de 10.8% (Cuadro 9).

En el quinto muestreo (F5), la media de longitud de raíz de zanahoria volvió a subir en el tratamiento de DMSO siendo significativamente el mejor con un incremento de 11.4% con un valor de 10.9 cm, contra el testigo de 9.8 cm (Cuadro 9).

En el sexto muestreo (F6), los valores bajaron, por que en general las zanahorias más grandes fueron muy susceptibles de podrirse, pero aun así mantuvieron valores más altos que el testigo, por la causa mencionada anteriormente. Se observó el mismo comportamiento que en F5 (mayor efecto del DMSO respecto al AS y el testigo) (Cuadro 9).

Cuadro 9. Efecto del AS y DMSO sobre la longitud de la raíz comestible (cm) de zanahoria (*Daucus carota* L.) var. Nantes asperjado foliarmente.

Muestreos	Testigo	DMSO	AS 10^{-7} M	AS 10^{-6} M	AS 10^{-5} M
F1	----	----	----	----	----
F2	6.2 c	7.9 a	6.7 bc	6.7 bc	7.4 ab
F3	8.0 b	8.4 a	9.0 a	9.2 a	8.2 b
F4	9.0 c	9.5 bc	10.4 a	10.0 ab	9.5 bc
F5	9.8 b	10.9 a	10.1 b	10.2b	10.1 b
F6	8.1 b	9.3 a	8.4 b	8.6 b	8.5 b

Valores con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey= 0.05) para cada fecha.

En términos generales todos los tratamientos fueron superiores al testigo, volviendo a destacar el efecto del DMSO en los diferentes muestreos excepto en F4.

En contraste los tratamientos de AS, donde se observó un mayor crecimiento en la longitud de la raíz comestible de zanahoria con respecto al DMSO fue en las concentraciones 10^{-7} y 10^{-6} M en F3 y F4; no así en F5 y F6 donde el DMSO tuvo un mayor efecto (Figura 9).

Se volvió a observar, que a partir del tercer muestreo los tratamientos de AS se levantan en cuanto al crecimiento, y eso probablemente se deba a que se hizo aquí una segunda aspersión de las soluciones.

En nuestro experimento se encontraron resultados similares a los de Manzhesov (1994) cuando aplicó ácido salicílico al 1.5% y ácido benzoico al 1% a zanahoria cultivar. Chantenay, al hallar pequeños incrementos en el tamaño de raíz a diferencia del testigo. Con los resultados obtenidos, se observó que en efecto el AS y DMSO, estimulan el crecimiento de la raíz en peso y longitud de la zanahoria cultivar. Nantes, aunque todavía se desconocen las posibles causas del mecanismo de acción de dichas sustancias.

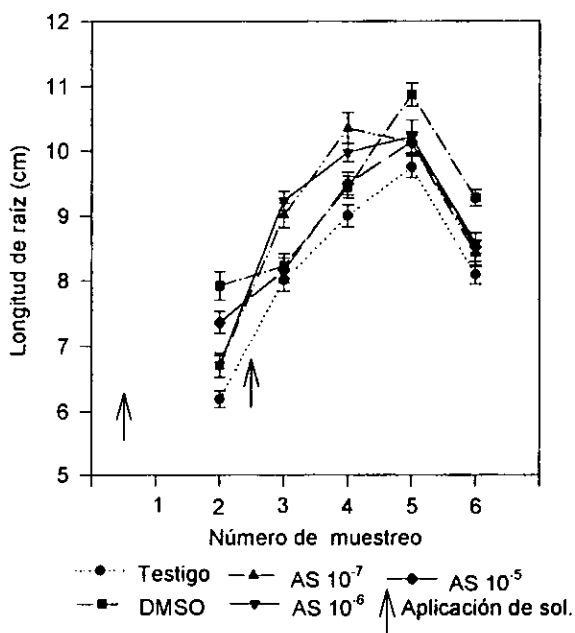


Figura 9. Longitud de raíz de zanahoria var. Nantes. Las flechas indican los días (68 y 93) en que se aplicó AS y DMSO bajo condiciones de campo.

PESO FRESCO DEL VÁSTAGO

En el primer muestreo (F1), se observó que el tratamiento de DMSO, aumento 27%, con un valor en el peso fresco del vástago de zanahoria de 2.9 g contra 2.3 g del testigo. Los tratamientos de AS no tuvieron diferencias estadísticas con respecto al testigo (Cuadro 10).

Para el segundo muestreo (F2), el DMSO volvió a estimular el crecimiento del vástago significativamente, aumentando 52% más que el testigo, con un valor en el peso aéreo de 6.1 g, contra 4.0 g del testigo. En los tratamientos de AS la única concentración que aumento fue 10⁻⁵ M, con un incremento de 18.8%, pero estadísticamente igual al testigo (Cuadro 10).

En el tercer muestreo (F3) se observó un crecimiento del vástago de zanahoria en las plantas tratadas con AS, destacando la concentración 10^{-6} M, con un incremento de 57.7%, con un valor en el peso del vástago de 7.3 g, contra 4.6 g del testigo, en seguida le siguió la concentración 10^{-7} M y 10^{-5} M, con aumento de 40.7% y 16.7% respectivamente. El DMSO, en este muestreo solamente aumento 31.2% más que el testigo.

Para el cuarto muestreo (F4), el crecimiento se vio más favorecido en los tratamientos de AS, la concentración en que creció más el vástago de zanahoria fue 10^{-7} M, con un incremento de 43.8% con un valor en el peso del vástago de 8.4 g contra 5.8 g del testigo, la concentración 10^{-6} M incrementó solamente 29.8% con un valor en el peso del vástago de 12.8%. En estos resultados se observaron diferencias estadísticas con respecto al testigo (Cuadro 10).

En el quinto muestreo (F5), el tratamiento de DMSO tuvo el mayor valor de peso del vástago de zanahoria con un incremento de 30.8%, y un valor de 6.7 g contra 5.1 g del testigo. En los tratamientos de AS, la mejor concentración fue 10^{-6} M con un incremento de 27.5% (Cuadro 10).

En el sexto muestreo, se observó que la parte aérea no se vio afectada por la pudrición, de tal manera que el vástago siguió creciendo normalmente sin notar grandes daños. En lo que respecta a los tratamientos 10^{-6} , 10^{-7} M de AS y el DMSO, al cotejar los valores del peso del vástago se encontraron aumentos significativos con respecto al testigo, lo que llevó a un mejor desarrollo aéreo (Figura 10).

Cuadro 10. Efecto del AS y DMSO sobre el peso fresco del vástago (g) de zanahoria (*Daucus carota* L.) var. Nantes asperjado foliarmente.

Muestréos	Testigo	DMSO	AS 10^{-7} M	AS 10^{-6} M	AS 10^{-5} M
F1	2.3 b	2.9 a	1.8 b	2.3 b	2.1 b
F2	4.0 bc	6.1 a	4.0 bc	3.5 c	4.8 b
F3	4.6 c	6.1 ab	6.5 ab	7.3 a	5.4 bc
F4	5.8 c	6.8 bc	8.4 a	7.6 ab	6.6 bc
F5	5.1 b	6.7 a	5.8 ab	6.5 ab	5.5 ab
F6	5.7 b	7.6 a	7.5 a	7.7 a	7.4 b

Valores con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey= 0.05) para cada fecha.

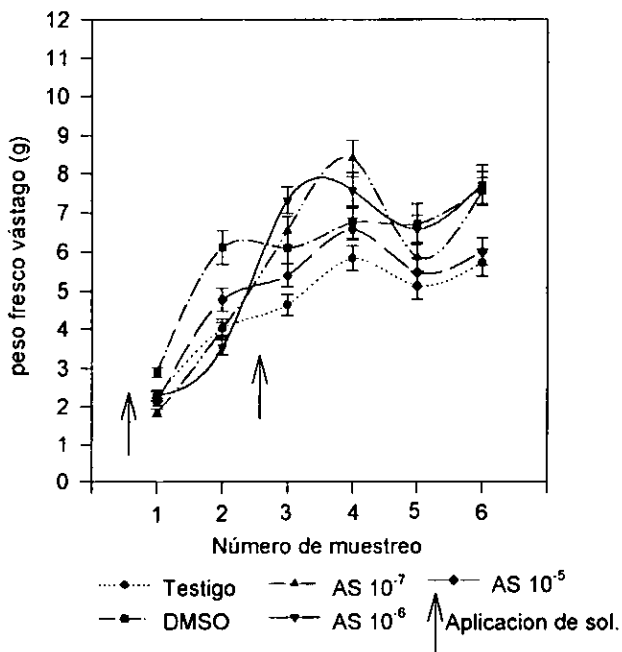


Figura 10. Peso fresco del vástago de zanahoria var. Nantes. Las flechas indican los días (68 y 93) en que se aplicó AS y DMSO bajo condiciones de campo.

Es notorio que el AS 10^{-7} , 10^{-6} M y DMSO estimularon un mayor crecimiento aéreo en plantas de zanahoria. También Gutiérrez, (1997), menciona que el AS estimula significativamente el desarrollo aéreo en tabaco, algodónero y soya. Se presupone que dicho parámetro crece más debido a que el AS fomenta la producción de ácido indolacético y ácido naftalenacético (Letham, *et al.*, 1978). En trabajos de soya aplicando AS se ha reportado una tasa relativa de crecimiento (TRC) de 0.33 cm por día y sus testigos con 0.21 cm por día de TRC, mencionando que en todos los tratamientos aumenta la actividad de la superoxido dismutasa, catalasa y nitrato reductasa en hojas (Zhao y col, 1995).

En cuanto al DMSO se observó que estimulo un mayor crecimiento aéreo, sobre todo en F5 y F6 con diferencias altamente significativas, es importante recalcar que no tenemos antecedentes de su efecto en el desarrollo del vástago.

En los tratamientos donde se obtuvo un efecto significativamente mayor con respecto al testigo, en los parámetros evaluados se resumen en el cuadro 11.

Cuadro 11. Resumen de los mejores tratamientos de los tres parámetros evaluados en zanahoria var. Nantes.

Parámetro evaluado	Muestreo	Tratamiento significativo
Peso fresco de raíz	F1	DMSO
	F2	DMSO
	F3	AS 10^{-7} y 10^{-6} M
	F4	AS 10^{-7} y 10^{-6} M
	F5	DMSO
	F6	DMSO
Longitud de raíz	F2	DMSO
	F3	DMSO, AS 10^{-7} y 10^{-6} M
	F4	AS 10^{-7} M
	F5	DMSO
	F6	DMSO
	Peso fresco vástago	F1
F2		DMSO
F3		AS 10^{-6} M
F4		AS 10^{-7} M
F5		DMSO
F6		DMSO, AS 10^{-7} y 10^{-6} M

Puede observarse que en los parámetros evaluados, el efecto favorable del DMSO ó del AS, depende de la etapa de desarrollo de la planta, donde se aplique y de su concentración. En los tres parámetros en general, el DMSO tuvo un mayor efecto que el AS. El AS tuvo efecto en las concentraciones de 10^{-7} y 10^{-6} M ya que en ninguno de los muestreos de los diferentes parámetros, la concentración de 10^{-5} M fue significativamente diferente respecto al testigo.

Con aplicaciones exógenas de AS y DMSO en zanahoria var. Nantes se pueden obtener mayores ejemplares en un menor tiempo bajo condiciones de campo. Aunque estos estudios son preliminares es importante seguir analizando el efecto del AS y DMSO, en la dinámica nutrimental del producto, a sí como continuar evaluando su efecto en campo.

4.10. CONCLUSIONES

- El DMSO 3.77×10^{-3} M estimula el crecimiento de la raíz de zanahoria var., Nantes, en peso hasta 75% y longitud 28%. Encontrándose un mayor efecto en las últimas fechas (F5 y F6).
- El DMSO estimula el crecimiento del vástago en zanahoria var. Nantes, hasta en un 52% con respecto al control, destacando las dos últimas fechas.
- El AS 10^{-7} y 10^{-6} M, estimula el crecimiento de la raíz en zanahoria var. Nantes, en peso hasta 60% y longitud hasta 15% bajo condiciones de campo, sobretodo en la F3 y F4.
- El AS 10^{-7} y 10^{-6} M estimula el crecimiento del vástago en zanahoria var. Nantes, hasta en un 57%, con respecto al control, destacando en la F3 y F4.
- El AS incrementó el crecimiento de la raíz en zanahoria var. Nantes con diferencias estadísticas, por lo que sería una alternativa en el uso de Reguladores de Crecimiento Vegetal, para ésta hortaliza en futuras prácticas.

V. EXPERIMENTO 2:

“ EFECTO DEL AS Y DMSO SOBRE EL CRECIMIENTO DE PLANTAS DE BETABEL, VAR. FORT GIANT, BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO”

5.1. LOCALIZACION DEL EXPERIMENTO

El experimento se desarrolló bajo condiciones de invernadero, situado en el campo experimental del Colegio de Postgraduados sede Montecillo, Texcoco, Estado de México; la ubicación del campo es 19° 29' latitud norte y 98° 53' de longitud oeste, con una altitud de 2250 msnm.

Presenta un clima C(Wo)(w)b(i), templado subhúmedo con régimen de lluvias en verano, la temperatura media anual es de 12 a 18°C y oscilaciones de 5 a 7°C (García, 1973).

5.2. MATERIAL VEGETAL

El material utilizado fueron semillas y plantas de betabel (*Beta vulgaris* L.) cultivar. Fort giant.

5.3. MANEJO DE LAS PLANTAS

El experimento se estableció el 3 de marzo de 1997, se sembraron tres semillas de betabel por cada tubo de polietileno negro de 60 cm de largo por 10 cm de ancho. El sustrato que se utilizó fue una mezcla de 30% de agrolita y 60% de suelo proveniente de la zona montañosa de San Pablo Izayoc, Texcoco, México. Cada maceta se fertilizó un día antes de la siembra con 100 ml de una mezcla de 0.872 g de nitrato de amonio, 0.417 g de superfosfato triple, 0.240 g de cloruro de potasio y 100 ml de agua.

Posteriormente a la germinación se aclaró dejando una plántula por cada tubo, procurando que fueran similares en apariencia y tamaño. Los riegos se efectuaban dos veces por semana. El control de malezas se hizo manualmente.

5.4. TRATAMIENTOS

Los tratamientos se muestran en la Cuadro 12

Cuadro 12. Tratamientos aplicados a Betabel 'Fort giant' bajo condiciones de invernadero.

Tratamiento	Dosis de aplicación (M)	Número de aplicaciones
Ácido salicílico (AS)	1 10^{-10}	2
	2 10^{-8}	2
	3 10^{-6}	2
	4 10^{-4}	2
Dimetilsulfóxido (DMSO)	1 3.7×10^{-8}	2
	2 3.7×10^{-6}	2
	3 3.7×10^{-4}	2
	4 3.7×10^{-2}	2
Testigo	----	----

5.5 SOLUCIONES

-Solución de AS

Se preparó una solución stock de 30 ml de 10^{-2} M de ácido salicílico PM 138.1 (grado reactivo, Sigma Chemical Co.) a partir de 0.4143 g de AS, disuelto en 9 ml de DMSO (Merck Co.) agregando posteriormente 30 ml de agua destilada. A partir de ésta se realizaron las disoluciones de 10^{-10} , 10^{-8} , 10^{-6} , 10^{-4} M de ácido salicílico. En cada una se ajustó el pH a 5.5 con una solución de hidróxido de potasio al 10% y se agregó una gota de Tween 20 como agente adherente.

-Solución de DMSO

Se preparó una solución stock de 39 ml de 3.77M de DMSO (Merck Co.) apartir de 9 ml de DMSO en 30 ml de agua destilada y se llevó a una dilución de 3.7×10^{-8} , 3.7×10^{-6} , 3.7×10^{-4} , 3.7×10^{-2} , se agregó Tween 20 y se ajustó el pH a 5.5 de igual manera que la solución de AS.

Es importante mencionar, que en cada tratamiento de AS+DMSO, se dispuso un testigo de DMSO, ya que éstas tienen la misma cantidad de DMSO pero sin AS, para con ello determinar el efecto del DMSO (Cuadro 13).

Cuadro 13. Correspondencias en molaridad entre las concentraciones de AS+DMSO y DMSO.

Concentra	DMSO (M)		AS (g)		AS (M)
1	3.7×10^{-8}	+	4.143×10^{-9}	=	10^{-10}
2	3.7×10^{-6}	+	4.143×10^{-7}	=	10^{-8}
3	3.7×10^{-4}	+	4.143×10^{-5}	=	10^{-6}
4	3.7×10^{-2}	+	0.004143	=	10^{-4}

5.6. ASPERSIONES

Las soluciones se aplicaron en dos ocasiones a todo el follaje hasta punto de goteo en la cara adaxial y abaxial de la hoja, con aspersores manuales de plástico, con capacidad de 0.5 l. La hora de aplicación fue entre las 8:00 y las 10:00 h de los días 3 de abril de 1997 (30 días después de la siembra) y 8 de abril de 1997 (35 días posteriores a la siembra).

Al momento de realizar las aspersiones, cada unidad experimental se aisló del resto de las plantas utilizando un marco de plástico.

5.7. DISEÑO EXPERIMENTAL

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con 10 repeticiones para cada tratamiento. La unidad experimental estuvo formada por una planta en cada tubo.

5.8. VARIABLES ESTUDIADAS

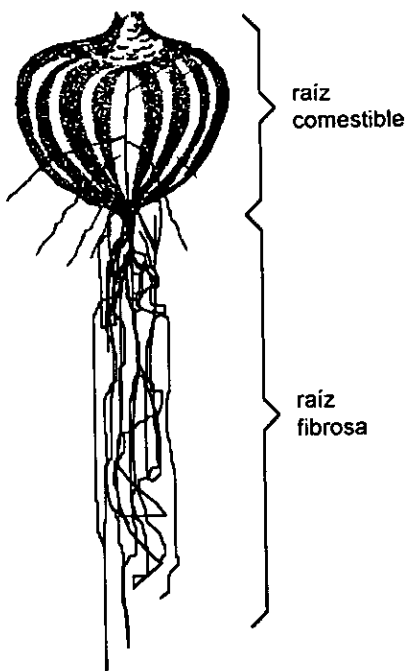
Las variables a cuantificar fueron: tasa de fotosíntesis con IRGA (ADC Co. U.K.), determinación de clorofila (Minolta Co. spad 502 IP), conductancia estomática (Licor Li-1600, OH, USA).

Las mediciones se efectuaron entre las 12:00 y las 14:00 hrs, debido a que a estas horas se tiene el máximo de luz para medir fotosíntesis y transpiración.

Las fechas de evaluación fueron las siguientes:

- a) 18 de abril de 1997 (10 días después de la segunda aplicación de soluciones).
- b) 22 de abril de 1997 (14 días después de la segunda aplicación de soluciones).

Para cuantificar mejor el efecto de los tratamientos de AS y DMSO, sobre la raíz de betabel, la dividimos en dos: raíz comestible (Rc) y raíz fibrosa (Rf):



Las demás variables: altura de la parte aérea, longitud de raíz, peso fresco de raíz, peso fresco de la parte aérea, peso seco de raíz y peso seco de la parte aérea, se realizaron posteriormente a la cosecha del 4 de junio de 1997.

5.9. ANALISIS ESTADISTICO

Para el análisis estadístico se empleo el paquete SAS. Se utilizó el análisis de varianza completamente al azar y comparación de medias por la prueba de Tukey al 5% de significancia.

5.10. RESULTADOS Y DISCUSION

CLOROFILA

En la mayoría de los casos, AS estimuló un mayor contenido de clorofila *in situ* en plantas de betabel var. Fort giant, aunque no se tuvieron diferencias significativas respecto al testigo (Cuadro 14). Gutiérrez (1997), menciona que la clorofila total *in situ* aumento significativamente en plantas de soya tratadas con ácido salicílico. Se ha reportado que compuestos fenólicos como el AS incrementan la actividad de la superóxido dismutasa, catalasa, aumentando con ello proteína prolina y contenidos de clorofila (Zhao *et al.*, 1995). El ácido salicílico incrementa la producción de H₂O₂, peroxidación de lípidos y evita el daño por oxidación en proteínas resultando en la formación de clorofila e isómeros de caroteno (Smith *et al.*, 1998).

En los tratamientos de DMSO aplicados a plantas de betabel, se observó que casi por lo general el contenido de clorofila *in situ* fue superior al testigo, pero estadísticamente no observamos diferencias. El mejor tratamiento fue el 3 (3.7×10^{-4} M), donde se obtuvo un mayor contenido de clorofila superando en 15.2% al testigo (Cuadro 14), lo cual le confiere a la planta una mayor capacidad fotosintética en general. Aunque tenemos reportes muy limitados del efecto del DMSO, en el metabolismo de las plantas, Trossat *et al.*, (1998) menciona que el DMSP (compuesto muy parecido al DMSO) estimula la síntesis en el cloroplasto de la S-metilmationina, aumentando en el cloroplasto los niveles de clorofila de 0.9 a 1.9 $\mu\text{mol mg}^{-1}$ en plantas tolerantes a la salinidad como *Wollastonia biflora* L. Lang (1986), también encontró que las plantas tratadas con DMSO desarrolladas en condiciones de sequía obtenían mayor número de brotes florales en *Phaseolus vulgaris*.

Aunque se observó una tendencia a que se incrementara el contenido de clorofila con la aplicación del DMSO, no hubo un efecto significativo del mismo ni del AS, sobre este parámetro en las plantas de betabel, al no observar diferencias en clorofila se descartó hacer otro muestreo. Quizá su evaluación a más corto plazo permitiría observar diferencias entre los tratamientos en futuras investigaciones.

Cuadro 14. Clorofila medida *in situ*, en betabel var. Fort giant determinada 10 días posteriores a la aplicación de AS y DMSO. Valores con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey=0.05)

Tratamiento	Dosis de aplicación	Clorofila (U.R)*
Acido salicílico (AS)	10^{-10} M	40.48 a
	10^{-8} M	42.80 a
	10^{-6} M	40.73 a
	10^{-4} M	37.25 a
Dimetilsulfóxido (DMSO)	3.7×10^{-8} M	40.73 a
	3.7×10^{-6} M	40.13 a
	3.7×10^{-4} M	42.93 a
	3.7×10^{-2} M	38.48 a
Testigo	-----	38.93 a

*Unidades relativas.

FOTOSÍNTESIS

Primer muestreo

En el primer muestreo realizado en las plantas tratadas con DMSO (10 días posteriores a la aplicación), encontramos que todas las concentraciones experimentales de DMSO fueron superiores al testigo, pero la única que tuvo diferencias significativas respecto al testigo fue la concentración 3 (3.7×10^{-4} M) ya que se observó un incremento de 125% con una tasa de fotosíntesis de $14.49 \mu\text{M CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ contra $6.4 \mu\text{M CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ del testigo (Figura 11).

En el primer muestreo de fotosíntesis realizado sobre las plantas tratadas con / casi todas las concentraciones se observaron aumentos

sobre la tasa de fotosíntesis, destacando más la concentración 4 (10^{-4} M de AS) incrementando 63.7% con una tasa de fotosíntesis de $10.4 \mu\text{M CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ a diferencia del testigo $6.4 \mu\text{M CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$, también la concentración 2 (10^{-8} M de AS) aumento 49.4% con una tasa de fotosíntesis de $9.6 \mu\text{M CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$. Sin embargo, ninguno de los tratamientos fue significativamente diferente respecto al testigo (Figura 11).

Segundo muestreo

En el segundo muestreo realizado a los tratamientos de DMSO y AS (15 días posteriores a la aplicación), en general se observaron pequeños aumentos en la tasa de fotosíntesis superiores al testigo, pero estadísticamente no se encontraron diferencias significativas (Figura 11).

En resumen se observó que en los primeros 10 días posteriores a la aplicación de AS y DMSO, se estimuló una mayor tasa de fotosíntesis en las plantas de betabel tratadas con DMSO, no así con AS. Esto indica que el efecto diferencial de los tratamientos en la tasa fotosintética se dio en etapas más tempranas (30 días después de siembra), ya que a los 35 días después de siembra, la fotosíntesis fue la misma en todos los tratamientos y en el testigo. Aunque se tienen reportes muy aislados del efecto de los salicilatos sobre la fotosíntesis, Almaguer (1994), encontró que al aplicar ácido acetilsalicílico en dosis de 10^{-2} M en naranjo, se incrementó notablemente la fotosíntesis con diferencias altamente significativas. Gutiérrez (1997) menciona que en la mayoría de los casos el AS estimuló una mayor fotosíntesis en plantas de algodón, tabaco y soya, aunque no se tuvieron diferencias significativas como ocurrió en esta investigación con el betabel. Zhao *et al.*, (1995) reportan que ácido salicílico incrementa marcadamente la tasa fotosintética en plantas de soya.

Pancheva *et al* (1996) demostraron que a concentraciones de 100 μM a 1 mM, la tasa de fotosíntesis disminuía notablemente a diferencia del testigo, éstos cambios observados son el resultado de un efecto indirecto, mediado por un cierre estomático, causando una reducción en el aporte de CO_2 , ellos mencionan que la regeneración de la 1,3 ribulosa bifosfato es más rápidamente inhibida que por la eficiencia de carboxilación de la Rubisco.

En lo que respecta al DMSO no tenemos antecedentes de sus efectos en la fotosíntesis, es interesante ver que la tasa se incrementa notablemente en la concentración tres (3.7×10^{-4} M) tanto en el primero como en el segundo muestreo, como observamos anteriormente en esta misma concentración la clorofila *in situ* tuvo su nivel máximo, por lo que creemos que el DMSO estimula la actividad fotosintética a esta concentración.

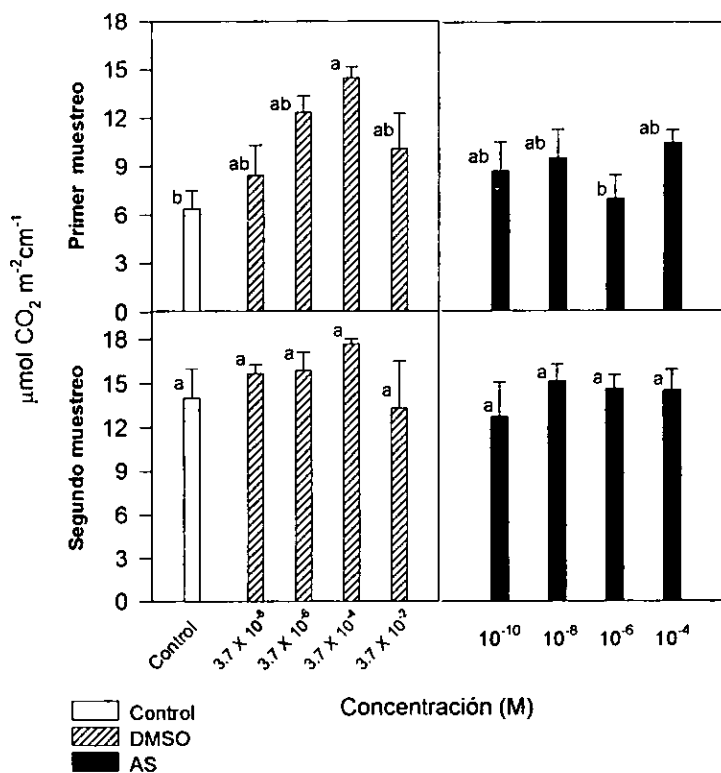


Figura 11. Fotosíntesis en plantas de betabel var. Fort giant a los 10 y 15 días posteriores a la aplicación de las soluciones. Valores con la misma letra son estadísticamente iguales ($p \geq 0.05$).

PESO FRESCO DEL VASTAGO

En todos los tratamientos de DMSO se encontró un aumento en el peso fresco del vástago en plantas de betabel var. Fort giant, observándose un mayor efecto con diferencias significativas en la concentración 3 (DMSO 3.7×10^{-4}) incrementando 47.2% con 115.3 g, contra 78.3 g del testigo (Cuadro 15) (Figura 12). Es interesante notar que en ésta misma concentración se encontró un aumento en la clorofila *in situ* y la tasa de fotosíntesis como se

reportó anteriormente, razón por la cual le confiere a la planta una mayor capacidad fotosintética en general, por lo que el crecimiento aéreo se vio estimulado encontrándose plantas más grandes en los tratamientos con DMSO. Lang (1986), menciona que DMSO estimula la floración y fructificación en plantas de *Phaseolus vulgaris*, sometidas a sequía. Probablemente el DMSO se acumule en las hojas de betabel por ser una planta altamente tolerante a la salinidad y sequía, estimulando un mayor aparato fotosintético y por ende un mayor crecimiento general.

En cuanto a los tratamientos de AS se encontró un aumento del peso fresco del vástago en plantas de betabel var. Fort giant en todas las concentraciones, siendo significativa la diferencia con respecto al testigo, en las concentraciones de 10^{-8} y 10^{-6} . Destacando la concentración 10^{-6} M, con un valor de 89.2 g incrementando 13.8%, con respecto al testigo (Cuadro 15) (Figura 12). Tenemos antecedentes de que el AS estimula el crecimiento del vástago, por ejemplo Gutiérrez (1997), encontró que AS 10^{-2} M estimuló el crecimiento aéreo hasta en 20% en plantas de soya. También Zhao *et al* (1995), reportaron que plantas de soya tratadas con AS, incrementaron su tasa relativa de crecimiento (RTC); probablemente se deba a que el AS, fomenta la producción de ácido indolacético y naftalenacético (Letham *et al.*, 1978).

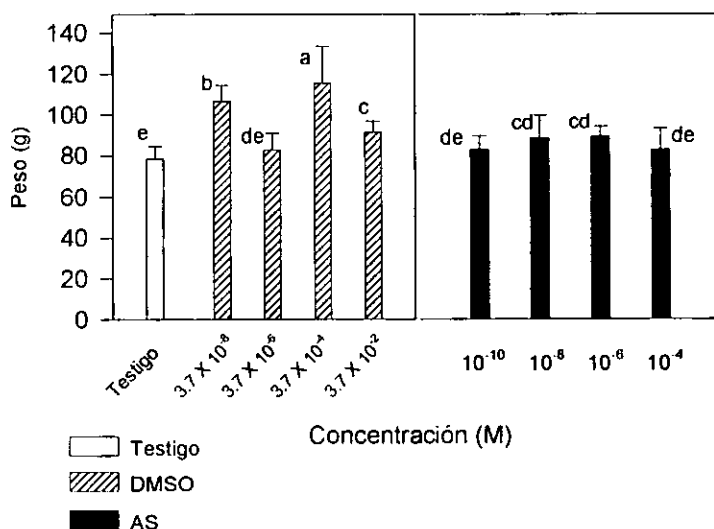


Figura 12. Peso fresco del vástago en plantas de betabel var. Fort giant, bajo condiciones de invernadero, después de haber aplicado AS y DMSO. Valores con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey > 0.05).

Cuadro 15. Parámetros de crecimiento (raíz y vástago) determinados posteriormente a la aplicación de DMSO y AS, en plantas de betabel var. Fort giant. Valores con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey ≥ 0.05).

Tratamiento (M)	Pf vástago (g)	Pf raíz fibr. (g)	Pf raíz comes. (g)	Long. raíz fibr. (cm)	Vol. tuber. (ml)
Testigo	78.3 e	3.4 ab	113.6 de	51.0 c	106.6 e
DMSO 3.7×10^{-8}	106.6 b	4.6 ab	154.0 a	56.6 c	151.0 a
DMSO 3.7×10^{-6}	82.7 de	5.8 ab	123.6 c	64.0 b	120.5 cd
DMSO 3.7×10^{-4}	115.3 a	8.4 a	157.1 a	75.9 a	151.0 a
DMSO 3.7×10^{-2}	91.3 c	8.7 a	135.6 b	73.2 a	130.3 b
AS 10^{-10}	83.1 de	4.6 ab	108.7 e	66.0 b	104.3 e
AS 10^{-8}	88.6 cd	6.2 ab	124.1 c	56.9 c	119.6 cd
AS 10^{-6}	89.2 cd	5.1 ab	131.2 b	54.3 c	126.7 bc
AS 10^{-4}	82.9 de	3.0 b	118.0 cd	53.4 c	113.7 d

RAIZ

Después de analizar la parte aérea se procedió a estudiar el efecto de los tratamientos sobre el sistema radical (raíz fibrosa y raíz comestible) de betabel var. Fort giant.

PESO FRESCO RAIZ COMESTIBLE

En cuanto al peso fresco de la raíz comestible de betabel, se observaron diferencias estadísticas en casi todos los tratamientos con respecto al testigo (Figura 13).

En los experimentos con DMSO en todos los tratamientos se encontró un incremento en el peso fresco de la raíz comestible de betabel, con diferencias significativas con respecto al control. La mejor concentración fue la 3 (3.7×10^{-4} M), con un peso en la raíz comestible de 157.1 g, incrementando 38.3% más que el testigo, siguiendo la concentración 1 (3.7×10^{-8} M) con un peso de 154 g aumentando 35.6% más de peso fresco a diferencia del testigo que pesó 113.6 g (Cuadro 15) (Figura 13).

En los tratamientos con AS, encontramos aumentos en el peso de la raíz comestible de betabel con diferencias significativas respecto al control, en las concentraciones de 10^{-8} y 10^{-6} M; el valor más alto se encontró en la concentración 3 (10^{-6} M) con un valor de 131.2 g siendo 15.5 % más que el testigo, enseguida la concentración 2 (10^{-8} M) con un valor de peso fresco de raíz con 124.1g con un aumento de 9.2% más que el testigo (Cuadro 15) (Figura 13).

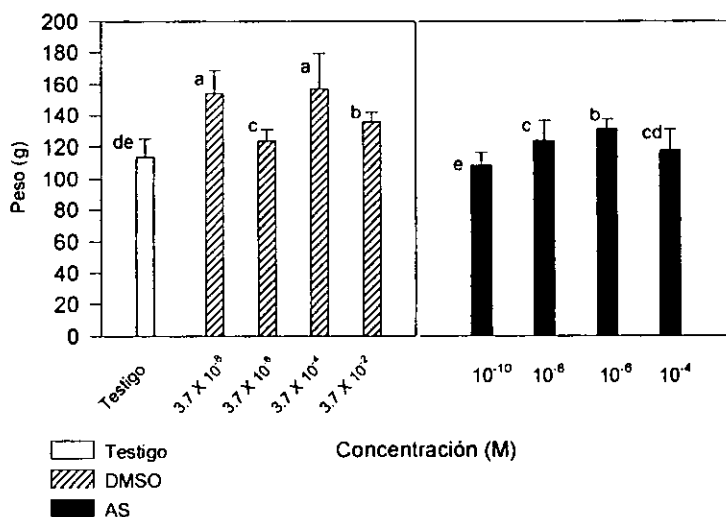


Figura 13. Peso fresco de la raíz comestible en plantas de betabel var. Fort giant, bajo condiciones de invernadero, después de haber aplicado AS y DMSO. Valores con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey \geq 0.05).

PESO FRESCO DE LA RAIZ FIBROSA

En el análisis de los resultados realizado a las plantas tratadas con DMSO, se observó un aumento en el peso fresco de la raíz fibrosa de betabel en todas las concentraciones. Se encontraron diferencias significativas únicamente en la concentración 4 (3.7×10^{-2} M) con un valor peso fresco de la raíz fibrosa de 8.7 g aumentando 157% más que el testigo y la concentración 3 (3.7×10^{-4} M) con un valor de 8.4 g con un aumento de 147% (Cuadro 15) (Figura 14). En las demás concentraciones de DMSO no se encontraron diferencias significativas.

En la mayoría de los tratamientos de AS se estimuló un mayor aumento en el peso fresco de la raíz fibrosa de betabel, aunque no se tuvieron diferencias significativas con respecto al control. Las plantas tratadas con AS en general fueron superiores al testigo (Cuadro 14) (Figura 14).

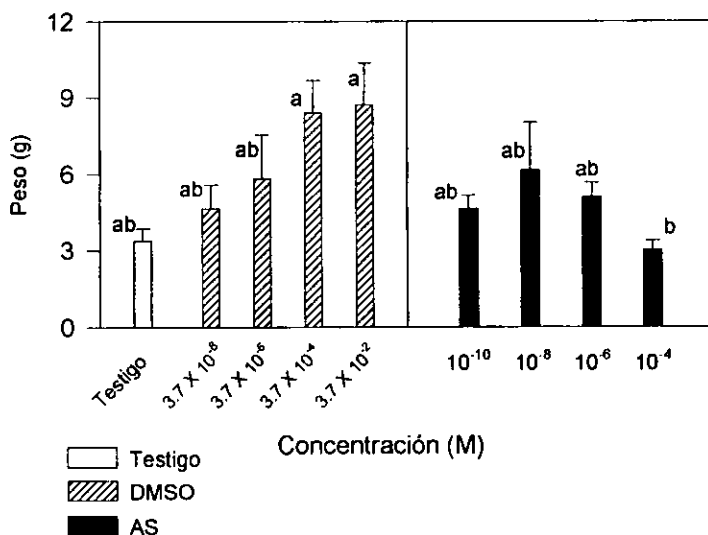


Figura 14. Peso fresco de la raíz fibrosa en plantas de betabel var. Fort giant, bajo condiciones de invernadero, después de haber aplicado AS y DMSO. Valores con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey ≥ 0.05).

LONGITUD DE LA RAIZ FIBROSA

Tratando de evaluar al máximo el efecto del AS y DMSO sobre la raíz, se procedió a analizar la longitud de la raíz fibrosa de betabel var. Fort giant.

En los tratamientos de DMSO se encontró un aumento considerable en la longitud de la raíz fibrosa de betabel en todas las concentraciones empleadas excepto en la concentración 1 (3.7×10^{-8} M), de tal modo que las concentraciones 3 y 4 tuvieron un mayor efecto. La concentración 3 (3.7×10^{-4} M) tuvo un valor en la longitud de la raíz fibrosa de 75.9 cm., con un incremento de 48.7%, y la concentración 4 (3.7×10^{-2} M) con un valor de 73.1 cm incrementó 43.4%, estas fueron estadísticamente superiores al testigo (Cuadro 15)(Figura 15).

En los experimentos de AS, observamos que todos los tratamientos incrementaron la longitud de la raíz fibrosa de betabel pero solo se encontraron diferencias estadísticas en la concentración 1 (10^{-10} M) (Figura 15).

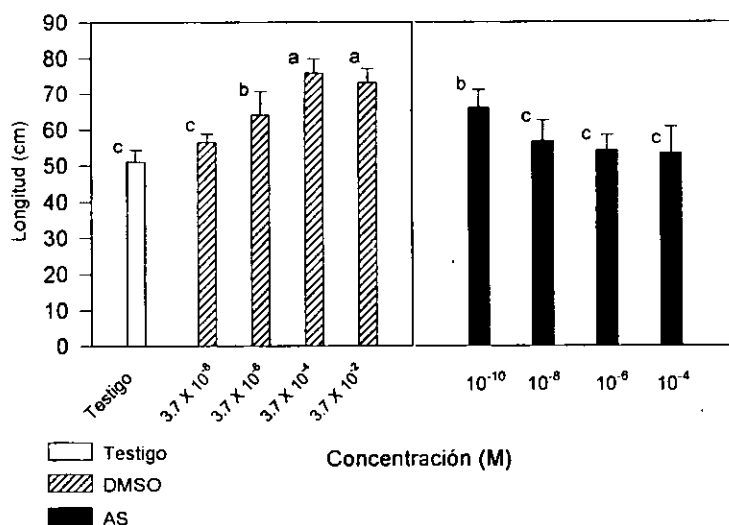


Figura 15. Longitud de la raíz fibrosa en plantas de betabel var. Fort giant, bajo condiciones de invernadero, después de haber aplicado AS y DMSO. Valores con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey ≥ 0.05).

VOLUMEN DE LA RAIZ COMESTIBLE

Se notó en general, que todas las plantas de betabel tratadas con DMSO, presentaron significativamente mayor volumen de la raíz comestible, de tal manera que el tratamiento 3 (3.7×10^{-4} M) y 1 (3.7×10^{-8} M), presentaron el mayor efecto al aumentar en un 42% el volumen con 151 ml contra 106.6 ml del testigo (Figura 16) (Cuadro 15).

En los tratamientos con AS, se observó un aumento en el volumen de la raíz comestible de betabel en casi todos los tratamientos excepto en la concentración 1 (10^{-10} M), así tenemos que la concentración 3 (10^{-6} M) aumento 19% el volumen con 126.7 ml contra el testigo 106.6 ml (Figura 16).

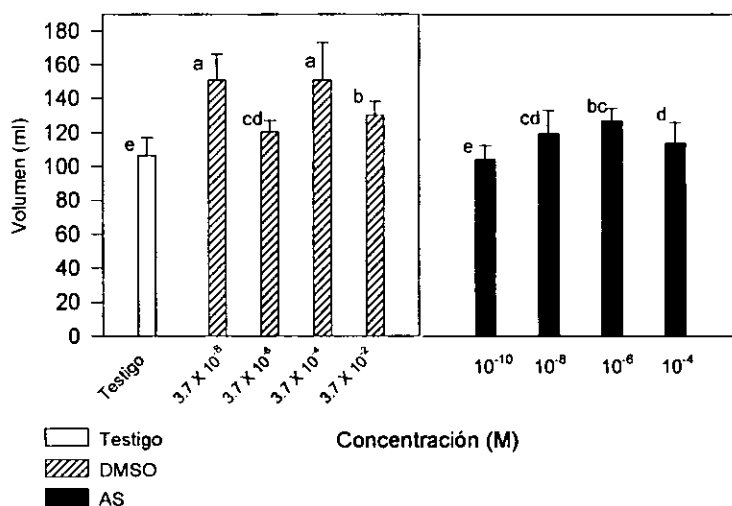


Figura 16. Volumen de la raíz comestible en plantas de betabel var. Fort giant, bajo condiciones de invernadero, después de haber aplicado AS y DMSO. Valores con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey \geq 0.05).

DIAMETRO ECUATORIAL Y POLAR DE LA RAIZ COMESTIBLE

Se encontró que en los tratamientos de DMSO, las raíces comestibles de betabel crecieron en largo y ancho superando todos los tratamientos al testigo, aunque no se encontraron diferencias significativas. El crecimiento más marcado fue en la concentración 3 (3.7×10^{-4} M) se encontró que la raíz creció más en un plano polar, ya que se obtuvo hasta un incremento de 24.8% y el diámetro ecuatorial aumento hasta un 6.8 %, cabe mencionar que en todas las concentraciones se mantuvo constante el crecimiento ecuatorial, por lo que podemos decir que el DMSO estimuló más el alargamiento de la raíz comestible en plantas de betabel var. Fort giant (Cuadro 16).

En lo que respecta a los tratamientos con AS, también se observó un crecimiento ecuatorial y polar en la raíz comestible de betabel pero sin diferencias significativas, la concentración con mayor éxito fue la 2 (10^{-8}), con un diámetro polar de 7.2 cm y un diámetro ecuatorial de 6.4 cm, incrementando 17.4% y 6.47% respectivamente contra el testigo, esto indica que las raíces comestibles tratadas con AS también tendieron a alargarse (Cuadro 16)

Cuadro 16. Diámetro polar y ecuatorial de la raíz comestible de betabel var. Fort giant, cultivada bajo condiciones de invernadero. Valores con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey ≥ 0.05).

Tratamiento (M)	Diámetro polar (cm)	Diámetro ecuatorial (cm)
Ácido salicílico (AS)		
1 10^{-10}	6.1 a	5.9 a
2 10^{-8}	7.2 a	6.4 a
3 10^{-6}	6.0 a	6.2 a
4 10^{-4}	6.1 a	6.1 a
Dimetilsulfóxido		
1 3.7×10^{-8}	7.2 a	6.4 a
2 3.7×10^{-6}	6.9 a	5.9 a
3 3.7×10^{-4}	7.7 a	6.4 a
4 3.7×10^{-2}	7.1 a	6.5 a
Testigo	6.1 a	6.0 a

En lo que respecta al peso seco de los parámetros puede observarse en el Cuadro 17. En general, las plantas de betabel tratadas con DMSO fueron superiores al AS y testigo, podemos mencionar que es normal encontrar valores más altos en la raíz fibrosa, ya que al ser más largo el sistema radical en los tratamientos de DMSO y AS, incrementó más el peso seco en los tratamientos.

Cuadro 17. Peso seco de los parámetros de crecimiento determinados posteriormente a la aplicación de AS y DMSO en betabel var. Fort giant. Valores con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey \geq 0.05).

Concentración	Raíz comestible (g)	Raíz fibrosa (g)	Parte aérea. (g)
Ácido salicílico			
1 10^{-10}	21.0 a	1.2 a	9.4 a
2 10^{-8}	23.7 a	1.9 a	9.0 a
3 10^{-6}	24.9 a	1.7 a	10.2 a
4 10^{-4}	18.8 a	1.0 a	9.1 a
Dimetilsulfóxido			
1 3.7×10^{-8}	24.0 a	1.3 a	10.8 a
2 3.7×10^{-6}	19.3 a	1.8 a	8.6 a
3 3.7×10^{-4}	24.9 a	2.4 a	10.7 a
4 3.7×10^{-2}	24.2 a	3.6 a	9.6 a
Testigo	23.6 a	1.0 a	9.4 a

En resumen

Los tratamientos donde se tuvo un efecto significativamente diferente con respecto al testigo, en los parámetros evaluados en betabel se resumen en el cuadro 18.

En los experimentos de betabel var. Fort giant se encontró un incremento significativo en el crecimiento de la raíz y del vástago por parte de los tratamientos, destacando el DMSO por encima del AS y testigo. Estos datos llamaron nuestra atención porque se esperaba que el mayor crecimiento de las raíces de betabel var. Fort giant se efectuará en los tratamientos con ácido salicílico ya que teníamos antecedentes de que el AS induce el enraizamiento en varias especies de plantas (Basú *et al.*, 1969; Bose *et al.*,

1972; Roy *et al.*, 1972; Kling y Meyer, 1983), o lo reportado por Gutiérrez (1997), donde encontró que el AS incrementaba hasta en 100% la longitud de las raíces en soya, tabaco y algodón.

López y Scott (1997) reportaron que el ASA inducía la tuberización en la papa. En éste experimento se observó que las concentraciones de AS que oscilan entre 10^{-8} y 10^{-6} , fueron donde se observaron los mejores resultados.

Cuadro 18. Resumen de los mejores tratamientos en los parámetros evaluados en betabel var. Fort giant..

Parámetro evaluado	Tratamiento con efecto significativo (M)
Clorofila	DMSO (NINGUNO) AS (NINGUNO)
Fotosíntesis	DMSO (3.7×10^{-4} a) AS (NINGUNO)
Peso fresco vástago	DMSO (3.7×10^{-4} a; 3.7×10^{-8} b) AS (10^{-6} cd; 10^{-9} cd)
Peso fresco de raíz comestible	DMSO (3.7×10^{-4} a; 3.7×10^{-8} a) AS (10^{-6} b; 10^{-8} c)
Volumen de raíz comestible	DMSO (3.7×10^{-4} a; 3.7×10^{-8} a) AS (10^{-6} bc; 10^{-9} cd)
Peso fresco de raíz fibrosa	DMSO (3.7×10^{-4} a; 3.7×10^{-8} a) AS (NINGUNO)
Longitud de raíz fibrosa	DMSO (3.7×10^{-4} a; 3.7×10^{-2} a) AS (10^{-10} b)

En los tratamientos realizados sobre las plantas de betabel var. Fort giant, se observó que el DMSO (3.7×10^{-4} M) estimuló significativamente el crecimiento de la raíz comestible y fibrosa, por encima del AS y testigo. Probablemente debido a que se encontró en ésta misma concentración un mejor crecimiento del vástago con una mayor actividad fotosintética, conservándose un desarrollo balanceado vástago-raíz. También es interesante observar que el mayor crecimiento de la raíz comestible se desarrolló más en un plano polar que en un plano ecuatorial, eso significa que la raíz comestible de las plantas tratadas con DMSO tendieron a alargarse más. Fue evidente que el DMSO estimuló un mayor crecimiento general en las plantas de betabel correlacionándose con lo encontrado por Prik'ko *et al.*, (1978) quien menciona que el DMSO asperjado a plantas de betabel incrementa el rendimiento de la raíces comestibles.

5.11. CONCLUSIONES

- El DMSO ejerció mayor efecto que el AS en el crecimiento de las plantas de betabel var. Fort giant.
- El DMSO a una concentración 3.7×10^{-4} M, promovió en plantas de betabel var. Fort giant. un mayor contenido de clorofila *in situ* (16%) y mayor actividad fotosintética (125%), detectándose ganancias significativas en el peso del vástago (47%).
- El DMSO a una concentración 3.7×10^{-4} M, estimuló significativamente un mayor crecimiento en todo su sistema radical parte comestible (38%) en peso y parte fibrosa (147%) en peso y (49%) en longitud.
- El AS a concentraciones de 10^{-8} a 10^{-6} M, estimularon el crecimiento aéreo (14%) y radical parte comestible (15.5%) en peso y parte fibrosa (11.8%) en longitud en plantas de betabel var. Fort giant.

VI. EXPERIMENTO 3:

“EFECTO DEL AS Y DMSO SOBRE EL CRECIMIENTO DE PLANTAS DE RABANO VAR. CHAMPION CULTIVADOS BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO”

6.1. GENERALIDADES

Varias son las pruebas que Larqué-Saavedra y col. han realizado con rábano, utilizando distintas concentraciones de AS y DMSO, con respuestas favorables en el crecimiento de la raíz. Ante éstos antecedentes se hizo muy interesante volver a realizar dichos experimentos con las mismas concentraciones utilizadas con el betabel.

6.2. LOCALIZACION DEL EXPERIMENTO

El experimento se desarrolló bajo condiciones de invernadero, situado en el campo experimental del Colegio de Postgraduados sede Montecillo, Texcoco, Estado de México; la ubicación del campo es 19° 29' latitud norte y 98° 53' de longitud oeste, con una altitud de 2250 msnm.

Presenta un clima C(Wo)(w)b(i), templado subhúmedo con régimen de lluvias en verano, la temperatura media anual es de 12 a 18°C y oscilaciones de 5 a 7°C (García 1973).

6.3. MATERIAL VEGETAL.

El material utilizado fueron semillas y plantas de rábano (*Raphanus sativus* L.) cultivar. Champion.

6.4. MANEJO DE LAS PLANTAS

El experimento se estableció el 17 de marzo de 1997, se sembraron tres semillas de rábano por cada tubo de polietileno negro de 60 cm de profundidad por 10 cm de ancho. El sustrato que se utilizó fue una mezcla de 30% de agrolita y 60% de suelo de la zona montañosa de San Pablo Izayoc, Texcoco, México, previamente esterilizado con bromuro de metilo.

Cada maceta se fertilizó un día antes de la siembra con 100 ml de una mezcla de: 0.872 g de nitrato de amonio, 0.417 g de superfosfato triple, 0.240 g de cloruro de potasio en 100 ml de agua.

Posteriormente a la germinación se aclaró dejando una plántula por cada tubo, procurando que fueran similares en apariencia y tamaño. Los riegos se efectuaban dos veces por semana. El control de malezas se hizo manualmente.

6.5. TRATAMIENTOS.

Los tratamientos se muestran en la Cuadro 19.

Cuadro 19. Tratamientos aplicados a rábano var. Champion bajo condiciones de invernadero.

Tratamiento	Dosis de aplicación (M)	Número de aplicaciones
Ácido salicílico (AS)	1	2
	2	2
	3	2
	4	2
Dimetilsulfóxido (DMSO)	1	2
	2	2
	3	2
	4	2
Testigo	---	---

6.6. SOLUCIONES

Las soluciones de AS y DMSO se prepararon con las especificaciones ya señaladas en el caso del betabel (pagina 46 y 47).

6.7. ASPERSIONES

Las soluciones se aplicaron en dos ocasiones a todo el follaje hasta punto de goteo en la cara adaxial y abaxial de la hoja, con aspersores manuales de plástico, con capacidad de 0.5 l. , La hora de aplicación fue entre las 8:00 y las 10:00 h de los días 3 de abril de 1997 (17 días después de la siembra) primera hoja bien formada y 8 de abril de 1997 (22 días posteriores a la siembra), primera hoja bien desarrollada y segunda en desarrollo

Al momento de realizar las aspersiones, cada unidad experimental se aisló del resto de las plantas utilizando un marco de plástico.

6.8. DISEÑO EXPERIMENTAL

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con 10 repeticiones para cada tratamiento, la unidad experimental estuvo formada por una planta en cada tubo.

6.9. VARIABLES ESTUDIADAS.

Las variables a cuantificar fueron: tasa de fotosíntesis con IRGA (ADC Co. U.K.), determinación de clorofila (Minolta Co. spad 502 IP).

Las mediciones se efectuaron entre las 12:00 y las 14:00 hrs, debido a que a éstas horas se tiene el máximo de luz para medir fotosíntesis.

Las fechas de evaluación fueron las siguientes:

- a) 18 de abril de 1997 (10 días después de la segunda aplicación de soluciones).
- b) 22 de abril de 1997 (14 días después de la segunda aplicación de soluciones)

Las demás variables: altura de la parte aérea, longitud de raíz, peso fresco de raíz, peso fresco de la parte aérea, peso seco de raíz y peso seco de la parte aérea, se realizaron posteriormente a la cosecha del 23 de abril de 1997.

6.10 ANALISIS ESTADISTICO

Para el análisis estadístico se empleó el paquete SAS. Se utilizó el análisis de varianza completamente al azar y comparación de medias por la prueba de Tukey al 5% de significancia.

6.11. RESULTADOS Y DISCUSION

FOTOSINTESIS

Primer muestreo

Al efectuar la prueba de comparación de medias de Tukey en el primer muestreo, no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos de AS y DMSO con respecto al testigo en las plantas de rábano var. Champion. De hecho en los tratamientos de DMSO, casi todas las tasas de fotosíntesis estuvieron por debajo del testigo excepto la concentración 4 (3.77×10^{-2} M) que aumento 5.5% aunque ésta diferencia no fue significativa (Figura 17).

En cambio las plantas de rábano tratadas con AS presentaron incrementos en la tasa de fotosíntesis, pero cabe destacar que no se observaron diferencias significativas con respecto al testigo (Figura 17).

Segundo muestreo.

Para el segundo muestreo realizado 5 días después, casi todas las concentraciones de DMSO y AS, estuvieron por debajo del testigo, por lo que no hubo diferencias significativas (Figura 17).

Probablemente no se encontraron diferencias significativas en la fotosíntesis debido a que los muestreos se hicieron muy separados, ya que desde que se aplicaron las soluciones, se dieron 10 días de margen para muestrear, es muy factible que hayan sido demasiados días, por lo que pensamos que en los primeros días hubiera sido mejor, debido a que el crecimiento del rábano es muy rápido, ya que en 30 días aproximadamente tiene bien formada la raíz comestible. Es muy probable que los efectos del AS y DMSO se dan rápidamente por lo que es recomendable hacer los muestreos de fotosíntesis, a los 2 días después de haber aplicado las soluciones.

Un aspecto relevante dentro de los procesos fisiológicos en las plantas, es el entendimiento de la fotosíntesis, en betabel observamos diferencias significativas con la aplicación de DMSO y AS también en soya, algodónero y tabaco, la tasa de fotosíntesis siempre fue superior en las plantas tratadas con AS a diferencia del control (Gutiérrez, 1997).

Pancheva *et al* (1996), aplicando ácido salicílico a plantas de cebada, encontraron que la actividad de la enzima RuBP carboxilasa disminuye al incrementar las concentraciones de ácido salicílico, mientras que la actividad de la fosfoenol piruvato carboxilasa aumenta, cambiando con ello la tasa de asimilación del CO_2 y por lo tanto la fotosíntesis en general. En nuestro trabajo no hubo efecto positivo ni negativo en la tasa de fotosíntesis en rábano var. Champion.

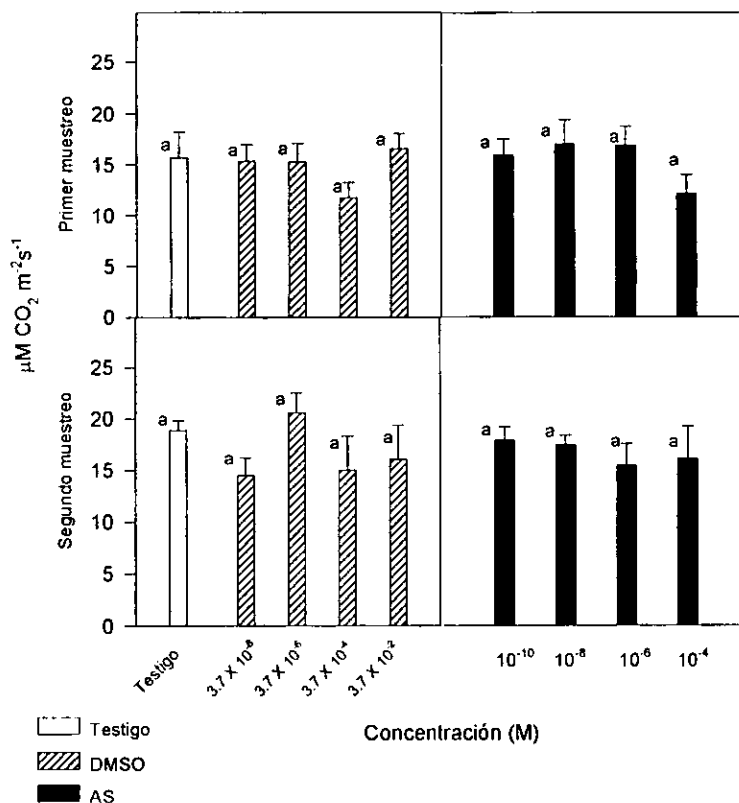


Figura 17. Fotosíntesis en plantas de rábano var. Champion a los 10 y 15 días posteriores a la aplicación de las soluciones. Valores con la misma letra son estadísticamente iguales ($p \geq 0.05$).

CLOROFILA

En cuanto a la clorofila *in situ* medida en plantas de rábano var. Champion se pueden observar los resultados en el Cuadro 20. No se encontraron diferencias significativas en los tratamientos de AS y DMSO con respecto al testigo. Datos de acuerdo a los de fotosíntesis, la clorofila no cambia por el efecto de AS y DMSO. Se tienen antecedentes de que AS estimula la síntesis de pigmentos fotosintéticos. Rao *et al* (1997), mencionan que a concentraciones de 1mM de AS aumentan los niveles de clorofila a, clorofila b, β caroteno, violaxantina, anteraxantina en las hojas de *Arabidopsis*, pero a concentraciones de 5mM de AS disminuyen los niveles de todos los pigmentos fotosintéticos. Pancheva *et al* (1996), reportan que aplicando ácido salicílico a plantas de cebada a concentraciones de 0.1 mM a 1 mM los contenidos de clorofila se reducían, sobre todo a medida que salicílico aumentaba. Por lo que la concentración de ácido salicílico y el tipo de planta, al cual es aplicado juegan un rol determinante en el contenido de pigmentos fotosintéticos.

Cuadro 20. Clorofila medida *in situ* en rábano (*Raphanus sativus* L.) var. Champion, determinada 10 días posteriores a la aplicación de AS y DMSO. Valores con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey=0.05).

Tratamiento	Dosis de aplicación	Clorofila (U.R)*
Ácido salicílico (AS)	10^{-10} M	36.5 a
	10^{-8} M	34.8 a
	10^{-6} M	31.8 a
	10^{-4} M	33.8 a
Dimetilsulfóxido (DMSO)	3.77×10^{-8} M	37.0 a
	3.77×10^{-6} M	38.0 a
	3.77×10^{-4} M	37.8 a
	3.77×10^{-2} M	40.7 a
Testigo	---	38.9 a

*Unidades relativas.

PESO FRESCO DEL VÁSTAGO

En lo que respecta al peso fresco del vástago en plantas de rábano var. Champion, en los 4 tratamientos de DMSO no se encontraron diferencias significativas respecto a pesar de que los valores fueron superiores a este último (Figura 18).

Lo mismo ocurrió con los tratamientos de AS con plantas de rábano, los valores de peso fresco del vástago en las 4 concentraciones fueron superiores al control, pero sin diferencias significativas (Cuadro 21).

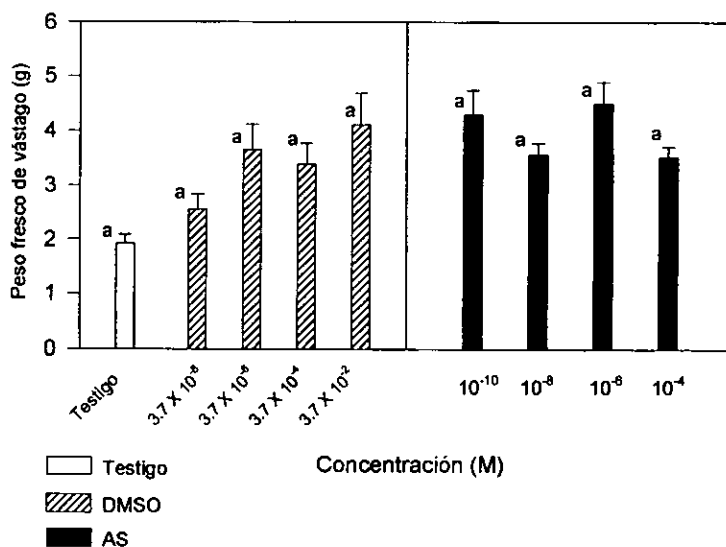


Figura 18. Peso fresco del vástago en plantas de rábano var. Champion, bajo condiciones de invernadero, después de haber aplicado AS y DMSO. Valores con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey \geq 0.05).

Aunque Gutiérrez, (1997), destaca que el AS estimula considerablemente el crecimiento aéreo en tabaco, soya y algodón. En nuestras observaciones en plantas de rábano también se encontró un crecimiento más marcado pero sin diferencias significativas.

Cuadro 21. Efecto de AS y DMSO a diferentes concentraciones sobre el crecimiento de raíz y vástago (peso fresco) en plantas de rábano var. Champion. Valores con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey ≥ 0.05).

Tratamiento (M)	P.F. Vástago (g)	P.F. raíz (g)	Lon. raíz (cm)	Vol. raíz (ml)
Control	2.0 a	4.2 c	5.2 b	3.8 c
DMSO 3.7×10^{-8}	2.6 a	3.0 c	5.8 b	2.0 c
DMSO 3.7×10^{-6}	3.7 a	5.7 c	6.7 ab	4.2 c
DMSO 3.7×10^{-4}	3.4 a	7.0 bc	6.8 ab	5.6 bc
DMSO 3.7×10^{-2}	4.1 a	8.8 bc	6.6 ab	7.6 bc
AS 10^{-10}	4.3 a	13.0 a	11.3 a	11.6 a
AS 10^{-8}	3.6 a	8.5 bc	8.1 ab	7.0 bc
AS 10^{-6}	4.5 a	12.2 ab	9.3 ab	11.2 ab
AS 10^{-4}	3.5 a	6.8 bc	7.2 ab	5.6 bc

PESO FRESCO DE LA RAIZ.

En los tratamientos con DMSO, encontramos un aumento en el peso fresco de la raíz de rábano en casi todas las concentraciones pero cabe resaltar que no se observaron diferencias significativas con respecto al testigo (Cuadro 21).

En lo que respecta a los experimentos con AS encontramos un marcado crecimiento de la raíz de rábano en todas las concentraciones empleadas con marcadas diferencias significativas, resaltando la concentración de 10^{-10} M de AS con un incremento de 210%, dos veces más de lo que peso el testigo, con un valor medio en el peso de la raíz de 13.0 g contra 4.2 g del testigo y la concentración 10^{-6} M de AS con un valor medio de 12.2 incrementando 190% (Figura 19).

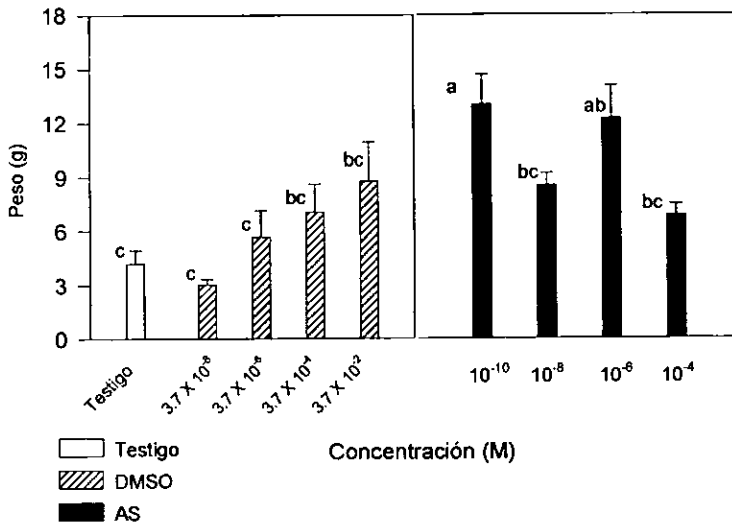


Figura 19. Peso fresco de la raíz en plantas de rábano var. Champion, bajo condiciones de invernadero, después de haber aplicado AS y DMSO. Valores con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey ≥ 0.05).

VOLUMEN DE LA RAIZ COMESTIBLE

En las plantas de rábano var. Champion tratadas con DMSO, se encontraron aumentos en el volumen de la raíz pero sin diferencias significativas respecto al testigo. (Cuadro 21).

En los tratamientos de AS se encontró un aumento en el volumen de la raíz de rábano en las 4 concentraciones (Figura 20), siendo el incremento significativamente mayor que el testigo en la concentración 10^{-10} M de AS incrementando hasta en 200%, con un valor de 11.6 ml, contra 3.8 ml del testigo (Cuadro 21) y en la concentración 10^{-6} M de AS con un valor de 11.2 ml incrementando 194%.

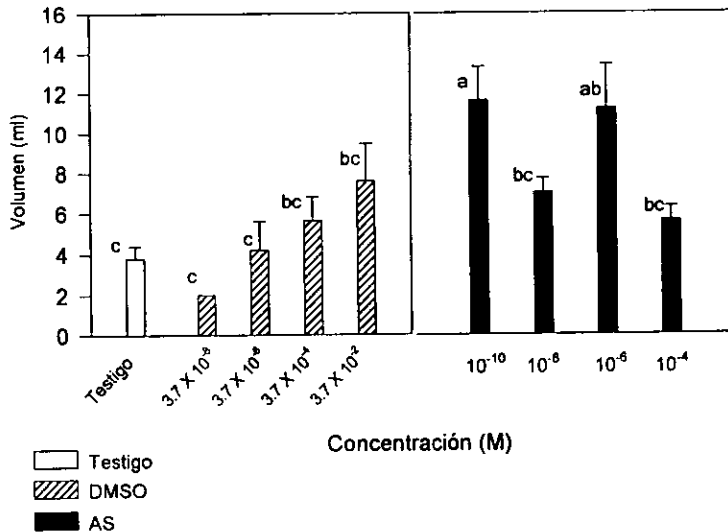


Figura 20. Volumen de la raíz en plantas de rábano var. Champion, bajo condiciones de invernadero, después de haber aplicado AS y DMSO. Valores con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey ≥ 0.05).

LONGITUD DE LA RAIZ

En todos los tratamientos de DMSO se encontró un aumento en la longitud de la raíz de rábano, pero sin diferencias significativas con respecto al testigo. Los valores oscilaron entre 6.6 a 6.8 cm, aumentando hasta 25% (Cuadro 21) (Figura 21).

En los tratamientos de AS, se encontraron aumentos en la longitud de la raíz de rábano en todas las concentraciones (Figura 21). La mejor concentración de AS con diferencias significativas fue la número 10^{-10} M de AS, con un incremento de 120 % con un valor de 11.3 cm, contra 5.2 cm del testigo (Cuadro 21).

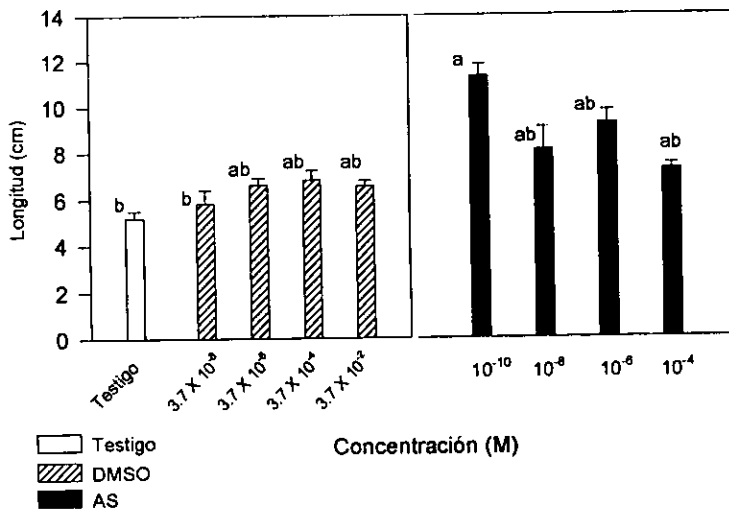


Figura 21. Longitud de la raíz en plantas de rábano var. Champion, bajo condiciones de invernadero, después de haber aplicado AS y DMSO. Valores con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey ≥ 0.05).

DIAMETRO POLAR Y ECUATORIAL DE LA RAIZ

En todos los tratamientos de DMSO y AS encontramos valores por encima del testigo en el diámetro polar y ecuatorial de la raíz de rábano, pero sin diferencias significativas (Cuadro 22). En el muestreo se observó un mayor aumento en el diámetro ecuatorial, por lo que las plantas de rábano tratadas con AS y DMSO tendieron hacerse más redondas "globosas". Por lo que sería conveniente hacer cortes histológicos de la raíz para tener un conocimiento más preciso del crecimiento de las células.

Cuadro 22. Diámetro polar y ecuatorial de la raíz comestible de rábano var. Champion, cultivada bajo condiciones de invernadero. Valores con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey \geq 0.05).

Tratamiento (M)	Diámetro polar (cm)	Diámetro ecuatorial (cm)
Ácido salicílico (AS)		
1 10^{-10}	4.3 a	2.4 a
2 10^{-8}	3.7 a	2.1 a
3 10^{-6}	4.5 a	2.3 a
4 10^{-4}	3.4 a	1.9 a
Dimetilsulfóxido		
1 3.7×10^{-8}	2.6 a	1.5 a
2 3.7×10^{-6}	3.1 a	1.7 a
3 3.7×10^{-4}	3.2 a	1.8 a
4 3.7×10^{-2}	3.5 a	2.0 a
Testigo	3.1 a	1.5 a

PESO SECO

Al haber un mayor crecimiento en la raíz y vástago de las plantas de rábano tratadas con AS y DMSO se observó un aumento en los valores de peso seco en todos los parámetros medidos aunque no se encontraron diferencias significativas con respecto al testigo (Cuadro 23).

Cuadro 23. Peso seco de los parámetros de crecimiento determinados posteriormente a la aplicación de AS y DMSO en rábano var. Champion. Valores con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey \geq 0.05).

Tratamiento (M)	Peso seco del vástago (g)	Peso seco de la raíz (g)
Ácido salicílico (AS)		
1 10^{-10}	0.43 a	0.74 a
2 10^{-8}	0.41 a	0.63 a
3 10^{-6}	0.53 a	0.84 a
4 10^{-4}	0.37 a	0.40 a
Dimetilsulfóxido		
1 3.7×10^{-8}	0.25 a	0.19 a
2 3.7×10^{-6}	0.40 a	0.44 a
3 3.7×10^{-4}	0.33 a	0.38 a
4 3.7×10^{-2}	0.36 a	0.50 a
Testigo	0.24 a	0.22 a

En resumen

Los tratamientos donde se tuvo un efecto significativamente diferente con respecto al testigo, en los parámetros evaluados en rábano se resumen en el cuadro 24.

Como hemos observado AS 10^{-10} M estimuló significativamente un mayor crecimiento de las raíces de rábano var. Champion por encima del DMSO y testigo, corroborando lo encontrado por Ray, (1986) quien realizó experimentos con rábano, encontrando que el ácido abscísico (ABA) es un potente inhibidor del crecimiento del hipocótilo de *Raphanus*. Pero compuestos fenólicos como el ácido salicílico y ácido trans-cinámico cuando son aplicados con (ABA) antagonizan su acción y restablecen su desarrollo normal pero cuando se aplicó ABA+Giberelinas + AS, a las plantas se observó que el ácido salicílico favoreció más el crecimiento inducido por las giberelinas y antagonizando la influencia inhibitoria del ABA. Gutiérrez (1997) menciona en su tesis doctoral que las plantas de algodón tratadas con AS crecían más del 80% en su sistema radical, menciona que probablemente se deba a que el AS estimule la formación de enzimas como la AIA oxidasa, relacionadas con el crecimiento de la raíz. Neera y Garg (1989) también han reportado que el AS incrementa la AIA oxidasa y actividades de peroxidasa en nódulos de raíz de

Cicer arietinum L. Ling y Li (1995) publicaron que AS afecta la actividad de la enzima AIA oxidasa y la polifenol oxidasa en respuesta a la formación de raíces adventicias sobre esquejes de hipocótilo de *Vigna radiata*.

Otro mecanismo que probablemente esté implicado, es que el AS modifica la concentración *in vivo* de H₂O₂ vía catalasa éste cambio en la concentración puede afectar a la ruta de la AIA oxidasa. (Zheng y Husystiee, 1923; Wagner, 1995).

Es notable que la acción del ácido salicílico en el crecimiento y desarrollo de las raíces esta interconectado con una serie de reacciones que aún desconocemos.

Cuadro 24. Resumen de los mejores tratamientos en los parámetros evaluados en rábano var. Champion.

Parámetro evaluado	Tratamiento con efecto significativo (M)
Clorofila	DMSO (NINGUNO) AS (NINGUNO)
Fotosíntesis	DMSO (NINGUNO) AS (NINGUNO)
Peso fresco vástago	DMSO (NINGUNO) AS (NINGUNO)
Peso fresco de raíz comestible	DMSO (NINGUNO) AS (10 ⁻¹⁰ a; 10 ⁻⁶ ab)
Volumen de raíz comestible	DMSO (NINGUNO) AS (10 ⁻¹⁰ a; 10 ⁻⁶ ab)
Longitud de la raíz	DMSO (NINGUNO) AS (10 ⁻¹⁰ a)

El uso de AS como RCV en plantas de rábano var. Champion es factible ya que se observaron diferencias significativas en el crecimiento de la raíz.

6.12 CONCLUSIONES

- El AS ejerció mayor efecto que el DMSO en el crecimiento de las plantas de rábano var. Champion. Cabe destacar que no se encontraron diferencias significativas en la tasa de fotosíntesis y la clorofila *in situ* en todos los tratamientos.
- El AS a una concentración de 10^{-10} M, estimuló el crecimiento de la raíz (peso 210%, volumen 200% y longitud de raíz 120%) en plantas de rábano var. Champion.
- El DMSO no tuvo una influencia significativa sobre el crecimiento de raíz y vástago en rábano var. Champion.

**ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

VII. DISCUSION GENERAL

Hoy en día aún se desconoce por completo, el papel que juegan los salicilatos en el metabolismo de las plantas cuando se aplican exógenamente. En los tres experimentos se observaron datos interesantes, que pueden dar pauta para una serie de investigaciones importantes.

Es un hecho que el crecimiento y forma de las plantas es controlado por la interacción de factores ambientales (luz, temperatura, etc.) y actividades hormonales endógenas producidas en diferentes partes de la planta, determinadas por la constitución genética de los individuos. por lo que el crecimiento es la última expresión de la interacción entre inhibidores y promotores.

El uso de RCV para desarrollar mejores cultivos es una alternativa viable para obtener mejores cosechas. Es por eso determinante encontrar concentraciones, dosis de aplicación y las etapas de crecimiento de la planta más adecuadas. Es tan complejo que si por ejemplo aplicamos a una planta diferente concentración de AS, en la misma época la respuesta es completamente distinta, o bien si en la misma concentración se varía la época de aplicación, la respuesta varía de igual manera (Gutiérrez, 1997). Es por eso que la actividad reguladora del AS, se vuelve muy compleja para cada concentración, especie y etapa fenológica de la planta aplicada. En los experimentos observamos que las concentraciones optimas de AS y DMSO fueron diferentes para cada especie. Por ejemplo para el caso del AS en el primer experimento en plantas de zanahoria se observaron los mejores resultados a una concentración de AS 10^{-6} M. En cambio en las plantas de betabel, donde se vio un efecto más marcado en los parámetros medidos oscilaron entre las concentraciones 10^{-8} a 10^{-6} M. En las plantas de rábano en todos los parámetros medidos la concentración en la que se obtuvieron mayores resultados fue la 10^{-10} y 10^{-6} M. También se observó que concentraciones cercanas a 10^{-2} M induce daños fisiológicos, alterando el metabolismo en plantas de rábano. Por lo que reiteramos que la concentración y etapa de aplicación son muy importantes.

En las concentraciones de DMSO encontramos un caso similar ya que la concentración optima fue diferente para cada especie a si tenemos que los mejores resultados fueron 3.7×10^{-4} M para las plantas de betabel, 3.7×10^{-3} M para las plantas de zanahoria y 3.7×10^{-2} M para el caso del rábano.

En cuanto a la fecha de aplicación de AS se observó que la mejor etapa de aplicación en plantas de rábano y betabel fue cuando las plantas presentaban las primera dos hojas. En el experimento de zanahoria realizado en campo, los mejores resultados se obtuvieron cuando las plantas tenían 90 días, ésto se debió probablemente a que el tipo de sembrado era de alta densidad.

CLOROFILA

El contenido de clorofila juega un rol importante en el metabolismo de las plantas. En los contenidos de clorofila *in situ* realizado a los experimentos de AS en plantas de rábano y betabel no se observaron diferencias significativas, aunque varios tratamientos de AS fueron superiores al testigo; Gutiérrez (1997) encontró un aumento significativo en la clorofila en plantas de soya tratadas con AS 10^{-2} M.

Se ha reportado que hojas de *Arabidopsis thaliana* tratadas con altas concentraciones de AS (5 mM) acumulan clorofila e isómeros de caroteno, probablemente se deba a que las hojas tratadas con AS son capaces de aumentar el peróxido de hidrogeno y generar O_2 y 1O_2 por la activación del NADPH-oxidasa o por la activación de superóxido dismutasa (Rao *et al.*, 1997). También Zhao *et al* (1995), mencionan que el AS incrementa la actividad de la superóxido dismutasa, catalasa y nitrato reductasa en hojas de soya, incrementando con ello los contenidos de clorofila.

Pancheva *et al* (1996) reportan que aplicando AS a plantas de cebada a concentraciones de 0.1 mM a 1mM los contenidos de clorofila se reducian, sobre todo a medida que el ácido salicílico aumentaba. En las plantas de rábano también se encontró algo similar a más altas concentraciones de AS (10^{-2} a 10^{-4} M) donde los contenidos de clorofila disminuían notablemente.

En los tratamientos de DMSO, se observó que en la mayoría de los casos estimuló un mayor contenido de clorofila, aunque no se tuvieron diferencias significativas. Se ha reportado que el DMSP, un derivado del DMS, del cual se extrae el dimetilsulfóxido, estimula la síntesis en el cloroplasto de la S-metilmetionina, aumentando en el cloroplasto los niveles de clorofila de 0.9 a $1.9 \mu\text{mol mg}^{-1}$ en *Wollastonia biflora* L. (Trossat *et al.*, 1998).

FOTOSÍNTESIS

La fotosíntesis es un proceso metabólico básico en el desarrollo de las plantas. Por lo que su estudio y análisis es fundamental para conocer el comportamiento de las aplicaciones de AS y DMSO.

En los tratamientos de AS en plantas de betabel y rábano, observamos pequeños aumentos en la tasa fotosintética aunque éstos no fueron significativos. Gutiérrez (1997), encontró incrementos en la fotosíntesis aunque éstos también no fueron significativos en plantas de soya, tabaco y algodón.

Almaguer (1995), encontró que al aplicar ácido acetilsalicílico en dosis de 10^{-2} M en naranjo, incrementó notablemente la fotosíntesis con diferencias altamente significativas. Zhao *et al* (1995) reportan que AS incrementa marcadamente la tasa fotosintética en plantas de soya. Pancheva *et al* (1996), demostraron que a concentraciones de 100 μ M a 1 mM, la tasa de fotosíntesis disminuía notablemente a diferencia del testigo, estos cambios observados son el resultado de un efecto indirecto, mediado por un cierre estomático, causando una reducción en el aporte de CO_2 , ellos mencionan que la regeneración de la 1,5 ribulosa bifosfato es más rápidamente inhibida que por la eficiencia de carboxilación de la Rubisco.

En los tratamientos de DMSO se observaron aumentos significativos en la tasa de fotosíntesis en plantas de betabel. Pero en plantas de rábano no se encontraron diferencias con respecto al testigo. En la literatura no se tienen reportes del efecto del DMSO sobre la fotosíntesis por lo que es interesante seguir estudiando éste compuesto.

CRECIMIENTO DEL VASTAGO

En el desarrollo del vástago, se observaron aumentos llegando a encontrarse diferencias significativas en las plantas tratadas con AS, con respecto al testigo. Gutiérrez (1997), menciona que AS afecta significativamente el crecimiento aéreo en soya, algodón y tabaco. Probablemente se deba que AS fomenta la producción de ácido indolacético y ácido naftalenacético (Letham, Godwin y Higgins, 1978).

Zhao *et al* (1995), han reportado que el AS en plantas de soya incrementan la actividad de la superóxido dismutasa, catalasa y nitrato reductasa, incrementando proteína, prolina y contenidos de clorofila, presentando una TRC de 0.33 cm por día y sus testigos con 0.21 cm/m

En los tratamientos de DMSO observamos aumentos considerables en el peso del vástago, llegando a ser hasta el doble del testigo con diferencias significativas. Aunque se desconoce mucho el efecto que ejerce el DMSO en las plantas. Rute *et al* (1981) encontraron que DMSO incrementa la proporción de flores femeninas en pepino. Lang (1986), menciona que el DMSO actúa como un regulador de crecimiento en la floración y fructificación de *Phaseolus vulgaris* L. Rammner y Zaffaroni (1967) mencionan que probablemente debido a su pequeña dimensión, puede penetrar regiones de las subunidades proteicas más fácilmente que otros disolventes y gracias a su molécula de azufre que es parte indispensable de la vida regule actividades metabólicas indispensables en las plantas.

CRECIMIENTO RADICAL

En los tratamientos de AS, observamos un marcado aumento del crecimiento de la raíz llegando a ser en algunos casos más del doble del testigo, con altas diferencias significativas, como hemos mencionado anteriormente se tienen muchos antecedentes de que AS y compuestos fenólicos estimulan el crecimiento radical. Gutiérrez (1997), encontró un marcado crecimiento de la raíz en plantas de soya, algodón y tabaco tratadas con AS. Aunque años atrás Basu *et al.*, (1969), menciona que el AS promueve marcadamente el crecimiento de la raíz. Otros autores también han observado que el AS estimula el crecimiento de raíces adventicias en diversas plantas (Bose *et al.*, 1972; Roy *et al.*, 1972; Kling y Meyer, 1983). Mohinder *et al* (1992) encontró que el ácido salicílico estimula fuertemente el desarrollo de raíces adventicias en variedades de madera suave del árbol del Neem.

Para tratar de explicar por qué aumenta el tamaño de las raíces se han propuesto varias vías: El ácido salicílico estimula la formación de enzimas precursoras de auxinas como el AIA oxidasa y la polifenol oxidasa en la formación de raíces adventicias de *Vigna radiata* (Ling y Li, 1995), algo similar encontraron Neera y Garg (1989) quienes reportan que aplicando AS, incrementan la actividad de la AIA oxidasa y peroxidasa en nódulos de la raíz de *Cicer arietinum* L., probablemente ésta formación de auxinas promueve un mayor crecimiento aéreo y mayor desarrollo radical.

Otro mecanismo que probablemente esté implicado, es que el AS inhibe la acción de la catalasa aumentando la concentración *in vivo* de H_2O_2 , éste cambio en la concentración puede afectar a la ruta de la AIA oxidasa, afectando la peroxidación lipídica, aumenta los niveles de clorofila consiguiendo un balance adecuado vástago-raíz (Zheng y Husystiee, 1992; Wagner, 1995; Rao, *et al.*, 1997). Schopfer (1996), propone que la pared celular es controlada por los niveles de H_2O_2 (Figura24).

Aunque actualmente se han hecho más investigaciones con el ácido salicílico muchas de sus vías metabólicas todavía permanecen inciertas, especialmente el efecto que causa el AS en la raíz.

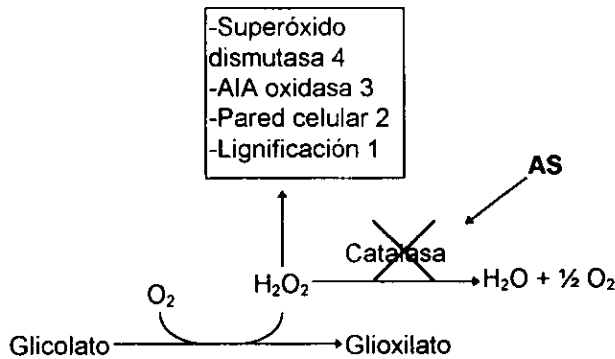


Figura 22. Posible rol del AS y H₂O₂ en el metabolismo de las plantas. 1, Rao *et al.*, 1997; 2, Tenhaken *et al.*, 1995; Schopfer, 1996; 3, Zheng y Husystiee, 1992; 4, Zhao *et al.*, 1995

En lo que respecta al DMSO se observó un crecimiento de la raíz en casi todos los tratamientos con diferencias altamente significativas sobretodo en plantas de betabel y zanahoria. Los resultados obtenidos en las plantas de betabel asperjadas con DMSO se relacionan mucho por lo obtenido por Prik'ko *et al.*, (1978) ya que encontró que plantas de betabel asperjadas foliaramente con DMSO, aumentaban el rendimiento de las raíces.

En general, puede considerarse que el AS y DMSO actúan como RCV pero es importante tomar en cuenta la concentración y tiempo de aplicación de cada uno de ellos. A futuro sería necesario evaluar si afectan la calidad nutritiva de las hortalizas tratadas a sí como aumentar el número de repeticiones en aquellos tratamientos donde hubo un incremento en los parámetros evaluados con respecto al control pero sin diferencias significativas.

Cabe considerar la idea de que el DMSO, estimulo más en varias ocasiones las variables estudiadas, lo cual abre un campo extenso para llevar a cabo nuevas investigaciones en cuanto al papel fisiológico que juega el DMSO en las plantas.

VII. CONCLUSION GENERAL

De los resultados obtenidos, podemos concluir :

El ácido salicílico y dimetilsulfóxido actúan como reguladores del crecimiento vegetal ya que hemos observado que estimulan un mejor desarrollo radical y aéreo en zanahoria, betabel y rábano.

IX. BIBLIOGRAFIA

- Almaguer, V.G. 1994. Producción forzada en naranja (*Citrus sinensis* L. Osbeck). Tesis de Doctorado en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Chapingo México. 140 p.

- Andreae, M.O. 1980 a. Determination of trace quantities of dimethyl sulfoxide in aqueous solution. *Anal. Chem.* 52: 150-153.

- Andreae, M.O. 1980 b. Dimethylsulfoxide in marine and freshwaters. *Limnol. Oceanog.* 25: 1054-1063.

- Ashwood-Smith, M.J. 1967. Radioprotective and cryoprotective properties of dimethyl sulfoxide in cellular systems. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 141: 45-62.

- Basú, R.N., Bose, T.K., Roy, B.N. and Mukhopadhyay A. 1969. Auxin synergist in rooting of cuttings. *Physiol plant.* 22:649-652.

- Bennet, R. N. y Wallsgrave, R. M. 1994. Secondary metabolites in plant defence mechanisms. *New Phytol.* 127: 617-633.

- Bi Y-M, Kenton, P., Murr, L., Darby, R., Draper, J. 1995. H₂O₂ does not function downstream of salicylic acid in the induction of PR protein expression. *Plant J.* 8: 235-245.

- Bose, T.K., Roy, B.N., Basú, R.N. 1972. Synergism between auxins and phenolic compounds in the rooting of cuttings. *Indian Agr.* 16: 171-176.

- Boyco, A.L., Morgan, M.E. y Libbey, L.M. 1978. Analisis of foods and beverages, G. Charalambous (Ed), Academic Press, Nueva York, pp. 57-59.

- Brown, V.K., Robinson, J. y Stevenson, D.E. 1963. A note on the toxicity and solvent properties of dimethyl sulfoxide. *J. Pharm. Pharmacol.* 15:688-692.

- Canova, L. 1971. Congresso Internacional de O'leos essenciais, Rio de Janeiro, Academia Brasileira De Cinencias 44, Oct. 11-16, pp. 273-277.

- Chen, Z., Silva, H. and Klessig, D.F. 1993. Active oxygen species in the induction of plant systemic acquired resistance by salycilic acid. Science. 262:1883-1886.

- Cleland, C. F. y Ajami, A. 1974. Identification of the flower-inducing factor isolated from aphid hoynedew as being salicylic acid. Plant Physiol. 54: 904-906.

- Cleland, C.F. y Tonaka, O. 1979. Effect of daylenght on the ability of salicylic acid to induce flowering in the longday plant *Lemna Gibba* G3 and the short-day plant *Lemna Paucicostata* 6746 Plant physiol 64:421-424.

- Colmer, T.D., Fan, T.W.M., Läuchli, A., Higashi, R.M., 1996. Interactive effects of salinity, nitrogen and sulphur on the organic solutes in *Spartina alterniflora*, leaf blades. J. Exp. Botany 47: 369-375.

- Conrath, U., Chen, Z., Ricigliano, J.R. y Klessig, D.F. 1995. Two inducers of plant defense responses, 3,6-dichloroisonicotinic acid and salicylic acid, inhibit catalasa activities in tobacco. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 92: 7143-7147.

- Cortés, O.A., 1982. Efecto de inhibidores del crecimiento y antitranspirantes sobre algunas características físicas y fisiológicas de naranjo agrio (*Citrus aurantium* L.). Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.

- Cowie, J.M.G. y Topowski, P.M. 1961. Association in the binary liquid system dimethyl sulfoxide-water. Can. J. Chem. 39:2240

- Devore, G. 1979. Química orgánica. Trad. E. Muñoz. Ed. Publicaciones Culturales. México, 734 p.

- Esau, Katherine. 1972. Anatomía vegetal. Ed. Omega. Barcelona España. 780 p.

- García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köpen. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. México D.F. 246 p.
- García, P. R. y Larqué-Saavedra A. 1981. El efecto de los salicilatos en la maduración fisiológica del jitomate *Lycopersicon esculentum* Mill. *Agrociencia* 44: 7-15.
- Genin, André. 1994. Application of botany in horticulture. Science Publishers. U.S.A.
- Goldman, L., Igelman, J.M. y Kitzmiller, K. 1967. Investigative studies with DMSO in dermatology. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 141: 428-436.
- Godoy, H. G. y Loyola, V. V., 1997. Effect of acetylsalicylic acid on secondary metabolism of *Catharanthus roseus* tumor suspension cultures. *Plant Cell Reports*. 16: 287-290.
- Growth, F., Westcott, R.J. y Henshaw, G.G. 1978. Survival of shoot meristems of tomato seedlings frozen in liquid nitrogen. *Cryobiology* 15: 478-483.
- Guenko, Guenkov. 1983. Fundamentos de la Horticultura Cubana. ed. Pueblo y Educación. La Habana Cuba.
- Gutiérrez, C.M. 1997. Reguladores de crecimiento XIII: Estudio del ácido Salicílico en Soya, Algodónero y Tabaco. Tesis de Doctorado. Colegio de Postgraduados. Chapingo México.
- Hanson, A.D. y Gage, D.A. 1996. 3-dimethylsulfoniopropionate biosynthesis and use by flowering plants. In: Kiene, R.P., Visscher, P.T., Keller, M.D., Kirst, G.O. Eds, *Biological and Environmental Chemistry of DMSP and related sulfonium compounds*. Plenum. Press, New York, pp 75-86.
- Hanson, A.D., Rivoal, J., Paquet, L. y Gage, D.A. 1994. Biosynthesis of 3-dimethylsulfoniopropionate in *Wollastonia Biflora* (L) D.C Evidence that S-methylmethionine is an intermediate. *Plant Physiol* 105: 103-110.

- Harper, R.J. y Bolke, N.E. 1981. Characterization of the inhibition of K⁺ absorption in oat roots by salicylic acid. *Plant Physiol.* 68:1349-1353.
- Jankiewicz, L.S. 1989. Desarrollo vegetal. Sustancias reguladoras, Ed. Difusión Cultural. Colección Cuadernos Universitarios. Serie agronomía. Universidad Autónoma Chapingo. Número 16. 86 p.
- Jones, B. S. 1988. Sistemática vegetal. Mac Graw Hill. México. 536 p.
- Kartha, K. K., Leung, N.L. y Pahl, K. 1980. Cryopreservation of strawberry meristems and mass propagation of plants. *Journal of the American Society of Horticultural Science* 105: 481-484.
- Keller, M.D., Bellows, W.K. y Guillard, R.R. 1989. Dimethylsulfide production in marine phytoplankton. In: Saltzman, E.S., Copoper, W. J. (Eds), *Biogenic sulfur in the environment*. American Chemical Society, Washington, DC, pp. 167-182.
- Kiddle, G.A., Doughty, K.J. y Walgrove, R.M. 1994. Salicylic acid-induced accumulation of glucosinolatos in oilseed rape (*Brassica napus* L.) leaves. *J. Exp. Bot.* 45 (278): 1343-1346.
- Klessig, F.D. y Malamy J. 1994. The salicylic acid signal in plants. *Plant Molecular Biology.* 26: 1439-1458.
- Kligman, A.M. 1965. Topical pharmacology and toxicology of dimethyl sulfoxide (DMSO). Part. Y. *J. Amer. Med. Assoc.* 193: 796-804.
- Kling, G.J. y Meyer, M.M. 1983. Effects of phenolic compounds and indolacetic acid on adventitious root initiation in cuttings of *Phaseolus aureus*, *Acer saccharinum*, and *Acer griseum*. *HortScience* 18(3): 352-354.
- Lang, O.F.P. 1986. Reguladores de crecimiento VIII: Efectos del ácido acetilsalicílico y/o dimetil sulfoxido en el rendimiento agronómico de *Phaseolus vulgaris* L. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Chapingo México. 64 p.

- Larqué-Saavedra, A. 1978. The antitranspirant effect of acetilsalicylic acid on *Phaseolus vulgaris*. *Physiol. Plant.* 43:126-128.
- Larqué -Saavedra, A. 1979. Stomatal closure in response to acetylsalicylic acid treatment. *Z. Pflanzenphysiologie.* 93:371-375.
- Leake, C.D. 1967. Biological actions of dimethylsulfoxide. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 141:1-2
- Leon, J., Yalpani, N., Raskin, Y., y Lawton, M. 1993. Induction of benzoic acid 2-hydroxylase in virus-inoculated tobacco. *Plant physiol* 103: 323-328.
- Leslie, C. y Romani, R.J. 1986. Salicylic Acid: a new inhibition of ethylene biosynthesis. *Plant Cell Rep.* 5:144-46.
- Leslie, C. y Romani, R.J. 1988. Inhibition of ethylene biosynthesis by salicylic acid. *Plant Physiol.* 88: 833-837.
- Letham, D.S., Goodwin, P.B. y Higgins, T.J.V. 1978. *Phytohormones and related compounds a comprehensive treatise. Vol. II.* Elsevier/North-Holland. Biomedical Press. N.Y.USA 366-369.
- Li, Ling. y Li-L. 1995. Effects of resorcinol and salicylic acid on the formation of adventitious roots on hypocotyl cutting of *Vigna radiata*. *Journal of Tropical and Subtropical Botany.* 3:4, 67-71.
- López, B. M del C. 1984. *Reguladores del crecimiento V. Estudio de aspersiones de ácido salicílico, saligenina y cinetina en la producción de trigo (Triticum aestivum L.). Tesis de licenciatura. Escuela Nacional de Estudios Profesionales Zaragoza. UNAM. 92 p.*
- López, D.H. 1987. Efecto del ácido acetilsalicílico en el crecimiento de yemas de *Solanum cardiophyllum* cultivadas *in vitro*. Tesis de Maestría en Ciencias. Chapingo, México.
- López, D.H. y Scott, I. M. 1997. Induction of *in vitro* tuberization of potato microplants by acetylsalicylic acid. *Journal of Plant Physiol.* 151:74-78.

- Maas, C.V. 1984. Crop Tolerance. *California Agriculture* 38(10): 20-21.

- Malamy, J., Carr, J. P. y Raskin, I. 1990. Salicylic acid: a likely endogenous signal in the resistance response of tobacco to viral infection. *Science* 250:1002-4.

- Mann, J. 1987. Secondary metabolism. 2a. ed. Clarendon Oxford, U.S.A. pp 172-190.

- Manzhesov, V. 1994. How to increase carrot seedling's storability. *Kartofel'-i-Ovoshchi* 4: 5.

- Maroto, B.J.U. 1989. *Horticultura herbacea especial*. Ed. Mundi prensa. Madrid España. 566 p.

- Mc.Gregor, W.S. 1967. The chemical and physical properties of DMSO. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 141:3-12.

- Méndez, R.O.F. 1984. Detección de plagas y enfermedades del rábano en Chapingo México. Tesis profesional. Departamento de parasitología agrícola. Universidad Autónoma de Chapingo, México.

- Merck Index. 1996. *The Merck Index: an encyclopedia of chemical, drugs, and biological*. 12 ed. New Jersey Merck & Co.

- Mohinder, P., Badola, K.C. y Bhandari, H.C.S. 1992., Stimulation of adventitious root regeneration on leafy shoot cuttings of neem (*Azadirachta indica*) by auxin and phenols. *Indian journal of forestry* 15:1 68-70.

- Mudge, K.W. y Narayanan, K.R. 1981. Testigo of strawberry fruit set and development with auxins. *Journal of the American Society of Horticultural Science* 106:80-84.

- Neera, G. y Garg, O.P. 1989. Effect of exogenous treatment with some phenolics compounds on nitrogen fixation, growth and yield in *Cicer arietinum* L. *Current-Science*. 58:1, 31-32.

- Nishiguchi, M.K. y Somero, G.N. 1992. Temperature and concentration dependence of compatibility of the organic osmolyte β -dimethylsulfoniopropionate. *Cryobiology* 29: 118-124.

- Pancheva, T. V., Popova, I. P. y Uzunova, A. N. 1996. Effects of salicylic acid on growth and photosynthesis in barley plants. *J. Plant. Physiol* 149: 57-63.

- Paquet, L., Rathinasabapathi, B., Saini, H., Zamir, L., Gage, D.A., Huang, Z.H. y Hanson, A.D. 1994. Accumulation of the compatible solute 3-dimethylsulfoniopropionate in sugarcane and its relatives but not other gramineous crops. *Aust. J. Plant physiol* 21: 37-48.

- Pearson, T.W., Dawson, H.J. y Lackey, H.B. 1981. Natural occurring levels of dimethyl sulfoxide in selected fruits, vegetables, grains and beverages. *J. Agric. Food Chem.* 29: 1089-1091.

- Pérez, H.C. y Nelia, C.Li. 1988. *Horticultura. ed. Pueblo y educación. La Habana Cuba.*

- Perlman, F. y Wolfe, H.F. 1966. Dimethylsulfoxide as a penetrant carrier of allergens through intact human skin. *J Allergy.* 38: 299.

- Prik'ko, N.V. y Kushitskii, M.F. 1978. Increasing sugar beet productivity by applying dimethylsulfoxide. *Khimiya u Sel'skom khozyaisture.* 16:68-78.

- Rammler, D.H. y Zaffaroni, A. 1967. Biological implications of DMSO based on a review of its chemical properties. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 141: 13-23.

- Rao, M.V., Paliyath, G., Ormrod, D.P., Murr, D.P. y Watkins, C.B. 1997. Influence of salicylic acid on H₂O₂ production, oxidative stress, and H₂O₂ metabolizing enzymes. *Plant physiol.* 115: 137-149.

- Raskin, I., Ehmann, A., Melander, W. R. y Meeuse, B.J. 1987. Salicylic acid: A natural inducer of heat production in *Arum lilies*. *Science.* 237:1545-56.

- Raskin, I., Skubatz, Z., Tang, W. y. Meeuse, B.J.D. 1990. Salicylic acid levels in thermogenic and non-thermogenic plants. *Ann. Bot.* 66, 369-373.
- Raskin, I. 1992. Role of salicylic acid in plants. *Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 43:439-463
- Ray, S.D. 1986. GA, ABA, Phenol interaction in the testigo of growth: Phenolic compounds as effective modulators of GA-ABA interaction in radish seedlings. *Biol. Plant.* 28: 361-369.
- Ray, S.D., Guruprasad, K.N. y Laloraya, M.M. 1983. Reversal of abscisic acid inhibited betacyanin synthesis by phenolic compounds in *Amaranthus caudatus* seedlings. *Plant Physiol.* 58:175-178.
- Rhoads, M. y Mc Intosh, Lee. 1993. Cytochrome and alternative pathway respiration in *Tobacco*. *Plant Physiol.* 103:877-883.
- Rhodes, M. J. 1994. Physiological roles for secondary metabolites in plants: some progress, many outstanding problems. *Plant. Mol. Biol* 24: 1-20.
- Rodríguez, G. C. 1990. Reguladores de crecimiento X: Efecto de la aspirina y gibberelina en *Opuntia amyoclaea*. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 56 pág.
- Rodríguez, G.H. 1976. prueba de 7 fechas con 6 variedades de rábano en el campo agropecuario experimental de la Facultad de agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo Leon en el verano y otoño de 1974. Tesis profesional de U.A.N.L. México.
- Rojas, R.T. 1983. Cultivo del rábano. Cuadernos universitarios. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo México.
- Romani, R.J., Hess, B. y Leslie, C.A. 1989. Salicylic acid inhibition of ethylene production by apple discs and other plant tissues. *J. Plant Growth Regul.* 8:63-70.

- Roubal, W.T. y Tappel, A.L. 1966. Damage to proteins, enzymes, and amino acids by peroxidizing lipids. Arch. Biochem Biophys 113: 5.
- Roustan J.P., Latche A. y Fallot J. 1990. Inhibition of ethylene production and stimulation of carrot somatic embryogenesis by salicylic acid. Biol. plant 32: 273-276.
- Roy, B.N., Roychoudhury, N., Bose, T.K. y Basu, R.N. 1972. Endogenous phenolic compounds as regulators of rooting in cuttings. Phytom 30: 147-151.
- Rute, T.N. y Butenko, R.G. 1981. Effect of physiologically active substance on sex expression in cucumber plants *in vitro* conditions. Piziologiya Rastenii 28:1190-1197.
- Secretaría de agricultura y ganadería (SAGAR). 1995. Anuario estadístico de la producción agrícola de los Estados Unidos de México. U.M. tomo II, México D.F. 352 pág.
- Saxena, P. K. y Rashid, A. 1980. Differentiation of budcell on the protonema of the moss *Anoetangium thomsonii*. Effect of aspirin and salicylic acid. Pflanzen physiology. p.p. 187-189.
- Schopfer, P. 1996. Hydrogen peroxide-mediated cell-wall stiffening *in vitro* in maize coleoptiles. Planta. 199:43-49.
- Sharma, R., Kwon, E.H. y Ganeshan K.P. 1993. Response of soybean (*Glycine max* L. Merrill) to seed priming with salicylic acid. Indian journal of ecology. 20: 1, 27-29.
- Silverman P., Seskar, M., Kanter, D., Schweiezer, P., Métraux, J.P. y Raskin, I. 1995. Salicylic acid in rice: Biosynthesis, conjugation, and possible role. Plant physiol. 108: 633-639.
- Singh, D.R., Mahajan, J.M. y Krishnan, D. 1976. Effects of dimethyl sulfoxide (DMSO) on radiation induced heteroallelic reversion in diploid yeast. Mutation Res. 37: 193-200.

- Sistema nacional de mercados (SNM), 1992. Sistema producto zanahoria para el D.F. México. Ed. Arana. México D.F.

- Smale, B.C., Lasater, N.J. y Hunter, B.T. 1975. Fate and metabolism of dimethyl sulfoxide in agricultural crops. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 243:228-236.

- Smith-Becker, J., Marois, E., Huguet, E.J., Midland, S.L., Sims, J.J. y Keen, T. 1998. Accumulation of salicylic acid and 4-hydroxybenzoic 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 physiol* 116: 231-238.

- Smith, M.J. y Smith, K.P. 1966. The salicylates. Interscience Wiley. New York, U.S.A. 331 p.

- Soto, M., Larqué-Saavedra, A. y Rius, C. 1986. Método de detección de ácido salicílico endógeno de tejidos vegetales. *Agrociencia* 63: 17-23.

- Splittstoesser, W.E. 1984. *Vegetables Growing Handbook*. Second Edition. A VI. Publishing Co. U.S.A. pp 163-165.

- Storey, R., Gorham, J., Pitman, M.G., Hanson, A.D. y Gage, D.A. 1993. Response of *Melanthera biflora* to salinity and water stress. *J. Exp. Bot.* 44: 1551-1560.

- Summers, P.S., Nolte, K.D., Cooper, A., Borgeas, H., Leustek, T., Rhodes, D. y Hanson, A.D. 1998. Identification and stereospecificity of the first three enzymes of 3-Dimethylsulfoniopropionate biosynthesis in a chlorophyte alga. *Plant Physiol.* 116: 369-378.

- Trossat, C., Rathinasabapathi, B., Weretilnyk, E., Shen, T.L., Huang, Z.H., Gage, D. y Hanson, D. 1998. Salinity promotes accumulation of 3-dimethylsulfoniopropionate and its precursor s-Methylmethionine in Chloroplasts. *Plant. Physiol.* 116: 165-171.

- Tenhaken, R., Levine, A., Brisson, L.F., Dixon, R.A. y Lamb, C.J. 1995. Function of the oxidative burst in hypersensitive disease resistance. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 92: 4158-4163.

- Umetami Y., Kodakari E. Yamamura T., Tanaka S. y Tabata M. 1990. Glucosylation of salicylic acid by cell suspension cultures of *Mallotus japonicus*. *Plant cell reports* 9: 325-327.
- Valadez, L. A. 1990. Producción de hortalizas. Ed. Limusa, México D.F
- Vavilov, N.F. 1951. The origin, variation, immunity and breeding of cultivated plants. New York. Ronald Press U.S.A.
- Weissman, G. 1991. Aspirin. *Sci. Am.* 264: 84-90.
- Wagner, A.M. y Krab, K. 1995. The alternative respiration pathway in plants: Role and regulation. *Physiol. Plant.* 95: 318-325.
- Waterman, P.G. y Mole, S. 1994. Analysis of phenolic plant metabolites. Blackwell. Scientific Pub. London. 238 p.
- Watt, B. K. y Merrill, A. L. 1975. Composition of foods. Agricultural Handbook, nº 8. U.S.A. Dept. of Agricult. Washington.
- Xiang, Ch., Miao, Z-H. y Lam, E. 1996. Coordinated activation of as-1-type elements and tobacco glutathione S-transferase gene by auxins, salicylic acid, methyl-jasmonate and hydrogen peroxide. *Plant. Mol. Biol.* 32: 415-426.
- Yamaguchi, Mas. 1983. World vegetables, principles, production and nutritive values. A VI Publishing Co. Inc. Westport Connecticut. U.S.A.
- Zhao, H., Lin, X.W., Shi, H.Z., Chang, S.H., Zhao, H.J., Lin, X.W., Shi, H.Z. y Chang S.M., 1995. The regulating effects of phenolic compounds on the physiological characteristics and yield of soyabeans. *Acta agronomica Sinica.* 21: 3, 351-355.
- Zheng, H y Van Huystee, R.B. 1992. Anionic peroxidase catalysed ascorbic acid and AIA oxidation in the presence of hydrogen peroxide: a defence against peroxidative stress in peanut plant. *Phytochem.* 31, 1895-1898.