

8
2EJ

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO



FACULTAD DE CIENCIAS

CRECIMIENTO DE *Amaranthus hypochondriacus* L.
EN FUNCION DE LA CALIDAD DEL AGUA DE
LLUVIA EN LA REGION OESTE DEL VALLE
DE MEXICO.

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
B I O L O G A
P R E S E N T A :
MARIA ESTHER ANGELES CORTE

DIRECTOR DE TESIS: M. en C. MARIA TERESA RODRIGUEZ GONZALEZ

NOVIEMBRE, 1999

274476



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



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
Presente

Comunicamos a usted que hemos revisado el trabajo de Tesis:
"Crecimiento de Amaranthus hypochondriacus L. en función de la
calidad del agua de lluvia en la región oeste del Valle de México"

realizado por María Esther Angeles Corte

con número de cuenta 9052180-5 , pasante de la carrera de Biología

Dicho trabajo cuenta con nuestro voto aprobatorio.

Atentamente

Director de Tesis
Propietario

M. en C. María Teresa Rodríguez González

María Teresa Rodríguez González

Propietario

Dr. José Alberto Escalante Estrada

J. A. Escalante Estrada

Propietario

M. en C. Minerva Leonor González Ibarra

Minerva González Ibarra

Suplente

M. en C. Aurora Zlotnik Depina

Aurora Zlotnik Depina

Suplente

Biól. María Raquel González Avilés

FACULTAD DE CIENCIAS
U.N.A.M.
María Raquel González Avilés

Consejo Departamental de Biología
Edna María Suárez Díez
Dra. Edna María Suárez Díez



DEPARTAMENTO
DE BIOLOGIA

AGRADECIMIENTOS

A papá DIOS y a mi familia.

A las **Biól. Sara Ramírez e Isabel Romero** por su amistad, apoyo y motivación para la realización de este trabajo.

A la **M. en C. María Teresa Rodríguez** y el **Dr. Alberto Escalante** por su dirección y asesoría.

A la **M. en C. Minerva González**, la **M. en C. Aurora Zlotnik** y la **Biól. Raquel González** por sus sugerencias y comentarios.

RECONOCIMIENTOS

Al Laboratorio de Fitoquímica de la Especialidad de Botánica del Instituto de Recursos Naturales del Colegio de Postgraduados de Chapingo por las facilidades de material y equipo para la realización de los bioensayos.

Al Laboratorio de Bioensayos del Centro Nacional de Investigación y Capacitación del Instituto Nacional de Ecología por las facilidades otorgadas para la determinación de los parámetros fisicoquímicos.

CONTENIDO

LISTA DE CUADROS

LISTA DE FIGURAS

RESUMEN -----	1
ABSTRACT -----	2
I.- INTRODUCCIÓN -----	3
OBJETIVO E HIPÓTESIS -----	5
II.-REVISIÓN DE LITERATURA -----	6
2.1 Calidad del agua -----	6
2.1.1 pH -----	7
2.1.2 Oxígeno disuelto -----	8
2.1.3 Conductividad -----	9
2.1.4 Temperatura -----	9
2.1.5 Principales contaminantes del agua de lluvia -----	10
2.1.5.1 Dióxido de azufre -----	10
2.1.5.2. Óxidos de Nitrógeno -----	11
2.1.5.3 Cloruros -----	13
2.1.6 Efecto de la calidad del agua sobre las plantas -----	14

2.2 Bioensayos -----	16
2.2.1 Características -----	17
2.2.2 Bioensayos con semillas -----	19
2.3 Germinación de semillas -----	21
2.3.1 Factores que afectan la germinación de la semilla ----	22
2.3.1.1.-Humedad -----	22
2.3.1.2.-Temperatura -----	23
2.3.1.3.- Oxígeno -----	25
2.3.1.4.-Iluminación -----	26
2.4 Amaranto (<i>Amaranthus hypochondriacus</i> L.) -----	26
2.4.1 Clasificación taxonómica -----	26
2.4.2 La semilla -----	27
2.4.3 La especie -----	27
2.4.4 El cultivo -----	28
III.-MATERIAL Y MÉTODOS -----	30
3.1 Descripción del área de estudio -----	30
3.2 Colecta de muestras de agua de lluvia -----	32
3.2.1 Material de muestreo y equipo -----	32
3.2.2 Muestreo en campo -----	33
3.3 Determinación de parámetros fisicoquímicos -----	33
3.4 Materiales y métodos para el bioensayo de germinación --	35
3.4.1 Material biológico -----	35
3.4.2 Material y equipo -----	37
3.4.3 Bioensayo -----	37

IV.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN -----38

4.1 Parámetros fisicoquímicos determinados a las muestras de agua de lluvia:	
4.1.1 pH -----	38
4.1.2 Conductividad -----	41
4.1.3 Oxígeno disuelto -----	42
4.1.4 Sulfatos -----	43
4.1.5 Nitratos -----	45
4.1.6 Cloruros -----	47
4.2 Efecto de la calidad del agua de lluvia sobre la germinación de <i>Amaranthus hypochondriacus</i> L. -----	49
4.3 Crecimiento de <i>Amaranthus hypochondriacus</i> L. por localidades :	
4.3.1 Radícula-----	51
4.3.2 Vástago -----	53
4.3.3 Relación vástago-radícula -----	55
4.4 Crecimiento de <i>Amaranthus hypochondriacus</i> L. por muestreos :	
4.4.1 Radícula-----	56
4.4.2 Vástago -----	58
4.4.3 Relación vástago-radícula -----	59
4.5 Efecto de la calidad del agua de lluvia sobre el crecimiento de <i>Amaranthus hypochondriacus</i> L. (interacción localidad-muestreo):	
4.5.1 Radícula-----	61
4.5.2 Vástago -----	64
4.5.3 Relación vástago-radícula -----	67

V.- CONCLUSIONES -----71

VI.- LITERATURA CITADA -----72

APÉNDICE A Lista de figuras del crecimiento de *Amaranthus hypochondriacus* L. por localidad en la época de lluvias 1995.

B Diagrama de técnica de determinación para sulfatos, nitratos y cloruros.

C Curva de calibración de nitratos y sulfatos.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	Mapa de los lugares de muestreo -----	31
FIGURA 2	Esquema del dispositivo de colector de agua de lluvia -----	34
FIGURA 3	Esquema de planta y semilla del <i>Amaranto</i> (<i>Amaranthus hypochondriacus</i> L.) -----	36
FIGURA 4	Valores promedio de pH en las localidades de muestreo de agua de lluvia, en 1995 -----	40
FIGURA 5	Valores promedio de conductividad en las localidades de muestreo de agua de lluvia, en 1995 -----	42
FIGURA 6	Valores promedio de oxígeno disuelto en las localidades de muestreo de agua de lluvia, en 1995 -----	43
FIGURA 7	Valores promedio de sulfatos en las localidades de muestreo de agua de lluvia, en 1995 -----	45
FIGURA 8	Valores promedio de nitratos en las localidades de muestreo de agua de lluvia, en 1995 -----	46
FIGURA 9	Valores promedio de cloruros en las localidades de muestreo de agua de lluvia, en 1995 -----	48

- FIGURA 10 Crecimiento de la radícula de *Amaranthus hypochondriacus* L. por localidades, en función del agua de lluvia colectada en 1995, en la región Oeste del Valle de México ----- 53
- FIGURA 11 Crecimiento del vástago de *Amaranthus hypochondriacus* L. por localidades, en función del agua de lluvia colectada en 1995, en la región Oeste del Valle de México ----- 54
- FIGURA 12 Relación vástago-radícula en el crecimiento de *Amaranthus hypochondriacus* L. por localidades, en función del agua de lluvia colectada en 1995, en la región Oeste del Valle de México ----- 55
- FIGURA 13 Crecimiento de la radícula de *Amaranthus hypochondriacus* L. por muestreos, en función del agua de lluvia colectada en 1995, en la región Oeste del Valle de México ----- 58
- FIGURA 14 Crecimiento del vástago de *Amaranthus hypochondriacus* L. por muestreos, en función del agua de lluvia colectada en 1995, en la región Oeste del Valle de México ----- 59
- FIGURA 15 Relación vástago-radícula en el crecimiento de *Amaranthus hypochondriacus* L. por muestreos, en función del agua de lluvia colectada en 1995, en la región Oeste del Valle de México ----- 60

LISTA DE CUADROS

- CUADRO 1 Valores promedio de los parámetros fisicoquímicos determinados en las localidades de muestreos de agua de lluvia, en 1995 -----39
- CUADRO 2 Porcentaje de inhibición de la germinación de *Amaranthus hypochondriacus* L. por efecto del agua de lluvia colectada en la región Oeste del Valle de México, en 1995 ----- 50
- CUADRO 3 Crecimiento de la radícula, vástago y relación vástago-radícula en *Amaranthus hypochondriacus* L. por localidades, por efecto del agua de lluvia colectada en la región Oeste del Valle de México, en 1995 -----52
- CUADRO 4. Crecimiento de la radícula, vástago y relación vástago-radícula en *Amaranthus hypochondriacus* L. por muestreos, por efecto del agua de lluvia colectada en la región Oeste del Valle de México, en 1995 -----57
- CUADRO 5 Crecimiento de la radícula en *Amaranthus hypochondriacus* L. en las diferentes localidades de muestreo, por efecto del agua de lluvia colectada en la región Oeste del Valle de México, en 1995 ----- 62

CUADRO 6 Crecimiento del vástago en *Amaranthus hypochondriacus* L. en las diferentes localidades de muestreo, por efecto del agua de lluvia colectada en la región Oeste del Valle de México, en 1995 ----- 66

CUADRO 7 Relación vástago-radícula en *Amaranthus hypochondriacus* L. en las diferentes localidades de muestreos, por efecto del agua de lluvia colectada en la región Oeste del Valle de México, en 1995 ----- 68

RESUMEN

La presencia de innumerables industrias y el tránsito vehicular generan en las zonas urbanas contaminantes como: sulfatos, nitratos y cloruros que son arrastrados por la precipitación pluvial contaminan en el suelo afectando el crecimiento y el desarrollo de los seres vivos que en el sustentan, incluidos los vegetales. Una forma de evaluar tales efectos es a través de los bioensayos con vegetales.

Con base a lo anteriormente mencionado el objetivo de la presente investigación fue evaluar la calidad del agua de lluvia en la Región Oeste del Valle de México, a través del bioensayo de *Amaranthus hypochondriacus* L. en base a su germinación y crecimiento. Dicho estudio se complementó con análisis fisicoquímicos de las muestras de agua de lluvia colectada.

Para llevar a cabo tales fines se realizaron muestreos semanales de agua de lluvia durante la época de lluvias de 1995 (julio a octubre) en 6 localidades de la Región Oeste del Valle de México. Cada muestra de agua fue evaluada según los parámetros indicados.

Los resultados indican que la germinación fue afectada en las localidades muestreadas pero dichos efectos no fueron significativos. Por lo que se refiere al crecimiento evaluado a través de la elongación de la radícula y vástago los resultados nos muestran diferencias significativas con respecto al testigo, particularmente para la Localidad de Vallejo en donde además se detectaron las mayores concentraciones de sulfatos, nitratos y cloruros. Dichos resultados contrastan con los encontrados en la Localidad de Tepotzotlán en donde se registraron las concentraciones menores de los contaminantes indicados y además el mayor crecimiento tanto en radícula como en vástago de *Amaranthus hypochondriacus* L.

El bioensayo con *Amaranthus hypochondriacus* L. resultó una herramienta efectiva, rápida y económica para evaluar de una manera eficiente la contaminación del agua de lluvia.

ABSTRACT

The factories and vehicle traffic produce pollution due to their emissions of sulphide, nitrates and chloride. The rain drag down these pollutants and contaminates the soil affecting the plant growth. One way to evaluate this effect in plants is by conducting bioassays or tests.

The aim of this study was to evaluate the rain water quality from six regions of the areas west of Mexico's Highlands on germination and growth of the *A. hypochondriacus* L. The rain water was collected weekly during periods of rainfall season (July to October, 1995).

The results indicated that the germination of the seeds was inhibited by the rain water from the six regions. However, this effect was not significant ($p < 0.01$). In relation to growth, the elongation of young roots and shoots, the results showed significant differences ($p < 0.01$) in relation to the Control. The rain water from "Vallejo", with the highest contents of sulfide, nitrates and chlorides caused the highest young root and shoot growth inhibition. Conversely, the rain water of "Tepozotlan", with the lowest values of sulfide, nitrates and chloride showed the highest growth of young roots and shoots.

Based on these studies, we conclude that the *Amaranthus* bioassay is an efficient, quickly and inexpensive test to evaluate the effect of rain water pollution on plant growth.

I. INTRODUCCIÓN

El continuo avance de la ciencia ha traído consigo un desarrollo tecnológico cada vez más moderno, práctico y eficiente. Ésto en parte beneficia a la humanidad pero la falta de control en el uso de dichos avances trae como consecuencia la contaminación del ambiente, incluyendo agua, aire y suelo, hasta la destrucción de los ecosistemas.

A través de diferentes maneras, los contaminantes son liberados al ambiente. Ahí se dispersan y producen una serie de reacciones en la atmósfera para luego ser eliminados por medio de la lluvia trayendo como consecuencia la alteración en su pureza. Lo anterior está recibiendo considerable atención desde hace tiempo, ya que la alteración en la composición química de la precipitación afecta tanto a ecosistemas acuáticos como a los terrestres (Galloway, 1978).

Se ha encontrado que la lluvia ácida al precipitarse afecta las fuentes naturales y que transfiere toxinas a suelos, arroyos, lagos y estuarios acidificándolos e incluso ocasionando la disminución y muerte de sus habitantes. En los suelos también provoca la lixiviación de nutrientes que trae como consecuencia la merma en la productividad de cosechas y bosques (Eaggoner, 1971).

La ciudad de México es uno de los sitios más contaminados del mundo con altas emisiones de SO_2 resultado de la combustión del petróleo y los hidrocarburos, las emisiones de óxidos de nitrógeno de más de 2.5 millones de vehículos y la alta actividad industrial; parece entonces razonable suponer que la calidad de agua de lluvia se vea afectada (Báez *et al.*, 1986) y que ésto trae consecuencias en los ecosistemas.

Se han desarrollado técnicas para evaluar la toxicidad que provocan los contaminantes en los seres vivos al ser liberados al ambiente. Nos referimos particularmente a los bioensayos, donde se utilizan organismos con determinadas características como organismos de prueba para obtener información que sirva para evaluar el impacto de los contaminantes.

Para el caso particular de las plantas se ha propuesto un bioensayo con semillas que resulta ventajoso por la rapidez y economía con que puede ser realizado. Se utilizan varios tipos de semillas como son maíz, frijol y jitomate, pero básicamente las que más se han usado son las semillas de lechuga, debido a la rapidez con que germinan

En el presente trabajo se pretende evaluar la calidad del agua de lluvia a través de la semilla de *Amaranthus hypochondriacus* L., en base a la inhibición de su germinación y elongación de radícula y vástago.

Este trabajo tiene también como propósito dar mayor difusión al uso de los bioensayos con semillas como pruebas de valoración de la calidad del agua.

OBJETIVO E HIPÓTESIS

OBJETIVO

- Evaluar el efecto del agua de lluvia de seis localidades de la región Oeste del Valle de México sobre la germinación y el crecimiento del amaranto (*Amaranthus hypochondriacus* L.).

HIPÓTESIS

- ⇒ Existe variabilidad en la calidad del agua de lluvia proveniente de las diferentes regiones de la Ciudad de México.
- ⇒ La calidad del agua de lluvia afecta la germinación y el crecimiento del amaranto (*Amaranthus hypochondriacus* L.).
- ⇒ La calidad del agua varía durante la época de lluvias.

II.- REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. CALIDAD DEL AGUA.

La calidad del agua no es un término absoluto, sino que está en relación con el uso o actividad a que se destina, pero en cualquier caso esta calidad se identificará, en principio y de modo general con su estado natural y la pérdida de calidad vendrá medida en función de las variaciones producidas (Peris, 1988).

La mayor parte del organismo humano está formado por agua y constituye el primero de sus alimentos después del aire. Es imprescindible para la higiene, tanto del individuo como de su hábitat. Asimismo es fundamental para el desarrollo de los tejidos vegetales y está asociada a multitud de minerales y rocas. Ejerce, por tanto una gran influencia en el desarrollo de la agricultura, ganadería, industria, vías de comunicación, fuentes de energía, etc. (Catalán, 1969).

Del agua que recibe nuestro país en forma de lluvia (1.5 billones de m³ anuales), aproximadamente el 50% se consume en evaporación natural del suelo, de los ríos y embalses, en la transpiración animal y vegetal, un 25% se escurre en la superficie, dando lugar a los ríos, lagos y lagunas y el otro 25% va al subsuelo (León, 1983).

La concentración de algunos contaminantes en una corriente de agua proporciona una cierta información acerca de la contaminación global, acumulada por una masa de agua a lo largo de su paso por el ciclo natural desde la lluvia, al mar pasando por las cuencas de ríos o corrientes subterráneas (Peris, 1988).

Las especies animales y vegetales manifiestan una determinada tolerancia respecto a una gama de valores de los factores abióticos y de aditivos químicos en el ambiente (León, 1983)

Para caracterizar el nivel de contaminación del agua, se ha recurrido al uso de escalas de referencia o parámetros, cuyo conjunto de valores determinan, el nivel de calidad del agua y su posible uso, dentro de las actividades humanas y ecológicas.

A la fecha los análisis de calidad del agua sólo comprenden los parámetros tradicionales de pH, temperatura, oxígeno disuelto, alcalinidad, etc., mismos que sirven para interpretar los usos y riesgos que puedan tener las aguas (León, 1983).

La relación de los parámetros es muy amplia ya que éstos se determinan dependiendo de la situación relativa entre fuente contaminante y aprovechamiento del agua (Comisión Nacional de Ecología, 1990)

La necesidad de recurrir a varios parámetros simultáneamente, proviene de la multitud de contaminantes que puedan presentarse en un caso dado y del hecho de que, cada contaminante pueda deteriorar la calidad del agua en forma distinta a los demás (León, 1983).

2.1.1.- pH.

La medida de pH es una de las pruebas más importantes y frecuentemente utilizadas en el análisis químico del agua (SEDUE, 1985b).

El pH de la lluvia es el resultado final de las reacciones de neutralización entre ácidos y bases presentes en la misma, dando la acidez libre, la cual es la medida de la concentración de protones en solución, independientemente de la fuente u origen, o sea que puedan originarse de la ionización de un ácido fuerte o débil.

La definición rigurosa del pH establece que es la medida de la actividad de los iones hidrógeno y no de su concentración, de acuerdo a la siguiente ecuación.

$$\text{pH} = -\log(\text{H}^+)$$

donde (H^+) = actividad de los iones hidrógeno

Si se usa la concentración de iones hidrógeno en lugar de su actividad, daría lo mismo en el caso de soluciones muy diluidas, pero en el caso de soluciones concentradas si se usara la concentración para obtener el pH en lugar de la actividad se obtendría una cantidad mayor de iones hidrógeno libre de lo que en realidad existe. Así pues, en el caso del agua de lluvia, por contener bajas concentraciones de iones hidrógeno y de otros iones, el pH sí es una medida de la concentración de iones hidrógeno o protones y como tal es usado en la química de la precipitación pluvial.

El agua de lluvia ácida ($\text{pH} < 5.5$) es una mezcla de ácidos fuertes y débiles, pero debido a que los ácidos débiles se encuentran en muy bajas concentraciones y a que la mayoría se ionizan en forma muy baja a un $\text{pH} < 5.6$, los ácidos débiles son sustancias que no influyen en forma apreciable en el pH de la lluvia, mientras que son los ácidos fuertes los que influyen sobre el pH y se debe a la parte no neutralizada de los ácidos fuertes en solución (H_2SO_4 , HNO_3 y HCl) (Padilla, 1985).

Se ha encontrado que a niveles de pH inferiores a 4.0 se destruyen todos los vertebrados, la mayoría de invertebrados y muchos microorganismos. La mayoría de las plantas superiores son eliminadas sobreviviendo tan sólo unas pocas algas y bacterias. La acidez y la alcalinidad en aguas de riego en las cosechas influyen poco si la gama de pH está comprendida entre 4.5 y 9.0, pues el suelo constituye un sistema amortiguador; pueden presentarse problemas si el pH desciende por debajo de 4.5 (Stocker, 1981).

2.1.2.- Oxígeno disuelto.

El agua, al caer sobre la superficie de la tierra, en forma de lluvia, disuelve los gases de la atmósfera como el oxígeno, el cual es un elemento indispensable en la vida de los animales y vegetales tanto terrestres como acuáticos (Catalán, 1969).

Para una biota de agua templada diversificada, las concentraciones de oxígeno disuelto deberían ser al menos de 5 mg/L (5ppm) La cantidad de oxígeno disuelto varía con la temperatura del agua y la altitud.

La causa principal de desoxigenación del agua es la presencia de sustancias que en conjunto se denominan residuos con requerimientos de oxígeno (sustancias inorgánicas procedentes de desechos industriales y orgánicos); se trata de compuestos que se degradan o descomponen fácilmente debido a la actividad bacteriana en presencia de oxígeno el cual es consumido por éstas (Stocker, 1981).

2.1.3.-Conductividad.

La conductividad es una expresión numérica de la capacidad de una solución para transportar una corriente eléctrica que depende de la presencia de iones y de su concentración total, de su movilidad, valencia y concentración relativa así como de la temperatura.

Las mediciones de conductividad en laboratorio se utilizan para:

- Establecer el grado de mineralización y determinar el efecto de la concentración total de iones sobre equilibrios químicos, efectos fisiológicos en plantas y animales, tasas de corrosión, etc. (SEDUE, 1985a).
- La conductividad eléctrica indica el total de sólidos disueltos y da una idea de la calidad mineral del agua.

Cuando la cantidad de sales disueltas aumenta en aguas de irrigación el rendimiento de las cosechas se reduce, hasta que, a concentraciones altas (dependiendo tipo de suelo, condiciones climatológicas y cantidad de agua aplicada), las plantas no pueden vivir (Porrás, 1979). En estos casos la conductividad es de 60 a 70 μmhoz , y afecta no sólo a plantas y animales, sino incluso al hombre (Dirección de Ordenación y Protección Ecológica, 1979)

2.1.4.-Temperatura.

La temperatura juega un papel muy importante en la solubilidad de las sales y por lo tanto en la conductividad eléctrica, en la determinación del pH,

en el contenido del oxígeno del agua y de eventuales mezclas, etc.; además, esta medida es muy útil para los estudios limnológicos y desde el punto de vista industrial para los cálculos de cambios térmicos.

De modo general, la temperatura de las aguas superficiales está influenciada por la temperatura del aire y ello sucede tanto más cuanto menos profundo es su origen (Catalán, 1969).

2.1.5.-Principales contaminantes del agua de lluvia.

De una manera natural, el CO_2 al disolverse en el agua de la atmósfera, produce una solución ligeramente ácida (pH 5.6). Sin embargo, esta acidez es muy baja en relación con la provocada por los ácidos fuertes como el ácido sulfúrico y el ácido nítrico, sobre todo con respecto a la lluvia que se origina cerca de las zonas industrializadas (Howells, 1990). La presencia de estos ácidos en la lluvia no se debe a que sean emitidos directamente a la atmósfera sino más bien al resultado de reacciones químicas generadas en la atmósfera (SO_2 y NO_2), la radiación solar, el vapor de agua y el “smog” fotoquímico (Padilla, 1985).

2.1.5.1. Dióxido de azufre (SO_2).- Se encuentra naturalmente en la atmósfera en cantidades muy pequeñas; proviene de combustibles que contienen azufre tales como carbón de piedra, el petróleo y el gas natural que se queman como energéticos. El SO_2 reacciona con el O_2 para formar SO_3 que a su vez se combina con las gotas de humedad atmosférica para formar H_2SO_4

Las fuentes generadoras son las plantas de generación eléctrica, refinerías, fundidoras e industrias de los minerales, siderúrgica, del vidrio, asbesto y cemento, que en conjunto originan gran cantidad de SO_2 (Owen, 1986)

Desde fines del siglo pasado se han estudiado los efectos fitotóxicos del dióxido de azufre (SO_2), por lo que su acción es conocida en diversas especies vegetales; en los alrededores de la fuente de origen ocasionan un

gradiente de daños y en el campo se aprecian, generalmente en plantas sensibles, síntomas combinados de tipo crónico y agudo.

Como es el caso de otros gases, el SO_2 penetra a través de los estomas, es oxidado a sulfito (SO_3^-) y luego lentamente a sulfato (SO_4^-), compuesto menos tóxico que el intermedio por lo que, bajo ciertas condiciones, la conversión es rápida y no ocurre daño, en tanto que, en otras ocasiones, en particular cuando ocurren altas concentraciones de SO_2 durante períodos prolongados, la conversión de SO_2 a SO_3^- ocurre en forma más rápida que el paso posterior a SO_4^- y por tanto se origina el daño foliar. En ocasiones, las concentraciones de sulfatos llegan a alcanzar niveles fitotóxicos. Los análisis foliares pueden usarse para determinar la acumulación de azufre de los tejidos.

El daño agudo por SO_2 en plantas de hoja ancha, consiste en cambios en color entre las nervaduras y en los márgenes foliares de tal manera que el tejido se muestra decolorado o adquiere un matiz pardo. En algunas hojas se presenta la apariencia de “esqueleto de pescado”, en donde las nervaduras corresponden a los huesos. Estos cambios en color son bifaciales y comienzan como zonas hidróticas en las hojas bien desarrolladas. Los efectos crónicos por SO_2 o el daño inducido por sulfatos puede manifestarse como clorosis o pigmentación pardo-rojiza.

El SO_2 causa daño a las plantas a dosis de 0.05-0.5 ppm cuando esta concentración ocurre durante un mínimo de 8 horas.

En Norteamérica *Amaranthus retroflexus* está clasificada como una especie sensible a los efectos del SO_2 (Hernández y Bauer, 1989).

Barret y Benedict (1970) señalan que las hojas en pleno crecimiento suelen ser más sensibles al SO_2 seguidas por las hojas ya maduras; la espinaca, la lechuga y otros vegetales de hojas ancha son los más susceptibles (Wark y Warner, 1992).

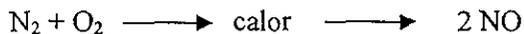
2.1.5.2. Óxidos de Nitrógeno (NO_x).- Se forman cuando el nitrógeno atmosférico se combina con oxígeno durante la combustión de ciertos combustibles fósiles (Owen, 1986).

El NO se combina rápidamente con el oxígeno atmosférico para formar NO₂; se ha encontrado que una concentración de 5ppm por un período de 10 a 12 días ha detenido el crecimiento de plantas tales como el frijol y el tomate.

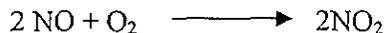
Experimentos con naranjas sin semilla muestran que se reduce el rendimiento ante una prolongada exposición del NO₂ a concentraciones de 0.25 ppm al precipitarse (Wark y Warner, 1992).

De los seis compuestos, dentro del grupo de óxidos de nitrógeno (NO_x) que ocurren en atmósferas alteradas, dos son los conocidos por sus propiedades: el óxido nítrico y el dióxido de nitrógeno. Sin embargo, estos gases sólo a concentraciones altas, mayores que en los casos de O₃ y SO₂ (1ppm) producen en diversas especies vegetales síntomas visibles. A pesar de ésto, se asume que la reducción en desarrollo de las plantas sensibles ocurre con frecuencia, aunque pasa desapercibida.

La formación de estos compuestos ocurre principalmente como resultado de procesos de combustión debido a la generación de calor. El nitrógeno y el oxígeno que intervienen en la reacción son de origen atmosférico y se combinan por la acción del calor en forma siguiente:



En forma espontánea, pero no necesariamente rápida, ocurre una reacción secundaria:



La conversión de NO a NO₂ puede ser influida por otras reacciones. Por ejemplo se acelera en presencia de O₃; a su vez, estos dos óxidos, juegan un papel importante en la formación del O₃. Debido a la influencia de éstas y otras reacciones, el balance atmosférico entre NO y NO₂, es extremadamente variable y frecuentemente desconocido por lo que es preferible referirse al complejo NO_x.

Según resultados experimentales, se requiere por lo menos 1 ppm de NO₂ durante 24 horas para ocasionar síntomas en plantas sensibles. De

acuerdo con Manning y Feder (1980) la mostaza es una de las especies más sensibles a NO_2 ; sin embargo, no es afectada por las concentraciones ambientales que se detectan normalmente. Una situación excepcional la constituyen los invernaderos en los que se realiza la práctica de enriquecimiento con CO_2 . En estos casos se detectan, ocasionalmente, hasta 5, 000 ppm de NO pero normalmente entre 2, 000 a 3, 000 ppm. Las condiciones particulares de los invernaderos, en especial la ventilación, juegan un papel muy importante sobre la magnitud de los daños que pueden manifestarse en las plantas que ahí se desarrollan.

Después de su entrada a la planta, a través de los estomas, las diferencias de hidrosolubilidad entre el NO y el NO_2 hacen que sean absorbidos por las células en forma distinta. Así, se ha llegado a comprobar que el NO_2 es absorbido hasta tres veces más que el NO por algunas especies vegetales y bajo ciertas condiciones ambientales.

Según se ha mencionado, el efecto más frecuente que ocasionan los óxidos de nitrógeno en las plantas consiste en reducir su desarrollo. Sin embargo, llegan a ocasionar daños visibles de tipo agudo como son áreas intervenales cloróticas que se tornan necróticas. Esta sintomatología se aprecia en *Capsicum spp.* bajo condiciones de invernadero, y puede ser fácilmente confundida con daños causados por quemaduras de sol o por deficiencias nutricionales (Hernández y Bauer, 1989).

2.1.5.3 Cloruros (Cl^-).- El cloruro, en la forma de ión Cl^- es uno de los aniones inorgánicos más comúnmente presentes en aguas naturales y aguas de desecho (SEDUE, 1985b).

Los cloruros están presentes en casi todas las aguas. No son necesarios para el crecimiento de las plantas y, en concentraciones elevadas, causan un crecimiento anormal de las mismas, quemando las hojas a una concentración de 1 mg kg^{-1} (Porras, 1979; Spedding, 1981).

Durante septiembre y octubre de 1981, Bauer y Hernández señalaron que el municipio de Ecatepec, México, alberga innumerables plantas industriales que usan y manufacturan productos a base de cloro y que en los alrededores de estas áreas industriales son frecuentes los predios ejidales con cultivos agrícolas de importancia económica como maíz y

alfalfa (citado por Hernández y Bauer, 1986). El ácido clorhídrico (HCl) se origina como un subproducto en la clorinación de compuestos orgánicos. Este gas, fácilmente transportado por las corrientes de aire, es extremadamente higroscópico; se cree, que poco después de ser emitido, se transforma rápidamente a forma líquida y origina un aerosol de ácido clorhídrico (Hernández y Bauer, 1986).

Por lo anterior parece ser obvio que la industrialización y la alta densidad de población pueden cambiar la precipitación química de grandes áreas.

Es importante considerar el estudio de la precipitación química como una herramienta válida para estimar el grado de degradación atmosférica en áreas contaminadas sobre plantas y animales bajo su influencia meteorológica (Báez, 1987).

2.1.6. Efecto de la calidad del agua sobre las plantas.

Los efectos de la contaminación en vegetales, son en el momento presente de gran importancia económica, ya que se considera que juegan un papel fundamental en la disminución de la productividad de ciertas áreas agrícolas y forestales, tanto de los países avanzados como de aquellos semi-industrializados o en vías de desarrollo.

Los bosques naturales y cultivados del mundo juegan en conjunto un papel muy importante para el bienestar de la humanidad; sin embargo, los ecosistemas forestales, en particular durante las últimas décadas han estado sometidos inconscientemente a fuertes presiones derivadas de las actividades humanas, entre las cuales, una de gran importancia es la contaminación del agua, derivada tanto de procesos naturales pero sobre todo de procesos antropogénicos (Hernández y Bauer, 1989).

Debido a su sensibilidad a materiales tóxicos presentes en la atmósfera fue precisamente en las especies forestales en las que se demostró primeramente, que resultaban afectadas como consecuencia de ciertas actividades humanas

Los conocimientos actuales señalan que entre los aspectos más importantes en relación con el efecto de contaminación en las plantas, los siguientes son de mayor relevancia:

- 1.- Un gran número de plantas sufren daños por compuestos presentes en el ambiente sin manifestar síntomas visibles, mientras que otras muestran claramente la evidencia de que están siendo dañadas a través de síntomas característicos o bien de síntomas que fácilmente pueden confundirse con aquellos causados por patógenos como virus, o bien, insectos o ácaros, deficiencias o excesos de elementos nutritivos.
- 2.- Ciertos niveles de compuestos tóxicos que no afectan a los humanos pueden ser nocivos a las plantas (este punto es precisamente de gran importancia ya que hace posible el utilizar algunas plantas como indicadoras).
- 3.- De acuerdo con los recientes descubrimientos, el daño a los cultivos por causa de la contaminación ya sea atmosférica o del agua, posiblemente sea más grave y más complejo de lo que en años se había pensado.
- 4.- Ocasionalmente la sedimentación en suelos y plantas de algunos compuestos, puede ser benéfica para los cultivos como es el caso del azufre en suelos deficientes de este elemento (Hernández y Bauer, 1989).

En relación a la calidad del agua afectada por la contaminación, entre 1970 y 1980 surgieron varias hipótesis sobre el efecto de la lluvia ácida en ecosistemas vegetales; éstas son:

- Los ecosistemas pueden ser impactados por la depositación ácida.
- Los cultivos agrícolas de grano pueden ser arriesgados como resultado de las exposiciones a las precipitaciones pluviales ácidas y contaminantes gaseosos. En regiones donde la lluvia es muy ácida reduce el crecimiento de los árboles (Lefhon y Brocksen, 1984).

En un estudio en Nueva Jersey, sobre el abeto rojo, Jonhson y Siccama (1983) sugieren que éstos son primeramente afectados por la sequia y que la lluvia ácida aumenta este estrés pero no es la causante de la mortalidad.

Los musgos y los líquenes presentan gran sensibilidad a las lluvias ácidas, resultando la mezcla de H_2SO_4 y HNO_3 , más destructiva que el H_2SO_4 simple, lo que puede ser debido a la falta de cutícula y raíces verdaderas (Hutchinson *et al.*, 1986).

En 1988 Abouguendia *et al.*, experimentaron con el trigo, canola y alfalfa que fueron sujetos a precipitaciones simuladas con intervalo de pH de 2.5 a 5.5. El pH de 2.5 produjo manchas blanquecinas en las hojas de la alfalfa.

El efecto de la lluvia ácida en la fisiología, morfología y crecimiento de las plantas fué estudiado en frijol (*Phaseolus vulgaris*), haba (*Vicia faba*) y la espinaca (*Spinacea oleracea*), encontrándose una alta incidencia de manchas necróticas en las hojas regadas con lluvia a pH 2.5 con respecto al testigo (solución a pH 5.5) (Linskens *et al.*, 1989).

2.2. BIOENSAYOS.

Cada vez es mayor el interés en la detección y estudio de los efectos de sustancias potencialmente tóxicas presentes en el ambiente, por la posibilidad que tienen de causar daño a los seres vivos; no obstante, los avanzados análisis fisicoquímicos actuales no permiten prever los efectos adversos sobre la biota en los ecosistemas.

Una alternativa para evaluar la calidad del agua debido a la contaminación, es la utilización de los bioensayos.

Un bioensayo, en términos generales es una prueba para establecer la respuesta que produce un agente dado cuando los organismos son expuestos a él y al cabo de un tiempo se evalúa el efecto que dichos agentes provocan en los seres vivos (Bitton y Dutka, 1986).

2.2.1. Características.

Desde hace 20 años los bioensayos son herramientas básicas para la detección, evaluación y abatimiento de la contaminación del agua (APHA, 1976).

Los bioensayos pueden ser clasificados:

a) De acuerdo a su duración: de corto, intermedio y largo plazo.

Las pruebas de corta duración se utilizan para control de rutina de los requisitos de la descarga permitida de vertidos y para pruebas exploratorias. Las pruebas cortas definitivas determinan la CL50 (concentración de la sustancia en estudio a la que sobreviven el 50% de los organismos en observación, en un tiempo específico de exposición) o la CE50 (concentración del tóxico que produce una respuesta específica, en un tiempo dado). Estas pruebas también determinan la concentración de tóxico en los bioensayos de intermedia y larga duración. Las de corta duración sirven para poder tener una rápida estimación de la toxicidad, para ensayar la toxicidad relativa de distintos tóxicos o residuos para un organismo determinado o para evaluar la sensibilidad relativa de los organismos a las diferentes condiciones de variables tales como temperatura y pH. También indican la concentración máxima permitida para exposiciones muy breves, tal como puede suceder con organismos que pasan a través de una planta generadora de energía térmica o una zona de aguas cálidas.

Las pruebas intermedias se pueden utilizar cuando la determinación de la CL50 requiere tiempo adicional, para estudios de estadios vitales de organismos con ciclos vitales prolongados y para indicar las concentraciones de tóxico para pruebas de ciclos vitales.

Se emplean pruebas de larga duración para estimar la toxicidad crónica. Pueden incluir pruebas de ciclos vitales completos o parciales. Las exposiciones pueden ser de 7 días para las pruebas crónicas que suponen una parte específica del ciclo vital del organismo, 21 a 28 días para ensayos tradicionales de ciclo vital parcial o de varios meses a más para pruebas de ciclo vital completo.

b) De acuerdo a sus soluciones de prueba: estáticas, de renovación, o de flujo continuo.

Las pruebas estáticas son pruebas en que las soluciones y los organismos estudiados se colocan en cámaras y se mantienen allí todo el tiempo que dure la prueba. Es necesario ser cauteloso al usar estas pruebas para la evaluación de soluciones con alto nivel de demanda de oxígeno. Estas pruebas pueden realizarse con éxito con la incorporación controlada de oxígeno disuelto y aireación aceptable.

Las pruebas de renovación son pruebas estáticas con exposición periódica (usualmente intervalos de 24 horas) de organismos a solución fresca con igual composición. Ésto se lleva a cabo transfiriendo los organismos o reemplazando la solución.

En la prueba de flujo continuo, la solución se reemplaza continuamente en cámaras, durante el tiempo que lo requiera el estudio. Estas pruebas son deseables para las muestras con alta demanda biológica de oxígeno y para aquellas que contienen sustancias inestables o volátiles.

c) De acuerdo a sus propósitos:

Cuyo fin es controlar la calidad del vertido, efluente, monitoreo, toxicidad relativa, sensibilidad relativa y tasa de crecimiento de lo que se esté estudiando (APHA, 1992).

Los bioensayos han sido utilizados para diversos estudios de toxicidad en países como Brasil, Canadá y Estados Unidos principalmente:

Pearson (1979) logró la aprobación para realizar una evaluación toxicológica con bioensayos de *Daphnia magna*, en las aguas de un complejo industrial que fabricaba 2,4,5 - trinitotolueno (TNT) para la Armada de los E. U. A ; para ello utilizó 30 compuestos y evaluó su efecto tanto en forma individual como al mezclarlos. Encontró que algunos compuestos aislados no causaron ninguna respuesta en los organismos, mientras que al mezclarlos sus efectos resultaron positivos

Zagato *et al.*, en 1988, evaluó el impacto de las descargas en el Río Piracicaba (Brasil) provenientes de 8 industrias, por medio de pruebas de toxicidad aguda con *Daphnia similis*, y resultó que siete presentaron toxicidad para este organismo, siendo las industrias textil y petroquímica las de mayor impacto.

Dutka (1989) es uno de los principales investigadores que ha realizado bioensayos en Canadá; publicó en 1989 un manual de métodos de análisis microbiológicos y toxicológicos, en los que se emplean organismos para evaluar aguas, efluentes y sedimentos.

Se pueden utilizar distintos tipos de organismos para los bioensayos: bacterias, algas, zooplancton, invertebrados bentónicos o peces; también recientemente se están utilizando plantas así como sus diferentes estructuras como semillas, coleóptilos, vainas, tallos, raíces y hojas.

El reconocimiento oficial en nuestro país lo tiene el Centro Nacional de Investigación y Capacitación (CENICA) del Instituto Nacional de Ecología (INE), en donde se realizan bioensayos con los organismos: *Daphnia magna* (de la cual ya existe la Norma Ambiental Mexicana), *Panagrellus redivivus*, *Spirillum volutans* y *Bacillus cereus* para la evaluación de toxicidad de diferentes cuerpos de agua.

2.2.2. Bioensayos con semillas.

La germinación de la semilla de una planta la podemos considerar como una serie de pasos consecutivos que dan como resultado que una semilla en estado latente, con una pequeña cantidad de agua muestre un incremento en su actividad metabólica general e inicie la formación de una plántula (Mayen, 1975). Asimismo, cuando las condiciones no son favorables para que se lleve a cabo este proceso, el grado y el porcentaje de germinación se reduce.

La germinación de semillas en el laboratorio constituye un modelo muy adecuado para dar condiciones simuladas de sequía, acidez y alcalinidad, etc., y ofrece posibilidades para revelar el comportamiento de las

mismas y sugerir variedades cuando las condiciones ambientales (pH, temperatura, agua y suelo) no sean las más adecuadas.

El bioensayo con semillas tiene varias ventajas:

- 1.-Las semillas almacenadas adecuadamente permanecen viables durante un largo tiempo, pudiéndose activar en algún momento, dando la posibilidad de poder hacer la prueba cuando se requiere; ello es una gran ventaja sobre otras pruebas en las cuales los especímenes son costosos y de difícil mantenimiento, en algunos casos sólo desarrollables en un determinado tiempo.
- 2.-La prueba es simple e inofensiva y hacerla no requiere mayor equipo.
- 3.-Se requiere un pequeño volumen de muestra. Estos bioensayos pueden ser empleados casi sin ningún riesgo, pues el contacto humano es mínimo (Wang y Keturi, 1990).
- 4.-Se pueden experimentar diferentes tipos de semillas evaluando el efecto tóxico por el porcentaje de germinación y elongación de radícula y plántula, o determinación de biomasa o bien se podría evaluar alguna reacción bioquímica.

Algunas especies han sido recomendadas para pruebas de ecotoxicidad usando métodos de germinación de semillas y elongación de radícula.

Ratsch (1983) utilizó lechuga, rábano, trébol rojo y trigo, especies agrícolas importantes en términos de familia, distribución y abundancia. La inhibición de la elongación de la raíz fue un indicador válido y sensible de toxicidad ambiental.

La col, la lechuga y avena han sido usadas por la U.S. Environmental Protection Agency, 1982 (EPA), Organization for Economic Cooperation and Development, 1984 (OECD) y Food and Drug Administration, 1987 (FDA). Las zanahorias, tomates, por EPA y FDA, el trigo es aceptado por la FDA y OECD y el arroz es mencionado por la OECD (Wang 1985a, b, 1987; Wang y Williams, 1988, citados por Wang, 1990).

El presente estudio se realiza utilizando el bioensayo de germinación y crecimiento en *Amaranthus hypochondriacus* L. desarrollado por la sección de Alelopatía de la Especialidad de Botánica del Instituto de Recursos Naturales en el Colegio de Postgraduados.

2.3. GERMINACIÓN DE SEMILLAS.

La semilla madura de la planta contiene un embrión o planta rudimentaria, que tiene la capacidad de crecer en condiciones apropiadas y convertirse en una nueva planta. Acompaña al embrión en la semilla una reserva compacta de alimento que es suficiente para abastecer a la plántula hasta que ésta se halle en capacidad de alimentarse por sí misma (Miller, 1981); está rodeada por una cubierta especialmente permeable.

La semilla es una estructura en reposo; por lo regular está sumamente deshidratada, compuesta principalmente de tejido de reserva. Los procesos metabólicos están suspendidos o tienen lugar muy lentamente; la semilla está en una condición de vida interrumpida, debido principalmente a su carencia de agua y O_2 . El proceso de germinación consiste en la absorción de agua, la reactivación del metabolismo y la iniciación del crecimiento. La semilla contiene al embrión, uno de cuyos extremos, la radícula, formará la raíz de la planta; el otro, la plúmula, formará el tallo y las hojas (Bidwell, 1979).

El alargamiento de la radícula, que conduce a la terminación de la primera fase de la germinación, parece depender de la síntesis de proteínas, que se detectan a los pocos minutos de comenzar la imbibición. La supresión de esta síntesis por medio de los inhibidores químicos exógenos, como la ciclohexamida, detiene el crecimiento del embrión de trigo.

Es claro que de manera general, tal síntesis de proteínas no conduce siempre a la duplicación cromosómica y la división celular pues se ha comprobado, en numerosos casos (maíz, habas y guisantes), que se produce alargamiento sin división celular. En otros casos, la división celular precede al alargamiento de la radícula, como sucede en las semillas de lechuga;

finalmente, existen también casos en los que la mitosis y el alargamiento de la radícula son simultáneos (*Pinus lambertiana*).

La situación es también variable en lo que se refiere al momento de la ruptura de las cubiertas por la radícula. En cebada, la radícula emerge antes de que comience la división celular, mientras que en habas y guisantes la ruptura de las cubiertas parece coincidir, más o menos, con el comienzo de la mitosis.

La ruptura de las cubiertas en la germinación provoca libre entrada de oxígeno, la activación de la respiración y el aumento del aporte de energía: las hormonas y las enzimas de reserva se agotan y se sintetizan otras, comenzando entonces la movilización de las sustancias almacenadas en los tejidos de reserva. Con ello se inicia la segunda fase de germinación, con el crecimiento activo de la plántula por la multiplicación celular.

La fuerza de empuje de las plántulas varía con las condiciones ambientales del suelo, humedad, temperatura, salinidad, pH, oxígeno, etc. (Besnier, 1989).

2.3.1. Factores que afectan la germinación.

Las semillas puestas a germinar se encuentran sometidas a una serie de factores ambientales fluctuantes que, a la larga determinan su germinación, su supervivencia en letargo o su muerte. Estos factores son de dos tipos, abióticos y bióticos. Los factores abióticos son los ya conocidos de humedad, temperatura, gases y luz, a los que puede añadirse la presencia de sustancias tóxicas (Besnier, 1989).

2.3.1.1.-Humedad. Cuando se siembran semillas en un jardín, se aprieta la tierra sobre ellas para ponerlas en contacto directo con las partículas húmedas de suelo

En el laboratorio, cuando se hacen germinar las semillas en cajas de Petri, se les coloca sobre papel filtro humedecido. No es necesario que el agua líquida esté en contacto con las semillas ya que éstas pueden germinar con una atmósfera saturada de humedad (Miller 1981).

La toma de agua por las semillas secas empieza con la imbibición, que es un proceso puramente físico. Los grupos hidrófilos, por ejemplo OH_2^+ , OH y COOH atraen el dipolo de agua y forman a su alrededor una cubierta de hidratos.

Las macromoléculas que forman la cubierta hidratada son del grupo hidrófilo; Así por ejemplo las proteínas y los polímeros de carbohidratos, se hinchan. Se inicia el alargamiento celular como consecuencia de una intensa incorporación de agua (Hess, 1980).

El agua es primordial pues las semillas están extremadamente deshidratadas. Normalmente contienen sólo de 5 al 20% de agua de su peso total y tienen que absorber rápidamente una buena cantidad antes de que se inicie la germinación (Bidwell, 1979).

En todo caso, parece que existen especies cuyas semillas absorben suficiente cantidad de agua para germinar en condiciones en que las semillas de otras especies no son capaces de ello; esta capacidad está a veces relacionada con la existencia de mucilago en la superficie, la capacidad de imbibición en condiciones difíciles está relacionada con el vigor. No obstante, esta capacidad no es el único mecanismo que poseen las semillas para asegurar su germinación y la supervivencia de las plántulas en condiciones de sequía (Besnier, 1989).

2.3.1.2.-Temperatura. Se sabe que las temperaturas alternantes ejercen un gran efecto sobre la ruptura del letargo, bien sea por sí mismas, o en combinación con los efectos de la luz, aunque los mecanismos implicados sean desconocidos, sobre todo en el primer caso. Por ello no es fácil inicialmente, separar los efectos de las temperaturas alternantes en relación con la ruptura del letargo en la germinación (Besnier, 1989).

Al comienzo de la primavera en las zonas templadas, el suelo está generalmente saturado de humedad pero la temperatura es demasiado baja y no permite la germinación de la mayoría de las semillas, cuando avanza la estación y la temperatura del aire y del suelo aumenta gradualmente emergen las plantas (Miller, 1981).

Con las exigencias de temperatura que tiene cada especie en la relación con la germinación se puede demostrar bien el significado de los diferentes óptimos específicos, ya que los óptimos de temperatura corresponden a las condiciones externas que se requieren para el desarrollo de la especie en cuestión.

Por ejemplo, para pruebas de suelos del desierto de Colorado, se ha determinado que a 10°C germinan preferentemente las anuales invernales (plantas anuales que germinan en otoño florecen y dan frutos en la primavera o a principios de verano del año siguiente), y a 26-30°C las anuales estivales (plantas anuales que realizan todo su desarrollo en el verano de un mismo año). Las anuales invernales y estivales muestran pues diferentes óptimos de temperatura para la germinación, que están adaptados a las condiciones externas requeridas para su posterior desarrollo (Besnier, 1989).

Las bajas temperaturas intervienen en procesos muy distintos. Pueden anular obstáculos puestos por inhibidores y así hacer germinar el embrión. El embrión permanece inhibido en su posterior desarrollo, si sobre él no actúan bajas temperaturas (Hess, 1980).

Las temperaturas a las que están sometidas las semillas en germinación tienen un efecto importante sobre los requerimiento de luz para el proceso en la germinación; ésto parece estar relacionado con las conversiones de origen térmico que tienen lugar entre las distintas formas del fitocromo (el fitocromo está presente en la semilla de dos formas principales: la forma Pr (P660) que es inactiva y la forma Pfr (P730) que promueve la germinación; la forma Pr absorbe luz, principalmente, en la energía roja del espectro lumínico con un máximo de absorción a los 660 nm, esta absorción convierte la forma Pr a la forma Pfr; inversamente la forma Pfr absorbe luz, principalmente, en la región rojo lejana o en la rojo oscura, con un máximo de absorción a los 730 nm; esta absorción la convierte en la forma inactiva Pr). Sucede también que la reversión del Pfr a Pr en la oscuridad, es más rápida a temperaturas altas. Si este período de oscuridad, a alta temperatura es muy largo, la semilla puede entrar en letargo y éste no se rompe luego aunque se ilumine la semilla con la luz apropiada; no se conoce la causa de este tipo de letargo (Besnier, 1989).

En general, las bajas temperaturas, bien sean constantes, bien sean alternadas, disminuyen las necesidades de iluminación, incluso, en ciertos casos la eliminan totalmente. Por ejemplo las semillas de tabaco requieren luz para germinar a 25°C (temperatura constante óptima) pero germina perfectamente en la oscuridad cuando se somete a un ciclo de ocho horas a 30°C y de 16 horas a 20°C. Existen otros ejemplos, como el de las semillas de algunas especies de abedul, en que aquellas quedan aletargadas a baja temperatura (15°C) pero germinan a temperaturas más altas, superiores a 25°C (Besnier, 1989).

2.3.1.3.-Oxígeno. La energía para el crecimiento se obtiene de la respiración y este proceso necesita O₂; semillas puestas en un frasco de boca ancha y cubiertas completamente de agua se hinchan, pero no germinan (Miller, 1981).

Para la germinación, como ya se mencionó arriba, es necesaria energía. Ésta se presenta en forma de ATP, que deriva de la cadena de fosforilación a nivel de sustrato y de la cadena respiratoria. El funcionamiento de la cadena respiratoria y con ella la de la fosforilación de la cadena respiratoria supone, sin embargo, la presencia de O₂. Por esta razón la presencia de O₂ es una de las condiciones indispensables para la germinación de las semillas (Hess, 1980).

En la mayoría de los casos el nivel de oxígeno en el agua raramente baja del 19%, que es suficiente para la iniciación y mantenimiento de la germinación por lo que en tales situaciones es difícil que la ligera disminución del mismo o el ligero aumento de dióxido de carbono puedan provocar, salvo casos especiales, letargo secundario.

Es posible que el oxígeno disuelto en el agua sea suficiente para la germinación normal ya que, en realidad, se ignora cuánto oxígeno exterior se precisa en los primeros momentos de la germinación. Se sabe, por ejemplo, que la germinación del trigo baja a un 5.2% cuando se pone a germinar a una atmósfera con 0.3% de oxígeno, pero en estas mismas condiciones el arroz germina en un 80%; sin embargo se carece de datos sobre el momento en que el nivel de oxígeno reducido ejerce su acción en la semilla de trigo (Besnier, 1989).

2.3.1.4.-Iluminación. Es un factor necesario para la germinación solo en ciertos tipos de semilla; algunas no germinan si no están expuestas a la luz, en otras actúa como estimulante y eleva el porcentaje de germinación y en otras debido al efecto de la luz se retarda su germinación o deben germinar en la oscuridad (Miller 1981), tal es el caso de *Amaranthus caudatus* (Hess, 1980).

Las semillas que se activan y las que se inhiben a la luz parece ser que se diferencian en el modo de reaccionar su sistema fitocromo ante la luz que reciben, que contienen no sólo rojo claro, sino también rojo oscuro. En las semillas activadas por la luz, el P₆₆₀ es transformado a través de RC (radiación roja clara, óptima hacia la longitud de onda de 660 nm) en P₇₃₀, el estado activado del sistema que luego puede provocar la germinación. En las semillas inhibidas por la luz, la concentración fija de P₇₃₀ en la oscuridad parece ser suficientemente alta para provocar la germinación.

El mecanismo de acción posterior a la luz en la activación de la germinación podría estar relacionado con la producción de giberelinas ya que, el efecto de la luz puede sustituirse total o parcialmente por el ácido giberélico. Sin embargo, esto no es válido para todas las semillas (Hess, 1980).

2.4 EL AMARANTO (*Amaranthus hypochondriacus* L.).

2.4.1.-Clasificación taxonómica (según Mabberley, 1997).

Reino	Plantae
División	Angiospermae
Clase	Dicotyledonae (Magnoliopsida)
Subclase	Caryophyllidae
Orden	Caryophyllales
Familia	Amaranthaceae
Género	<i>Amaranthus</i>
Especie	<i>Amaranthus hypochondriacus</i> L

Nota: En adelante *Amaranthus hypochondriacus* L. se mencionara como amaranto

2.4.2.-La semilla.

La historia del amaranto se relaciona de manera importante con el color de las semillas. El tamaño del grano del amaranto es menos de 1 mm; sus principales tintes son marfil, amarillo canario y café claro (Xolalpa, 1990), aunque también hay blanca, parda y negra (Suárez, 1990).

Las semillas de color negro provienen de plantas que son mas apropiadas como especies ornamentales, como fuentes de obtención de colorantes y como hierbas que se comen a manera de verdura. Las plantas de semillas blancas, por su parte, provienen de especies que han sido desarrolladas y domesticadas como fuentes de pseudocereales, es decir, de granos ricos en proteínas y carbohidratos (Mapes, 1990).

El grano de amaranto o alegría, limpio y seco puede durar hasta más de 10 años, almacenándolo en cajones, recipientes de lámina metálica de fibra de vidrio o bien sin envase, en un cuarto con piso de cemento y techado de concreto que impida la humedad (Xolalpa, 1990).

2.4.3.-La especie.

La familia Amaranthaceae se compone de 60 géneros y cerca de 800 especies; todas son plantas anuales herbáceas.

Muchas de estas especies fueron plantas pioneras anuales en hábitats naturalmente abiertos como cañones de montañas y desiertos, orillas de ríos y lagos; marismas y playas. Producían una abundante cantidad de semillas, las cuales eran dispersadas por el viento y las aves. Por ello colonizaron sitios perturbados con mucho sol y poca competencia.

En la actualidad se considera que cerca de 60 especies tienen una distribución cosmopolita y son particularmente abundantes como maleza en los campos cultivados y en otros sitios perturbados (Mapes, 1990). Ya que muchas de las especies se comportan como maleza y dado que frecuentemente las semillas son transportadas por el hombre, tanto de manera intencional como en forma desapercibida, es difícil decir exactamente cuantas de ellas son originarias de un área determinada. De

acuerdo con Robertson (1981) aproximadamente 60 especies son nativas de América y cerca de 15 provienen de Europa, Asia, África y Australia.

En la región central de México, diversas especies de amaranto como *A. cruentus* y *A. hypochondriacus* se cultivan en los estados de Tlaxcala, Puebla y Morelos, así como en Tulyehualco, D.F. (Gómez, 1990).

2.4.4.-El cultivo.

La importancia del cultivo del amaranto se conoce desde hace 8000 a 4000 años A.C., según hallazgos arqueológicos realizados en Perú, México y Estados Unidos de Norteamérica. Por lo que se refiere a México, los mayas fueron los primeros en adaptarlo como cultivo de alto rendimiento. En la parte central de México hasta antes de la conquista, el amaranto constituyó uno de los cultivos básicos en la alimentación junto con el maíz, frijol, calabaza y chiles de diferentes especies (Santos y Gómez, 1990).

Las ventajas ecológicas que colocan al amaranto o “alegría” como un buen cultivo se apoyan en parte en su característica fotosíntesis vía C_4 , que corresponde a plantas de rápido crecimiento con particular eficiencia para fijación de carbono a temperaturas elevadas, en lugares soleados, ambientes secos y escasa humedad.

La planta es de tallo simple o ramificado con estrías longitudinales y mide hasta 3 metros de altura, con hojas pecioladas elípticas u ovado-oblongas con ápice agudo o acuminado y base cuneada. La inflorescencia es terminal de gran tamaño (50 a 100 cm de largo) con espigas y panículas laterales muy densas, erectas y espinosas, brácteas de igual tamaño a las ramificaciones del estilo.

La flor presenta 5 tépalos ligeramente curvados, con ápices acuminados con tépalos internos más cortos que los externos. El fruto corresponde a un útrículo circumsésil con una cápsula (Díaz, 1994).

Tanto la semilla como los tallos y las hojas del amaranto tienen alto valor alimenticio. Las hojas de esta planta pueden consumirse como verdura hasta antes de su floración y si el cultivo tiene por objeto la producción de

semilla, entonces la parte vegetativa es susceptible de ser aprovechada como forraje.

La semilla del amaranto puede ser considerada un alimento adecuado por su alto valor alimenticio ya que:

- ✎ Posee más proteínas que el promedio de los cereales.
- ✎ Tiene un alto contenido de grasa y minerales.
- ✎ Su contenido en fibra es superior al de los granos comunes.
- ✎ Su proporción de calcio fácilmente supera a los demás cereales.
- ✎ Es rico en aminoácidos esenciales, incluyendo lisina y metionina.
- ✎ Su eficiencia protéica es comparable al de la caseína.

El rendimiento por hectárea como cultivo de temporal es de 0.8 a 2 toneladas. Algunos cultivadores frecuentemente lo siembran en asociación con otros como jitomate, tomate o chile, por lo que el rendimiento por área varía (Granados y López, 1990).

III.- MATERIAL Y MÉTODOS

3.1. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.

La zona de muestreo fue el lado Oeste del Valle de México.

El Distrito Federal se ubica entre las coordenadas 19°35' y 19°03' N y entre 98°57' y 99°22' O y una altitud de 2240 msnm (INEGI, 1996a). De aquí se tomaron 5 puntos de muestreo (Figura 1) que se describen a continuación:

Delegación Coyoacán.- Se ubica entre las coordenadas 19°20' y 19°18' N; y entre 99°05' y 99°12' O. Se muestreó una zona cercana a la ciudad Universitaria (19°20' N, 99°11' O a 2250 mnsnm). La zona de acuerdo a estadísticas es una de las que tienen menos industrias (INEGI, 1996e) pero un flujo constante de automóviles. Este punto se puede observar una de las fuentes naturales formadoras de la lluvia ácida, cuando se encuentra en actividad el volcán Popocatepetl. A este punto se le llamó **Santo Domingo**.

Delegación Magdalena Contreras.- Situada entre las coordenadas 19°20' y 19°13' N y entre 99°12' y 99°19' O. El muestreo se realizó en **San Nicolás Totolapan** (19°18' N, 99°14' O a 2550 mnsnm). Aquí se cultiva haba, maíz, avena, calabaza y frijol; esta parte no tiene grandes industrias contaminantes (INEGI, 1996g).

Delegación Azcapotzalco.- Se ubica entre las coordenadas 19°31' y 19°27' N y entre 99°09' y 99°13' O. El muestreo se realizó en un punto próximo a la zona industrial Vallejo (19°28' N y 99°10' O a 2240 mnsnm). No tiene zonas agrícolas y es uno de los lugares del Distrito Federal más industrializados; a este punto se le nombró **Vallejo** (INEGI, 1996c).

Delegación Alvaro Obregón.- Se encuentra entre las coordenadas 19°24' y 19°13' N y entre 99°10' y 99°19' O, con una altitud de 2400 mnsnm; tiene cultivos de maíz, avena, frijol, haba y calabaza (INEGI, 1996f).

Cuenta con industrias de todo tipo, aunque no cerca de donde estuvo el punto de muestreo el cual fue instalado en el Laboratorio Central de INE con proximidad a una de las vías más transitadas que es Constituyentes y Reforma, donde constantemente se observó una gran atmósfera densa en la zona de **Santa Fé** (19°23' N y 99°14' O), nombre que se dió al punto de muestreo (INEGI, 1996f).

Delegación Cuauhtémoc.- Se ubica entre 19°28' y 19°24' N y 99°07' y 99°11' O; específicamente fue la zona de **Santa María la Ribera** (19°27' N y 99°10' O a 2240 mnsnm de altitud). Se encuentra ubicada a un costado de la delegación Azcapotzalco, presenta un buen número de industrias (INEGI, 1996d).

Estado de México.- Se encuentra entre los 20°17' y 18°25' N y entre los 98°33' y 100°28' O a 2300 mnsnm (INEGI, 1996b). Aquí en esta parte se ubicó el punto de muestreo en la zona de la caseta de cobro de **Tepotztlán** (19°43' N y 99°13' O) ubicada entre las áreas de Izcalli, Tepotztlán y Cuautitlán. Se cultiva maíz, frijol, cebada, avena, se encuentra atrás de la zona industrial y de una área de cultivos de maíz principalmente, así como una gasera, una gasolinera, una fábrica de refrescos y puestos así como al flujo vehicular constante de camiones de pasajeros, trailers y automóviles.

3.2. COLECTA DE MUESTRAS DE AGUA DE LLUVIA.

3.2.1. Material de muestreo y equipo.

- Envases de polietileno de 1 litro
- Embudo de polietileno de 14 cm
- Malla de plástico de 1 mm de diámetro
- Contenedores de envases de muestreo

Equipo de Laboratorio.

Potenciómetro Corning, modelo 7 de Scientific Instruments

Conductímetro 1481-60, Cole-Parmer Instrument Co.

Incubadora Riochar

Oxímetro Y51, modelo 57 de YSI Incorporated.

Espectrofotómetro Spectronic 1001, Miltron Roy Company.

3.2.2. Muestreo en campo.

- Se realizaron muestreos semanales durante los meses de julio, agosto, septiembre y octubre de 1995.
- El dispositivo de muestreo diseñado consistió en un contenedor elaborado con estructuras metálicas como varillas, y aros que servían como soporte al envase colector (Figura 2).
- El embudo colector estuvo cubierto por una malla de plástico con un tramado de 1 mm, evitando así la entrada de basura y/o insectos etc., a los muestreadores.
- Los muestreadores fueron colocados a una altura aproximada de 2 metros en espacios totalmente abiertos para intentar captar una mayor volumen de lluvia.
- En cada muestreo se cambiaba el envase y embudo colector así como la malla de plástico.
- Una vez colectada la muestra se mantenía a baja temperatura (-4°C) hasta el momento de ser analizada, para reducir al máximo la presencia y crecimiento de microorganismos entre el momento de hacer la toma y proceder al análisis (Galloway, 1978 y Apha 1992).

3.3. DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS.

- * A cada muestra se midió pH, conductividad y oxígeno disuelto.
- * El análisis de las muestras se llevó a cabo a temperatura ambiente ($22 \pm 2^{\circ}\text{C}$).
- * La determinación de pH fue hecha al trasladar las muestras al laboratorio.
- * La conductividad fue determinada con el conductímetro previamente calibrado con la solución de KCl 0.005N.

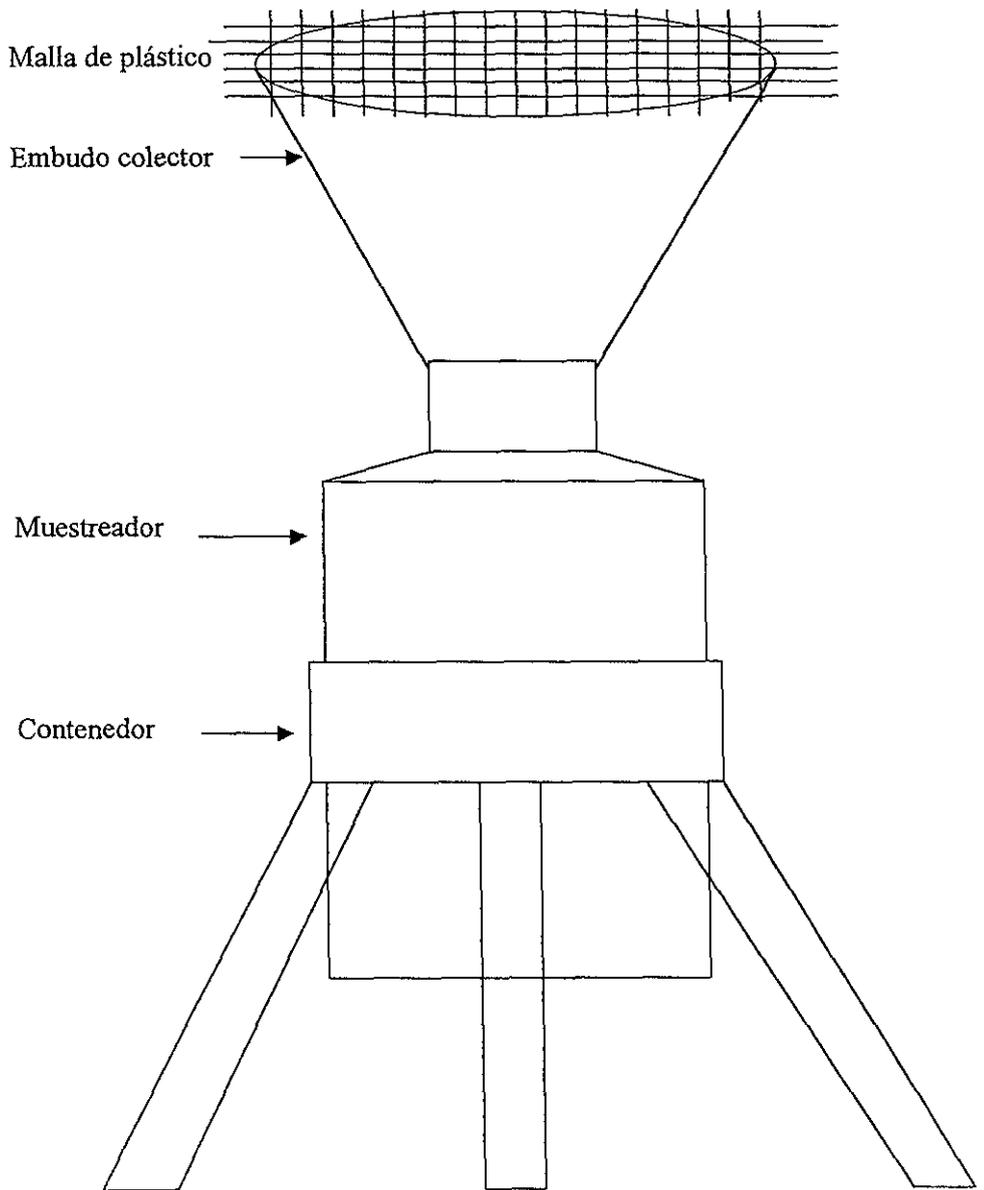


Figura 2 - Dispositivo de muestreo

- * La determinación del oxígeno disuelto se llevó a cabo mediante el método electrométrico utilizando el oxímetro.
- * Posteriormente se hizo el análisis de sulfatos, nitratos, y cloruros; que son los principales componentes del agua de lluvia ácida:

⇒**SULFATOS**.- Su cuantificación fue hecha por método turbidimétrico que detecta hasta 10 mg/L de SO_4 (Dirección General de Protección y Ordenación Ecológica, 1979). Apéndice B.

⇒**NITRATOS**.- El método utilizado fue el método colorimétrico de la brucina, detecta de 0.1 a 1 ppm (SEDUE 1985b). Apéndice B.

⇒**CLORUROS**.- Se usó el método argentométrico el cual es aplicable también al igual que los 2 anteriores para aguas residuales y naturales, desde un ámbito de 1 ppm para un volumen de muestra titulada de 100 ml (SEDUE, 1985b). Apéndice B.

3.4. MATERIALES Y MÉTODOS PARA EL BIOENSAYO DE GERMINACIÓN.

3.4.1. Material Biológico.

Para la realización de los bioensayos se utilizaron semillas de amaranto (cosecha 1994, proporcionada por el **Colegio de Postgraduados**) (Figura 3), por ser una especie importante económicamente, y por ser muy resistente a las condiciones adversas. Es también una semilla de rápida germinación; en 18 horas se pueden obtener resultados.



3.4.2. Material y Equipo para el Bioensayo.

Material de laboratorio:

- ⇒Cajas Petri de vidrio de 10 cm de diámetro con 4 divisiones.
- ⇒Papel filtro Whatman #1
- ⇒Matraces de 100 ml
- ⇒Pinzas de punta fina
- ⇒Reglilla graduada en milímetros
- ⇒Pipetas graduadas de 1mm
- ⇒Agua destilada.

3.4.3. Bioensayo.

- En cajas Petri se colocó un soporte de papel filtro Whatman #1, (dos triángulos por división) enseguida se agregó la muestra que consistió en 1.1ml de agua de lluvia por división.
- Posteriormente se distribuyeron uniformemente en cada espacio 10 semillas colocando un total de 40 semillas por caja.
- Las cajas así preparadas incubaron en la estufa a una temperatura de 27 °C en la oscuridad por 48 hrs.
- Los testigos se colocaron de igual forma que los tratamientos pero con agua destilada.
- Después de 48 hrs. se evaluó el porcentaje de inhibición de la germinación y posteriormente se seleccionaron 10 plántulas al azar y se midió la longitud del vástago y la radícula (milímetros). Asimismo, se calculó la relación vástago-radícula (VR) mediante la fórmula $VR = \text{longitud vástago} / \text{longitud radícula}$.
- A las variables en estudio se les realizó un análisis de varianza y la prueba de comparación de medias de Tukey a las que resultaron con cambios significativos utilizando el paquete SAS bajo el modelo de bloques al azar.

IV.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS.

4.1.1.- pH.

El pH es uno de los principales parámetros fisicoquímicos que se determinan en un análisis fisicoquímico de agua, principalmente cuando se trata de determinar la acidez o alcalinidad del agua de lluvia.

Si bien existe una escala universal de pH para determinar la acidez o alcalinidad de una sustancia, en donde el valor de 7 es el neutro, en este trabajo se utilizará el criterio siguiente: El pH del agua pura en equilibrio con el bióxido de carbono en concentraciones atmosféricas es de 5.6 por lo que se considerara como neutro. Para el caso particular cuando el pH de precipitaciones atmosféricas es menor de 5.6 es ácido y mayor de 5.6 alcalina (Padilla, 1985).

Ahora bien, de acuerdo a lo anterior dentro de los valores promedio que resultan entre las localidades de muestreo no hay pHs ácidos sino todos son alcalinos, los valores promedio más bajos de pH se encuentran en San Nicolás Totolapan y Santa Fé (5.7), mientras que los valores para las demás localidades (Santa María la Ribera, Santo Domingo, Tepetzotlán y Vallejo) van de 6.0 a 6.2 que son ligeramente mayores que los más bajos (Cuadro 1 y Figura 4).

CUADRO 1 Valores promedio de los parámetros fisicoquímicos determinados en las localidades de muestreo de agua de lluvia, en 1995.

LOCALIDAD	pH	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA ($\mu\text{mhoz/cm}$)	OXÍGENO DISUELTTO (mg/L)	SULFATOS (mg/L)	NITRATOS (mg/L)	CLORUROS (mg/L)
SANTA MARÍA LA RIBERA	6.1	34.3	4.5	3.6	0.5	0.8
SAN NICOLÁS TOTOLAPAN	5.7	34.5	4.9	0.6	0.6	1.2
SANTO DOMINGO	6.2	66.4	5.1	7.4	0.6	1.9
SANTA FÉ	5.7	45.2	4.8	2.1	0.5	1.1
TEPOTZOTLÁN	6.0	36.7	5.7	2.6	0.3	0.8
VALLEJO	6.2	72.6	5.2	10.7	0.6	2.3

NOTA: Dentro de los parámetros fisicoquímicos el valor de los testigos es siempre el mínimo. 0 para sulfatos, nitratos, oxígeno disuelto y cloruros; 1 en el caso de la conductividad y de alrededor de 5.8 a 6.0 en pH por las características del agua destilada que se utiliza como testigo en la determinación de estos parámetros.

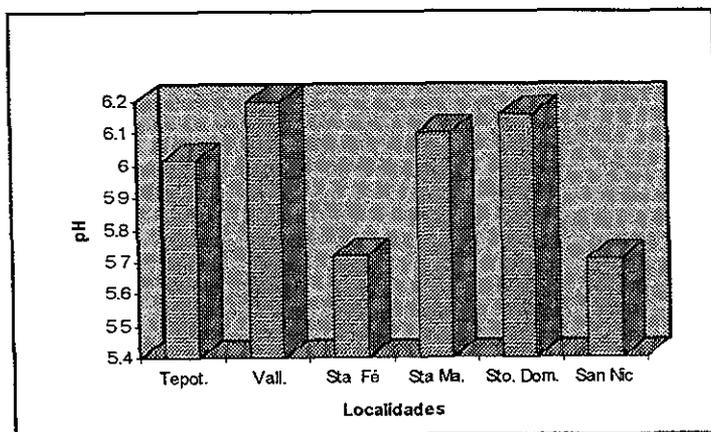


FIGURA 4 Valores promedio de pH en las localidades de muestreo de agua de lluvia, en 1995.

En el caso de San Nicolás Totolapan el pH promedio obtenido (5.7) es el resultado del desplazamiento de los contaminantes por el viento hacia zonas rurales, ya que esta zona se ubica en los alrededores de la parte alta del Valle de México (Hernández y Bauer, 1986).

En cambio, en la zona de Santa Fé el pH promedio resultante es producto de la alta afluencia vehicular así como de la actividad industrial de la zona que da lugar a la formación de una densa niebla que a simple vista se puede apreciar.

Entre las otras zonas de muestreo donde es mayor el pH promedio, además de ser muy similar, corresponde a los lugares que se ubican en la parte central del D.F. (Santa María La Ribera y Santo Domingo); Vallejo, por otro lado, es

de las áreas con más alta actividad industrial (6.2) y Tepetzotlán (6.0) se ubica junto a otra de las zonas industriales como es Cuautitlán, en donde el pH que se registra es el resultado final de la reacción de los ácidos y bases presentes en el agua de lluvia (Padilla, 1985) muestreada.

4.1.2 Conductividad Eléctrica.

En aguas naturales la conductividad eléctrica (CE) debe ser de 60 a 70 $\mu\text{mhoz/cm}$, valores más altos afectan a las plantas, animales e incluso al hombre por el grado de concentraciones de los minerales disueltos en las aguas naturales y aguas de desecho que pueden ser tóxicas para los organismos (Dirección de Protección y Ordenación Ecológica, 1979).

El agua colectada en Santo Domingo muestra valores de conductividad eléctrica dentro del intervalo normal (66.4 $\mu\text{mhoz/cm}$). La conductividad del agua de Vallejo es ligeramente superior al límite normal de conductividad con 72.6 $\mu\text{mhoz/cm}$ quizá dada la actividad contaminante de la zona que contribuye a una mayor conformación de partículas (plomo, materia orgánica, hidrocarburos, óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre y asbesto). Los valores de conductividad más bajos se encuentran en el agua proveniente de Santa María la Ribera (34.3 $\mu\text{mhoz/cm}$), Tepetzotlán (36.7 $\mu\text{mhoz/cm}$), San Nicolás Totolapan (34.5 $\mu\text{mhoz/cm}$) y Santa Fé (45.2 $\mu\text{mhoz/cm}$), esta baja conductividad indica bajo contenido de partículas en el agua, debido a que éstas son arrastradas entre el polvo existente en el ambiente por medio del viento, además de que al pasar entre la vegetación del área de muestreo esta actuaría como una especie de filtro y es por ello que posiblemente se reflejan resultados con baja conductividad en el agua de lluvia colectada en las diferentes localidades (Cuadro 1 y Figura 5).

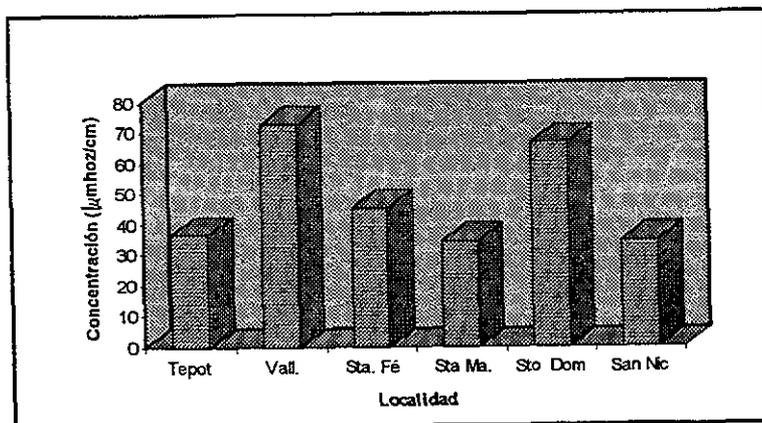


FIGURA 5 Valores promedio de conductividad en las localidades de muestreo de agua de lluvia, en 1995.

4.1.3.- Oxígeno disuelto.

El oxígeno juega un papel muy importante en la germinación y el crecimiento de la planta y el nivel mínimo para oxígeno disuelto en el agua debe de ser de 4 mg/L para la Dirección de Protección y Ordenación Ecológica (1979) mientras que para Stocker (1981), no debería ser inferior a las 6 mg/L, en relación a ésto, los valores encontrados quedan en su mayoría dentro de estos valores mencionados en la literatura, como se puede ver en la Figura 6. De acuerdo a lo anterior este factor no influye en la germinación ni en la reducción del crecimiento de las plantas. Para Besnier (1989), por lo menos en la germinación la cantidad de oxígeno disuelto en el agua es suficiente para dar lugar a este proceso y para que la planta pueda continuar su desarrollo.

De acuerdo a la ubicación de las zonas se encuentran los valores más altos de oxígeno disuelto se registran en la parte norte (Tepotzotlán con 5.7 mg/L y Vallejo con 5.2 mg/L) y los valores más bajos se observan en la parte central (Santa María la Ribera) con 4.5 mg/L, con tendencia a incrementarse conforme se avanza hacia el sur (Santo Domingo con 5.1 mg/L y San Nicolás Totolapan con 4.9 mg/L), quizá esto se deba al desplazamiento del viento que mueve tanto polvo como los contaminantes, disminuyendo ligeramente la concentración de oxígeno.

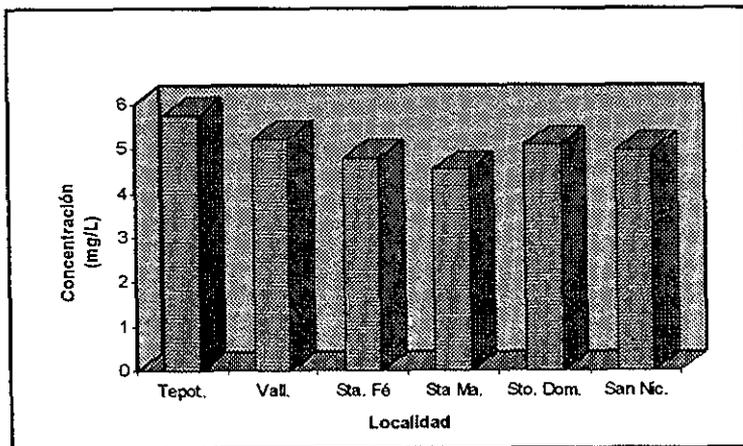


FIGURA 6 Valores promedio de oxígeno disuelto en las localidades de muestreo de agua de lluvia, en 1995.

4.1.4.- Sulfatos.

Kabata (1979) menciona que los sulfatos son de los contaminantes atmosféricos más destructivos directa o indirectamente tanto sobre el suelo como sobre la vegetación.

Además hay evidencias que el SO₂ puede ocasionar un decremento en el crecimiento y síntesis del almidón en plántulas por el efecto de depositación atmosférica aunque no se menciona a qué concentración (Sherzer, 1989).

En los valores obtenidos de sulfatos se rebasa ligeramente el límite superior de detección de 10 mg/L de la técnica a la cual se determinaron (método turbidimétrico). La máxima concentración que se detecta fue para Vallejo (10.7 mg/L); esta concentración parece lógica por la gran actividad industrial que se desarrolla en la zona, ya que el 40% de SO₂ en 1990 se generó en la refinería "18 de marzo", el 39 % las dos termoeléctricas y un 21% la industria en general (Riveros, 1990). Por su parte Wark (1992) considera que la concentración natural en el agua de lluvia debe ser menor a 10µm/L.

El SO₂ entra directamente a los estomas y las células del mesófilo lo convierten en sulfito y luego a sulfato. Al parecer cuando existe un exceso de SO₂, estas células son incapaces de convertir sulfito en sulfato con suficiente rapidez y comienza la lisis celular (Hernández y Bauer, 1989).

Por otro lado las demás localidades muestran valores mucho más bajos al de Vallejo; tal es el caso de San Nicolás Totolapan con 0.6 mg/L, lo que se explica en el sentido de que el lugar todavía es rural y no hay establecidas industrias que son las principales fuentes aportadoras de sulfatos (Owen, 1986), mientras que para Santa Fé (2.1 mg/L), Tepetzotlán (2.6 mg/L) y Santa María la Ribera (3.6 mg/L) las concentraciones registradas ya son más elevadas lo mismo que para Santo Domingo (7.4 mg/L) y que corresponderían a la contaminación generada en la zona y la que se pudiera conjuntar por el desplazamiento de los vientos (Cuadro 2 y Figura 7).

La presencia de sulfatos en la mayoría de las zonas de muestreo, coincide con lo que reportan Calva y Corona (1990) sobre que las áreas de mayor contaminación por SO₂, son centro y noroeste del Valle de México con valores de 0.02 mg/L y 0.95 mg/L, aunque las concentraciones aquí encontradas son mayores.

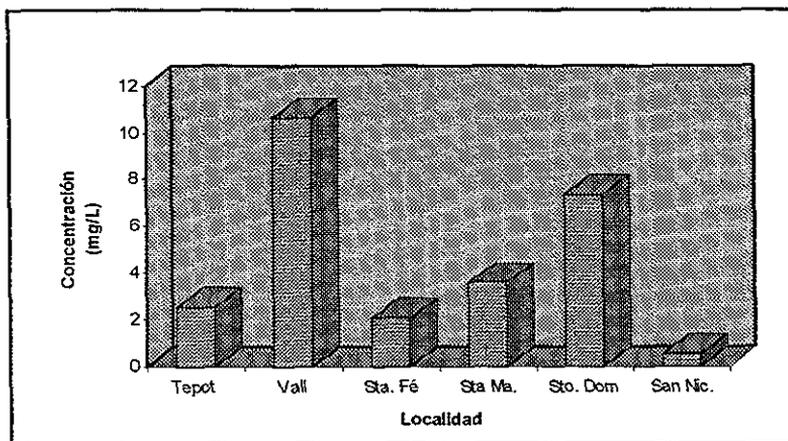


FIGURA 7 Valores promedio de sulfatos en las localidades de muestreo de agua de lluvia, en 1995.

4.1.5.- Nitratos.

Los nitratos y los sulfatos son compuestos esenciales para el crecimiento de las plantas, sólo que cuando las concentraciones de nitratos ya no pueden ser reducidas para ser incorporadas como nutrimentos (Strasburger, 1986) ejercen daños a las plantas tales como manchas y zonas de necrosis leves en las hojas (descomposición de tejidos) (Spedding, 1981).

Para ocasionar síntomas en plantas sensibles se requiere por lo menos 1.0 ppm de NO_2 durante 24 horas (Hernández y Bauer, 1989) Las concentraciones encontradas en las localidades de muestreo no rebasan el valor señalado como se puede observar en el Cuadro 1 y Figura 8. Cabe señalar que Hernández y Bauer (1986) encontraron que plantas expuestas cerca de zonas industriales mostraron una clara reducción en su desarrollo; lo que menciona podría atribuirse el daño por dióxido de nitrógeno.

En la localidad de Vallejo se detectan las concentraciones más altas de nitratos (0.6 mg/L); ésto lo justifica la combustión de vehículos característica del lugar y que es la fuente mayor de óxidos de nitrógeno producidos por el hombre (Padilla, 1985); lo anterior es similar para Santo Domingo (0.6 mg/L).

Por su parte para Santa Fé (0.5 mg/L) y Santa María La Ribera (0.5 mg/L) que son zonas que se ubican en la parte centro del D.F., las concentraciones registradas coinciden de acuerdo a la actividad vehicular; sobre Tepotzotlán, se registra la menor concentración de nitratos (0.3 mg/L).

El valor de nitratos en San Nicolás Totolapan (0.6 mg/L) llega a ser el resultado de que los óxidos de nitrógeno son transportados por el viento (Hernández y Bauer, 1986); Jauregui (1958) dice que la dirección del viento dominante sobre la ciudad de México es de norte y noroeste al sur y suroeste, de ahí la presencia de estos compuestos en estos lugares que son más bien rurales.

Si bien los valores de nitratos registrados en nuestro estudio no rebasan el límite mencionado por Hernández y Bauer (1989), la constante exposición sí podría tener algún efecto sobre el crecimiento de la vegetación.

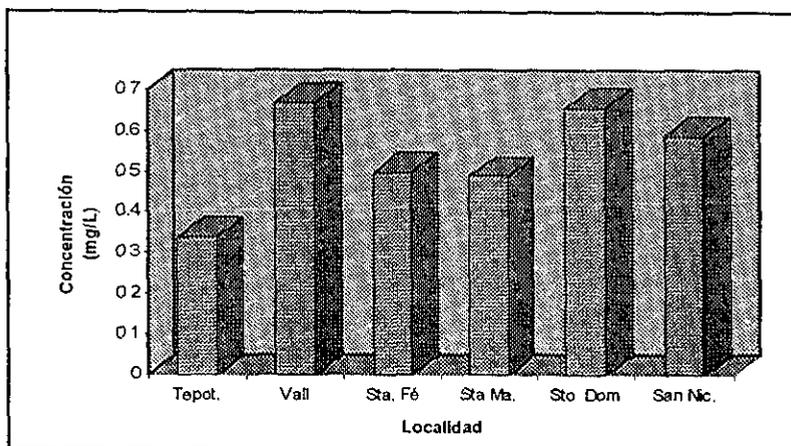


FIGURA 8 Valores promedio de nitratos en las localidades de muestreo de agua de lluvia, en 1995.

4.1.6. Cloruros.

La concentración que se encuentra de cloruros confirma que al ser una zona altamente industrial Vallejo presenta la más alta concentración de este ión (2.3 mg/L). Entre los textos que mencionan la presencia de los cloruros en el proceso de formación de la lluvia ácida están los de Padilla (1985), Bravo (1987) y SEDUE (1991); éstos dicen que el HCl esta catalogado junto con el H_2SO_4 y el HNO_3 como los ácidos más fuertes en la atmósfera que posteriormente dan lugar a Cl^- , SO_4^- y NO_3^- por diversas reacciones que se dan en el ambiente.

Las concentraciones de cloruros más bajas se ven en Santa María la Ribera y Tepotzotlán (Cuadro 1 y Figura 9). Entre los estudios sobre el efecto de los cloruros en los vegetales encontramos a Porras (1979) que dice que los cloruros causan un crecimiento anormal de las plantas y ocasionan quemaduras en las hojas a elevadas concentraciones (no menciona qué considera como concentraciones elevadas) mientras que Spedding (1981) encuentra que a nivel gaseoso pueden afectar a las plantas a concentraciones tan bajas como 0.2 mgkg^{-1} y para valores menores de 1 mgkg^{-1} se produce colapso parcial de los estomas de las hojas.

San Nicolás Totolapan (1.2 mg/L) y Santa Fé (1.1 mg/L) tienen concentraciones similares; sólo en Santa Fé hay fuentes industriales generadoras de estos compuestos y en cuanto a San Nicolás Totolapan posiblemente la causa de esta concentración puede ser la quema de vertederos de basura o bien la afluencia vehicular ya que, de acuerdo a Spedding (1981), se llega a formar cloro a partir de los gases expulsados de los vehículos. También cabe mencionar que todos los valores encontrados son mayores a lo mencionado por el autor ya citado, lo que podría significar un aumento en la generación de cloruros por las industrias u otras fuentes como la quema de vertederos de basura.

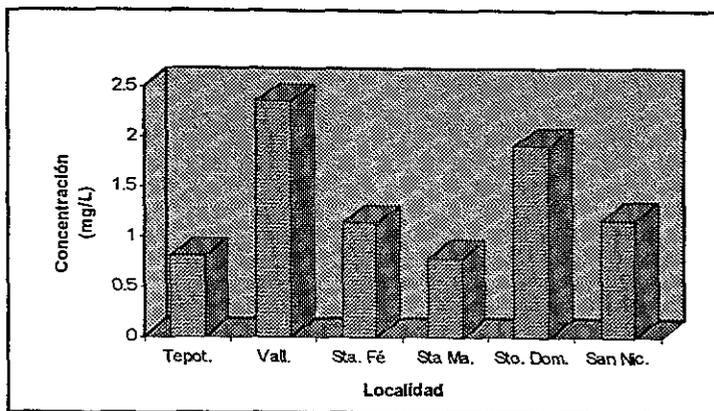


FIGURA 9 Valores promedio de cloruros en las localidades de muestreo de agua de lluvia, en 1995.

En relación a la localidad de Santo Domingo, que es una zona más bien habitacional, se presenta el caso de que los valores obtenidos en la mayoría de los parámetros fisicoquímicos determinados son parecidos a los valores reportados para Vallejo; en relación a esto el INEGI (1990) cita que el ambiente no es favorable en la zona debido a la ubicación de ésta (zona centro-sur del D.F.) por lo que padece todas las desventajas y riesgos que la contaminación ambiental produce, como el deterioro del aire y agua; esto se propicia por contar con polos de atracción masiva, como los centros de Educación Superior, produciendo altos niveles de contaminación vehicular, lo que podría explicar los valores encontrados en el análisis fisicoquímico.

4. 2. EFECTO DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LLUVIA SOBRE LA GERMINACIÓN DEL *AMARANTO*.

Las plantas pueden verse afectadas en su germinación y crecimiento cuando los valores del pH de agua de lluvia que reciben son muy bajos (Evans *et al.*; 1984, Lefhon, 1984 y Abouguendia, 1988).

En el presente estudio el agua de lluvia analizada no ocasiona cambios significativos sobre el porcentaje de germinación en la semilla probada, pues los valores son muy semejantes al testigo. Ésto probablemente se debe a que los valores de pH registrados en el agua de lluvia no son extremadamente ácidos, variando en un intervalo de 5.7 a 6.2.

Como testigo se utiliza agua destilada con un pH de 5.8, presentando un porcentaje de inhibición de la germinación de 5.8 %. Este valor representa el mayor porcentaje de inhibición pues en las localidades de muestreo el porcentaje de inhibición de la germinación para la localidad de Vallejo es de 3.3 %, teniendo un pH promedio en la zona de 6.2, mientras que en los lugares donde se obtiene el pH más bajo (San Nicolás Totolapan y Santa Fé con pH de 5.7) el porcentaje de inhibición es muy similar (2.5 y 3.1 %); sin embargo en la localidad de Santa María la Ribera que presenta el porcentaje más bajo (0.8 %) el pH (6.1) es muy similar a los otros (Cuadro 2).

Los resultados obtenidos en las localidades de muestreo son el reflejo de la suma de las características fisicoquímicas del agua. El pH viene a ser el resultado en gran parte de esas características y, al menos en lo que a la germinación se refiere, no es afectada en un porcentaje significativo en este ensayo.

Cabe mencionar que el cultivo del amaranto ha llegado hasta nuestros días en gran parte por la resistencia de la semilla a heladas, plagas y a su adaptación a diferentes tipos de suelo (Casillas, 1990).

CUADRO 2. Porcentaje de inhibición de la germinación de *Amaranthus hypochondriacus* L. por efecto del agua de lluvia recolectada en la región Oeste del Valle de México, en 1995.

LOCALIDAD	pH	% Inhibición de la Germinación
Santa María La Ribera	6.1	0.8
San Nicolás Totolapan	5.7	2.5
Santo Domingo	6.1	3.1
Santa Fé	5.7	3.1
Tepetzotlán	6.0	3.2
Vallejo	6.2	3.3
Testigo	5.5	5.8

4.3. CRECIMIENTO DEL *AMARANTO* POR LOCALIDADES.

La acumulación de contaminantes en la ciudad se ve influida por la circulación vehicular, abundancia de industrias y los vientos, por lo que en las áreas que conforman la ciudad de México vamos a encontrar que el grado de contaminación urbana que se genera va a ser más grande en algunos lugares que en otros y que en cada área afectará a la vegetación de modo particular (Hernández y Bauer, 1986).

4.3.1.-RADÍCULA.

Las localidades de muestreo en que se encuentran diferencias significativas por la reducción del crecimiento del amaranto son dos: Vallejo y Santa María la Ribera (Cuadro 3 y Figura 10). Cabe mencionar que los lugares se ubican mas hacia el Centro del Valle de México y conjuntan más contaminación (Calva y Corona, 1990), posiblemente influyendo en la reducción del crecimiento de la radícula en la localidad por la actividad industrial y vehicular propia de la zona y la proveniente de las áreas circundantes.

Por otro lado para el sitio de Tepetzotlán no hay reducción en la elongación radicular por efecto del agua de lluvia recolectada. Esto resulta peculiar porque en esta localidad hay diversas fuentes de contaminación como alta actividad vehicular e industrial. Existen en la literatura informes acerca de que el crecimiento de la vegetación se ve afectado precisamente por tener establecidas industrias que emiten grandes cantidades de contaminantes (Hernández y Bauer, 1989); sin embargo nuestros resultados pueden obedecer a dos factores: al desplazamiento de los contaminantes a través del viento hacia el sur que se da en la época de lluvias o bien al resultado final de la reacción de neutralización entre partículas provenientes del suelo (calcio y magnesio) de manera que actúan como neutralizantes de los contaminantes (Padilla, 1985).

CUADRO 3. Crecimiento de la radícula, vástago y relación vástago radícula en *Amaranthus hypochondriacus* L., por localidades, por efecto del agua de lluvia recolectada en la región Oeste del Valle de México, en 1995. Valores registrados a las 48 hrs.

LOCALIDAD	LONGITUD-RADÍCULA (mm)	LONGITUD-VÁSTAGO (mm)	RELACIÓN VÁSTAGO-RADÍCULA (mm)
SANTA MARÍA LA RIBERA	30.9	10.8	0.35
SAN NICOLÁS TOTOLAPAN	32.2	10.8	0.33
SANTO DOMINGO	32.2	11.2	0.34
SANTA FE	31.6	10.7	0.33
TEPOTZOTLÁN	34.7	13.5	0.39
VALLEJO	30.9	10.4	0.33
TESTIGO	34.2	11.7	0.34
prob F	**	**	**
DMS 0.05	1.2	2.3	0.02

(DMS) : Diferencia mínima significativa

** P<0,01

En San Nicolás Totolapan (32.2 mm), Santo Domingo (32.2 mm) y Santa Fé (31.6 mm) también hay diferencias significativas las cuales corresponden a las características de contaminación en la zona y en parte igualmente al transporte de ésta por el viento.

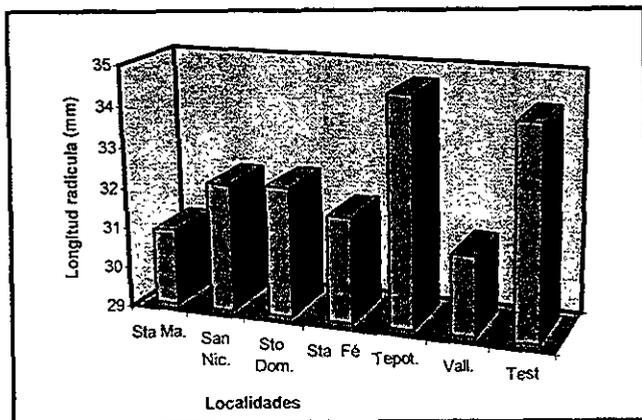


FIGURA 10 Crecimiento de la radícula de *Amaranthus hypochondriacus* L., por localidades, en función del agua de lluvia colectada en 1995, en la región Oeste del Valle de México.

4.3.2.- VÁSTAGO

El agua proveniente de San Nicolás Totolapan, Santa Fé, Vallejo y Santa María la Ribera ocasiona una reducción significativa en el crecimiento del vástago (Cuadro 3 y Figura 11), a diferencia de la localidad de Tepotzotlán y Santo Domingo para las cuales no se obtienen diferencias significativas en el crecimiento del amaranto pues en estos lugares se observa el mayor desarrollo de la plántula; lo anterior también se ve indicado en relación al testigo.

Al igual que el crecimiento de la radícula, la localidad de Vallejo resulta verse afectada en el desarrollo del vástago como consecuencia en parte del efecto ejercido en la primera (Cronquist, 1992). Como se sabe, esta localidad es una de las principales zonas industriales del D.F. y como se ve en el análisis fisicoquímico presenta las más altas concentraciones en la mayoría de los parámetros determinados que se sugiere afectan el crecimiento de amaranto. Esto coincide con lo encontrado para contaminantes como los sulfatos a los que la etapa de hojas en pleno crecimiento suele ser más sensible (Barret y Benedict, 1970); además de que Sherzer (1989) y Hernández y Bauer (1989) indican tanto para sulfatos como nitratos (sin mencionar concentraciones) que estos compuestos llegan a reducir el crecimiento de las plantas.

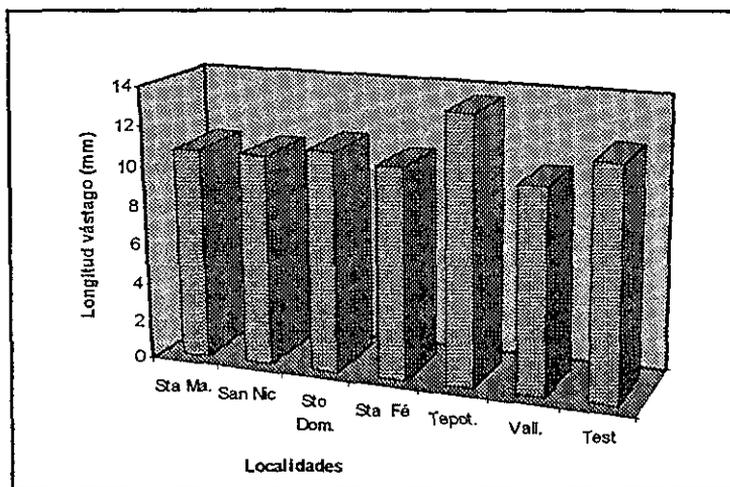


FIGURA 11 Crecimiento del vástago de *Amaranthus hypochondriacus* L., por localidades, en función del agua de lluvia colectada en 1995, en la región Oeste del Valle de México.

4.3.3.- RELACIÓN VÁSTAGO-RADÍCULA (V/R)

La relación vástago-radícula indica la proporción en que crece el vástago con respecto a la radícula. Con respecto a ello no se observan diferencias significativas únicamente para Tepotzotlán (0.39-39%) en donde se encuentra que el agua de lluvia de dicha localidad favorece la relación pues tanto la radícula como la plántula incrementan su crecimiento.

En la mayoría de las demás localidades se observan decrementos en dicha relación y éstos son significativos (Cuadro 3 y Figura 12).

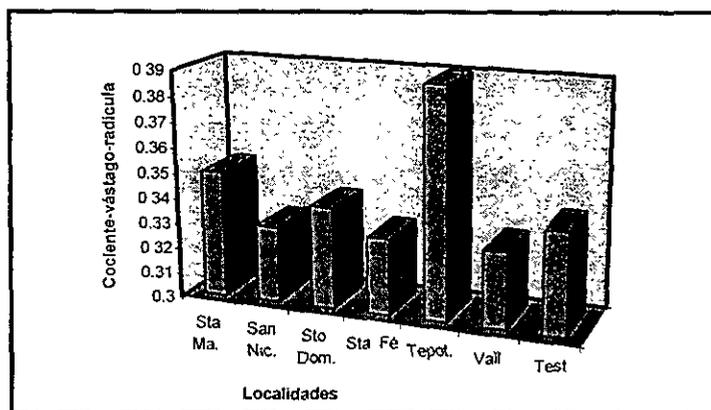


FIGURA 12 Relación vástago-radícula en el crecimiento de *Amaranthus hypochondriacus* L., por localidades, en función del agua de lluvia colectada en 1995, la región Oeste del Valle de México

4.4. CRECIMIENTO DEL *AMARANTO* POR MUESTREOS.

Los contaminantes atmosféricos que se generan en el Valle de México se ven abatidos en cierta manera por la presencia de lluvias que “lavan” la atmósfera (SEDUE, 1991) por lo que se plantea observar si es posible conocer el nivel de acumulación de contaminantes en los diferentes períodos de muestreo en base a la reducción del crecimiento del amaranto.

4.4.1.- RADÍCULA

En el agua proveniente de los primeros muestreos (12-18/07/95 al 02-08/08/95) se encuentran las principales diferencias significativas en el crecimiento del amaranto al igual que en los muestreos del 16-22/08/95 al 13-19/09/95 y del 18-24/10/95 (Cuadro 4 y Figura 13).

En relación a las lluvias en las cuales no se obtienen diferencias significativas en el crecimiento de la radícula, éstas son posteriores al 02-08/08/95 (29.46 mm) como 09-15/08/95 (36.51 mm), lo que sugiere que las precipitaciones anteriores actúan como “limpiadoras” de la contaminación que se había generado al iniciar la época de lluvias, ya que después de éstos dejó de llover dos semanas y en los muestreos posteriores al 27-03/10/95 (36.26 mm), como por ejemplo en el del 18-24/10/95 (34.26 mm) se vuelven a encontrar diferencias significativas quizá como consecuencia de una nueva acumulación de contaminantes.

CUADRO 4. Crecimiento de la radícula, vástago y relación vástago-radícula en *Amaranthus hypochondriacus* L., por muestreos, por efecto del agua de lluvia recolectada en la región Oeste del Valle de México, en 1995.

X-LOCALIDAD	LONGITUD-RADÍCULA (mm)	LONGITUD-VÁSTAGO (mm)	RELACIÓN VÁSTAGO-RADÍCULA (mm)
(12-18/07/95)	29.70	8.91	0.29
(19-25/07/95)	30.57	9.91	0.32
(26-01/08/95)	30.05	9.78	0.31
(02-08/08/95)	29.46	10.18	0.34
(09-15/08/95)	36.51	13.98	0.38
(16-22/08/95)	33.20	11.88	0.35
(23-29/08/95)	32.06	11.24	0.34
(30-05/09/95)	30.87	12.30	0.39
(13-19/09/95)	30.96	10.53	0.33
(20-26/09/95)	35.56	13.63	0.38
(27-03/10/95)	36.26	13.56	0.37
(18-24/10/95)	34.26	11.20	0.32
TESTIGO	34.2	11.73	0.34
prob F	**	**	**
DMS 0.05	1.70	1.002	0.030

(DMS) : Diferencia mínima significativa
 ** P<0.01

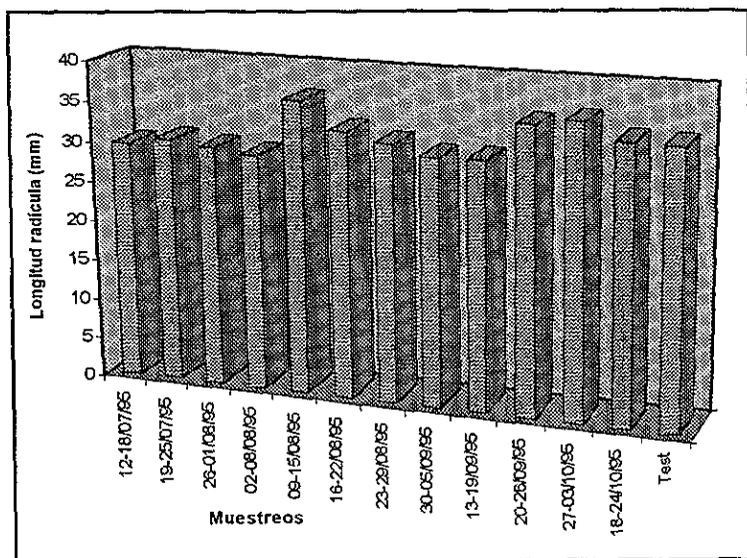


FIGURA 13 Crecimiento de la radícula de *Amaranthus hypochondriacus* L., por muestreos, en función del agua de lluvia colectada en 1995, en la región Oeste del Valle de México.

4 4.2.- VÁSTAGO

Como se puede observar en el Cuadro 4 y Figura 14, hay gran similitud en los resultados obtenidos tanto en la radícula como en el vástago; por ello se encuentran diferencias significativas en los mismos muestreos (12-18/07/95 al 02-08/08/95) y del 16-22/08/95 al 13-19/09/95.

Dentro de las concentraciones que se registran para dichos muestreos particularmente de sulfatos y nitratos se observa que en sulfatos se rebasan ligeramente los límites de tolerancia (10 mg/L). Se sabe que contaminantes como nitratos y sulfatos han ocasionado efectos como reducción en el crecimiento (Hernández y Bauer, 1989 y Wark, 1992) o lesiones a nivel celular en el área esponjosa del parenquima en el mesófilo, seguido por lesiones en la región de empalizada (Wark, 1992); en este caso se pudo afectar el crecimiento del vástago en los muestreos ya mencionados.

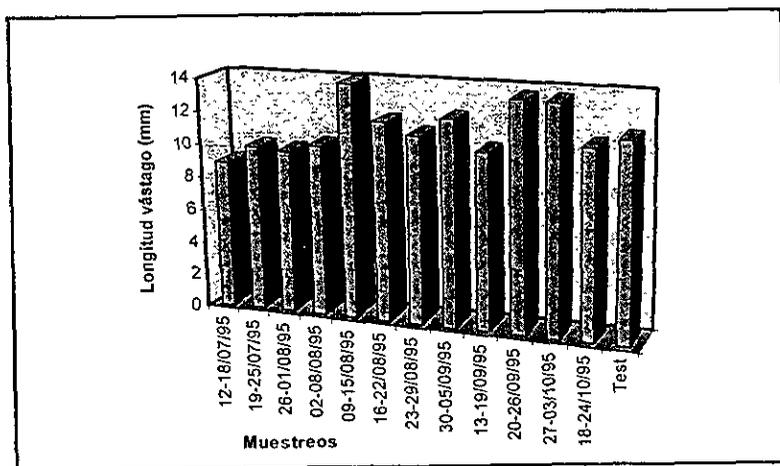


FIGURA 14 Crecimiento del vástago de *Amaranthus hypochondriacus* L., por muestreos, en función del agua de lluvia colectada en 1995, en la región Oeste del Valle de México.

4.4.3.- RELACIÓN VÁSTAGO-RADÍCULA (V/R)

En los resultados sobre la relación vástago-radícula se encuentran las mismas diferencias significativas que en el crecimiento de la radícula y el vástago, es decir en los muestreos del 12-18/07/95 al 02-08/08/95 (0.29-29% a 0.34-34%) y del 16-22/08/95 al 13-19/09/95 con 0.35-35% a 0.33-33% (excepto en 30-05/09/95-0.39-39%) así como del 18-24/10/95 (0.32-

32%) mientras que en el testigo, el crecimiento del vástago con respecto a la radícula resulta en un porcentaje del 34% (0.34) (Cuadro 4 y Figura 15).

Los valores obtenidos en la relación vástago radícula en función de los muestreos reflejan que la absorción de agua y la calidad de ésta en el crecimiento de la radícula es muy importante para el posterior crecimiento armónico de la plántula (Cronquist, 1992).

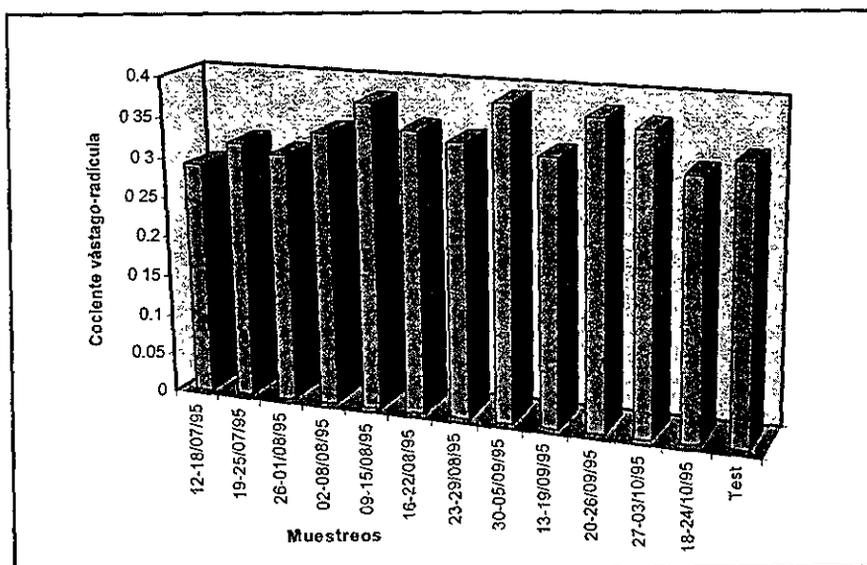


FIGURA 15 Relación vástago-radícula en el crecimiento de *Amaranthus hypochondriacus* L., por muestreos, en función del agua de lluvia colectada en 1995, en la región Oeste del Valle de México.

En general se observa que el agua recolectada en diferentes fechas durante el período de lluvias en los sitios de estudio afecta de forma diferente el crecimiento del vástago, radícula y la relación vástago-radícula. El agua de las primeras lluvias (del 12 de julio al 8 de agosto) ocasiona la mayor reducción en el crecimiento del amaranto, en relación al testigo.

El crecimiento de la radícula, vástago y la relación vástago-radícula del amaranto regado con agua de lluvia de fechas posteriores al 8 de agosto, aunque es superior al del agua de las primeras fechas, no muestra una respuesta uniforme.

El mayor crecimiento de la radícula y el vástago se logra con agua proveniente de las lluvias entre el 9 y 15 de septiembre, el 20 y el 26 de septiembre, el 27 de septiembre y el 3 de octubre. Esta respuesta esta relacionada como ya indicabamos con un mayor contenido de contaminantes nocivos en el agua de las primeras lluvias que abaten la atmósfera de contaminantes o incluso por la dispersión del viento, reflejándose ésto en un mayor crecimiento del amaranto.

4.5. EFECTO DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LLUVIA SOBRE EL CRECIMIENTO DEL *AMARANTO* (interacción localidad-muestreo).

La cantidad total de contaminantes depositados por la lluvia va a estar en función de los que se generan tanto por la actividad urbana como de los que se desplacen a las zonas de la ciudad ocasionando que afecte a la vegetación en su crecimiento (Padilla, 1985 y Calva, 1990). En esta parte se observa como interactuaron tanto las condiciones características del área como del agua de lluvia en el desarrollo del amaranto.

4.5.1.- RÁDICULA

Vallejo es una de las localidades en la que en los muestreos de agua de lluvia se observa una respuesta distinta en todos ellos, encontrándose diferencias significativas en relación al testigo (34.2 mm) en los muestreos del 12-18/07/95 (26.90 mm), 26-01/08/95 (27.40 mm), 23-29/08/95 (24.50

CUADRO 5 Crecimiento de la radícula en *Amaranthus hypochondriacus* L. en las diferentes localidades de muestreo, por efecto del agua de lluvia recolectada en la región Oeste del Valle de México, en 1995.

X-LOC x M	Tepetzotlán (mm)	Vallejo (mm)	Santa María La Ribera (mm)	San Nicolás Totolapan (mm)	Santo Domingo (mm)	Santa Fé (mm)
(12-18/07/95)	35.10	26.90	-	-	24.10	28.40
(19-25/07/95)	-	29.50	-	25.50	34.40	24.30
(26-01/08/95)	-	27.40	-	29.00	37.50	36.00
(02-08/08/95)	-	33.60	23.90	28.60	36.20	27.80
(09-15/08/95)	34.30	34.30	-	25.70	29.50	27.50
(16-22/08/95)	33.50	31.30	26.40	33.70	40.10	36.30
(23-29/08/95)	29.40	24.50	31.00	-	23.70	29.00
(30-05/09/95)	31.60	34.60	-	-	28.40	28.70
(13-19/09/95)	35.10	28.50	33.50	39.10	22.00	29.70
(20-26/09/95)	44.20	35.50	39.20	39.00	37.00	35.40
(27-03/10/95)	-	33.70	-	36.90	36.00	40.90
(18-24/10/95)	-	31.90	31.40	-	37.80	35.50
TESTIGO	34.2	34.2	34.2	34.2	34.2	34.2
prob F	**	**	**	**	**	**
DMS 0.05	6.79	6.22	5.26	6.22	6.66	5.69

(-): No hubo lluvias

(DMS) Diferencia mínima significativa

** P<0.01

mm) y 13-19/09/95 (28.50 mm), mientras que en los demás muestreos como se puede ver en Cuadro 5 y Figura 17, se halla lo contrario, es decir, no hay una reducción significativa en el crecimiento (19-25/07/95-29.50 mm, 02-08/08/95-33.60 mm, 09-15/08/95-34.30 mm, 30-05/09/95-34.60 mm, 16-22/08/95-31.30 mm, 20-26/09/95-35.50 mm, 27-03/10/95-33.70 mm y 18-24/10/95-31.90 mm). Estos resultados son similares en general con los que se obtienen por localidad y responden a lo encontrado en los parámetros fisicoquímicos coincidiendo con lo expuesto en la introducción de esta parte; lo mismo sucede para Santo Domingo en donde se presentan diferencias significativas en diferentes muestreos a lo largo de la época de lluvias en 1995:12-18/07/95 (24.10 mm), 09-15/08/95 (29.50 mm), 23-29/08/95 (23.70 mm), 30-05/09/95 (28.40 mm) y 13-19/09/95 (22.00 mm) con relación al testigo (34.2 mm), mientras que para el resto de los muestreos no se obtiene una reducción significativa en el crecimiento de la radícula, como se puede ver en el Cuadro 5 y Figura 20.

En la localidad de Santa Fé se observan diferencias significativas en relación al testigo (34.2mm) en la mayoría de los muestreos excepto en los muestreos 16-22/08/95 (36.30 mm), 26-01/08/95 (36.00 mm) y en los finales del 20-26/09/95 (35.40mm) al 18-24/10/95 (35.50 mm) (Figura 19); una tendencia similar se presenta en la zona de Santa María la Ribera en la que el agua proveniente de ésta afecta el crecimiento del amaranto en la mayoría de los muestreos como se puede observar en el Cuadro 5 y Figura 18 donde solo en el muestreo del 20-26/09/95 (39.2 mm) no se encuentra una reducción significativa en el desarrollo de las plántulas; así en relación a estos lugares se observa la influencia de su ubicación en el agua de lluvia pues al hallarse en la parte centro del D.F. se conjunta la concentración suficiente de contaminantes que afecta el crecimiento de la radícula en estas localidades.

Otra localidad que presenta la misma conformación de valores que las zonas anteriores es la localidad de Tepotzotlán donde se observan diferencias significativas en el muestreo del 23-29/08/95 (29.40 mm), así como en la mayoría de los demás muestreos (Cuadro 5 y Figura 16), a diferencia del muestreo del 20-26/09/95 (44.20 mm) donde no se encuentra significancia en la reducción del crecimiento de las plántulas; aquí cabe señalar que por localidades ésta es una zona en donde el agua muestreada afecta en menor

grado el crecimiento de la radícula, siendo que se esperaba una reducción significativa en el crecimiento por los antecedentes de la zona en cuanto a fuentes generadoras.

Con respecto a San Nicolás Totolapan las principales diferencias significativas en relación al testigo (34.2 mm) se encuentran en el grupo de muestreos del 19-25/07/95 al 09-15/08/95 que abarcan los primeros muestreos en la zona (Cuadro 5 y Figura 21); sobre las demás recolectas de agua de lluvia no se obtienen diferencias significativas en la reducción del crecimiento de la radícula. Lo anterior es interesante por el hecho de que esta localidad al ser la más alejada de la contaminación urbana en cierta manera funge como especie de testigo y vuelve a coincidir una vez más que el desplazamiento de los contaminantes por el viento juega un papel importante en el grado de contaminación en la zona y qué tanto se acumule ésta en la lluvia y afecte el desarrollo de la vegetación.

Es importante señalar también que en general en todas las localidades por lo menos en dos de los primeros muestreos, se encuentra una reducción significativa en el desarrollo de la radícula, esto quizá se deba a que el agua de lluvia actúa como una especie de lavado de contaminantes ya que en los muestreos finales en la mayoría de las localidades no se obtienen reducciones significativas en el crecimiento.

4.5.2.- VÁSTAGO

La absorción del agua está usualmente, limitada a las partes más jóvenes de la raíz y el crecimiento de ésta continúa durante la mayor parte o durante toda la estación de crecimiento; sin embargo, el tamaño de la planta está sujeto a control ambiental y ante condiciones desfavorables llega a verse disminuido aunque alcance su madurez normal (Cronquist, 1992).

San Nicolás Totolapan presenta diferencias significativas en cuanto al crecimiento del vástago en la mayoría de los muestreos de la zona,

principalmente en los primeros muestreos que son del 19-25/07/95 (8.30 mm), 09-15/08/95 (8.2 mm), 26-01/08/95 (7.70 mm) y 02-08/08/95 (6.20 mm), mientras que los muestreos del 27-03/10/95 (16.1 mm) y el del 13-19/09/95 (14.40 mm) no muestran una reducción significativa en relación al testigo (11.73 mm) como se puede ver en el Cuadro 6 y Figura 27; esta tendencia también se observa en Santa Fé y Vallejo. La primera de ellas muestra una reducción significativa en la mayoría de los muestreos (Cuadro 6 y Figura 25) a excepción de 26-01/08/95 (12.40 mm), 16-22/08/95 (16.30 mm), 27-03/10/95 (15.10 mm) y 20-26/09/95 (12.30 mm) con respecto al testigo (11.73 mm), Vallejo, a su vez, presenta un reducción significativa en la mayoría de los muestreos pero principalmente en los primeros (12-18/07/95 al 02-08/08/95) (Cuadro 6 y Figura 23) y posteriormente en los del 16-22/08/95 (10.80 mm), 23-29/08/95 (6.40 mm), 13-19/09/95 (9.80 mm) y 20-26/09/95 (11.70 mm), en relación al testigo (11.73 mm).

Tepetzotlán no muestra diferencias significativas en la mayoría de los muestreos excepto en dos de ellos que son del 23-29/08/95 (11.30 mm) y 30-05/09/95 (11.10 mm), en relación al testigo (11.73 mm) (Cuadro 6 y Figura 22). Como se recordará, el crecimiento de la radícula en Tepetzotlán resultó verse reducido significativamente mientras que por localidades no presentó reducciones significativas ni en radícula ni en vástago, posiblemente por los contaminantes que vienen siendo arrastrados de otras zonas y no tanto por los que se generan en el lugar.

Con respecto a Santa María La Ribera encuentran diferencias significativas en el crecimiento del vástago sólo en los dos primeros muestreos (02-08/08/95-6.50 mm y 16-22/08/95-9.30 mm) mientras que en los demás no hay una reducción significativa en el desarrollo del vástago en relación al testigo (11.73 mm) (Cuadro 6 y Figura 24) Esto refleja lo ya anteriormente encontrado en relación a que es en las primeras lluvias donde se concentra la mayor cantidad de contaminantes al ser disipados por estas. Cabe mencionar que la radícula resiente más esta tendencia que el vástago, ya que ante condiciones de contaminación adversas el crecimiento de las distintas partes de la planta no siempre se da al mismo tiempo (Cronquist, 1992).

CUADRO 6 Crecimiento del vástago en *Amaranthus hypochondriacus* L., en las diferentes localidades de muestreo, por efecto del agua de lluvia colectada en la región Oeste del Valle de México, en 1995.

X-LOC x M	Tepetzotlán (mm)	Vallejo (mm)	Santa María La Ribera (mm)	San Nicolás Totolapan (mm)	Santo Domingo (mm)	Santa Fé (mm)
(12-18/07/95)	15.90	7.20	-	-	5.50	6.30
(19-25/07/95)	-	7.60	-	8.30	15.30	8.00
(26-01/08/95)	-	8.30	-	7.70	14.00	12.40
(02-08/08/95)	-	9.80	6.50	6.20	11.10	9.20
(09-15/08/95)	13.10	12.00	-	8.20	8.90	5.90
(16-22/08/95)	12.40	10.80	9.30	12.80	14.20	16.30
(23-29/08/95)	11.30	6.40	11.70	-	5.50	7.90
(30-05/09/95)	11.10	13.40	-	-	11.40	11.70
(13-19/09/95)	15.80	9.80	11.50	14.40	7.60	11.90
(20-26/09/95)	15.30	11.70	13.40	12.50	13.00	12.30
(27-03/10/95)	-	15.50	-	16.10	13.60	15.10
(18-24/10/95)	-	12.00	12.50	-	14.30	11.70
TESTIGO	11.73	11.73	11.73	11.73	11.73	11.73
prob F	**	**	**	**	**	**
DMS 0.05	3.61	3.23	3.17	3.16	3.64	4.85

(-) : No hubo lluvias

(DMS) : Diferencia mínima significativa

** P<0.01

Para Santo Domingo se encuentra una respuesta muy variable en el crecimiento del vástago obteniéndose una reducción significativa en los muestreos del 12-18/07/95 (5.50 mm), 02-08/08/95 (11.10 mm), 09-15/08/95 (8.90 mm), 23-29/08/95 (5.50 mm) y 13-19/09/95 (7.60 mm) (Cuadro 6 y Figura 26). En los últimos muestreos no hay diferencias significativas en el crecimiento de las plantas en relación al testigo (11.73 mm). Este comportamiento se observa también en el desarrollo de la radícula y refleja la concentración de contaminantes en la zona en cada período de recolecta de agua de lluvia, al intervenir los distintos factores ya mencionados como el viento y la contaminación particular del lugar.

4.5.3.- RELACIÓN VÁSTAGO-RÁDICULA (V/R)

En Tepetzotlán no se encuentran diferencias significativas para la relación vástago-radícula con respecto al testigo que representa un porcentaje del 34% (Cuadro 7 y Figura 28) mientras el muestreo en que se ve afectado fue en el del 30-05/09/95 (0.34-34%) y 20-26/09/95 (0.35-35%). Otra de las localidades en que tampoco hay diferencias significativas en cuanto a dichas relaciones en Santo Domingo que con respecto al testigo tiene una proporción del 34%, mientras que en los muestreos del 12-18/07/95 presentan un 22%, 02-08/08/95 y 09-15/08/95 con 30% y 23-29/08/95 con 22%, lo cual se puede observar en Cuadro 7 y Figura 32. Para Santa María la Ribera sólo hay diferencias significativas en el muestreo del 02-08/08/95 (0.26-26%) y en los demás muestreos no se refleja una reducción mayor en la relación vástago-radícula (Cuadro 7 y Figura 30) en relación al testigo (0.34-34%). Todo esto puede ser el resultado de que mientras el crecimiento de la radícula se ve claramente reducido, en el desarrollo del vástago hay una tendencia contraria tal y como lo muestran los resultados anteriores.

Vallejo es una de las localidades que presenta diferencias significativas en la mayoría de los muestreos sobre el crecimiento del vástago en función de la radícula como se puede observar en el Cuadro 7 y Figura 29, a excepción del 30-05/09/95 (0.38-38%), 27-03/10/95 (0.46-46%), 18-24/10/95 (0.37-

CUADRO 7 Relación vástago-radícula en *Amaranthus hypochondriacus* L., en las diferentes localidades de muestreos, por efecto del agua lluvia recolectada en la región Oeste del Valle de México, en 1995.

X-LOC x M	Tepotzotlán (mm)	Vallejo (mm)	Santa María La Ribera (mm)	San Nicolás Totolapan (mm)	Santo Domingo (mm)	Santa Fé (mm)
(12-18/07/95)	0.45	0.26	-	-	0.22	0.27
(19-05/07/95)	-	0.25	-	0.33	0.44	0.33
(26-01/08/95)	-	0.30	-	0.26	0.37	0.34
(02-08/08/95)	-	0.29	0.26	0.21	0.30	0.33
(09-15/08/95)	0.38	0.35	-	0.32	0.30	0.21
(16-22/08/95)	0.37	0.35	0.36	0.38	0.35	0.45
(23-29/08/95)	0.37	0.26	0.37	-	0.22	0.27
(30-05/09/95)	0.34	0.38	-	-	0.40	0.40
(13-19/09/95)	0.45	0.34	0.34	0.37	0.33	0.40
(20-26/09/95)	0.35	0.32	0.34	0.32	0.35	0.34
(27-03/10/95)	-	0.46	-	0.43	0.37	0.36
(18-24/10/95)	-	0.37	0.39	-	0.38	0.33
TESTIGO	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34
prob F	**	**	**	**	**	**
DMS 0.05	0.08	0.10	0.10	0.097	0.11	0.12

(-) : No hubo lluvias

(DMS) : Diferencia mínima significativa

** P<0.01

37%) en relación al testigo que observa una proporción del 34% (0.34). Al igual que en San Nicolás Totolapan, como se puede observar en el Cuadro 7 y Figura 33, el agua proveniente de esta zona causa una reducción significativa en la relación vástago-radícula en la mayoría de los muestreos con excepción del 16-22/08/95 (0.38-38%), 13-19/09/95 (0.37-37%) y 27-03/10/95 (0.43-43%) en relación al testigo que muestra una proporción de 0.34 equivalente a 34% en la relación V/R.

San Nicolás Totolapan representa un área rural verde que contrarresta en gran medida las concentraciones de contaminantes emitidos por las fuentes fijas y móviles que se concentran en el Valle de México, pero debido a la cercanía con la ciudad es muy posible que la contaminación urbana la esté afectando, ocasionando una reducción en la velocidad del crecimiento de los vegetales (Jonsson, 1977, Galloway & Cowling, 1978), ya que en general los contaminantes penetran en la planta durante el proceso de respiración, interrumpiendo la fotosíntesis (Seinfeld, 1978).

A diferencia de las demás localidades Santa Fé muestra en relación al testigo diferencias significativas solo en los muestreos del 12-18/07/95 (27%), 09-15/08/95 (21%) y 23-29/08/95 (27%) en donde se ve afectada la relación V/R (Cuadro 7 y Figura 31).

Resumiendo lo anteriormente encontrado en nuestros resultados podemos mencionar que:

- La complementación del análisis fisicoquímico con el biológico se ve reflejada muy claramente en los resultados; como se puede observar en la localidad de Vallejo, en donde se encuentran los más altos valores de pH, conductividad, sulfatos, nitratos y cloruros debido a la alta actividad industrial y vehicular propia de la zona, también se observa la mayor alteración en el desarrollo de las plántulas de la especie estudiada.

- La fase de germinación resulta ligeramente afectada (Vallejo con 3.3 %) lo que se debe en parte a que los valores de pH obtenidos no fueron extremadamente ácidos (5.7), mientras que en la etapa de crecimiento éste disminuye en las localidades más contaminadas como son Vallejo, Santo Domingo y Santa Fé y generalmente se ve reflejado en la relación vástago-radícula.
- Cabe mencionar que por muestreos se obtiene que en las primeras recolectas de agua de lluvia se da la mayor reducción en el crecimiento tanto para radícula y vástago lo que también se ve reflejado en la relación vástago-radícula.
- A partir de los resultados obtenidos se deduce la gran influencia del viento en el desplazamiento de los contaminantes hacia zonas que no presentan grandes fuentes generadoras de éstos (San Nicolás Totolapan).
- El bioensayo resulta ser una prueba fácil, rápida y barata en la cual en menos de 48 hrs. se obtienen resultados acerca del efecto de diversos contaminantes sobre la germinación y crecimiento, lo que representa una estrategia que permite trabajar directamente con los organismos, observando las alteraciones que se presentan como consecuencia de la presencia de los contaminantes en el medio. Complementando los análisis biológicos con los análisis fisicoquímicos pertinentes resultan una forma rápida y económica de obtener resultados sobre los efectos de los contaminantes en el ambiente.
- El presente estudio espera contribuir al mejor conocimiento del amaranto como especie bioindicadora y valorar sí como cultivo constituye una alternativa en lugares demasiado poblados y por tanto altamente contaminados lo que representaría en un futuro el abastecimiento de alimento en las grandes ciudades, por el hecho de que tiene un alto valor nutritivo.

CONCLUSIONES

1. La calidad del agua de lluvia en la Región Oeste del Valle de México, y particularmente en la Localidad de Vallejo está significativamente contaminada por la presencia de sulfatos nitratos y cloruros.
2. Los contaminantes presentes en las muestras no afectaron significativamente la germinación de *Amaranthus hypochondriacus* L.
3. Los contaminantes presentes en la lluvia disminuyeron significativamente el desarrollo de la plántula de *Amaranthus hypochondriacus* L.
4. Los contaminantes presentes en la lluvia varían durante la estación presentando los valores más altos durante las primeras etapas de muestreo.
5. A partir de los resultados se sugiere que los vientos juegan un papel preponderante en la distribución de dichos contaminantes en la atmósfera.

VI.- LITERATURA CITADA

- Abouguendia, Z.M., Baschak, L.A. y Godwin, R.C. 1988. Response of wheat, canola and alfafa simulated acidic precipitation. *Water Air and Soil Pollution* 40:399-407.
- American Public Health Association, American Water Works Association and Water Pollution Control Federation. 1976. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 14th Ed. U.S.A. Bro-EL Graphic Inc., Springfield, Vo. 1193 pp.
- Apha-Awwa-Wpcf. 1992. Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. Edición Díaz de Santos S.A. Madrid España. 1090 pp.
- Barret, W.T. y Benedict, M.H. 1970. Sulfur dioxide in recognition of air pollution injury to vegetation. en: Jacobson, J. A. Pictorial Atlas Air Pollution Control Association Pittsburgh, pp c-1 a c-5.
- Báez, A.P. y Belmont, R. 1987. Comparative study of the chemical composition of rain of three different zones in México. *Contaminación Ambiental* 3: 25-35.
- Baez, A.P., Padilla, H.G y De González, O.G. 1986. Acid rain over Mexico city valley and surrounding rural areas. *Geof. Int.* 25(2):315-346.

Besnier Romero, F. 1989. Semillas: biología y tecnología. Ed. Mundi Prensa; Madrid; 619 pp.

Bidwell, R.G. S. 1979. Fisiología vegetal. AGT Editor S.A.; Ontario, Canadá; 784pp.

Bravo, H. 1987. La Contaminación del aire. Ed. Universo. México, D.F. 291 pp.

Bitton, D.W. y R.B.J. Dutka. 1986. Toxicity testing using microorganism. Vol. I. CRC. Press U.S.A.

Calva, V.G. y Corona, C. 1990. Los Vegetales potencialmente útiles para el registro de los niveles de contaminación en el D.F. Tópicos de Investigación y Posgrado, Vol. 1, No. 3. ENEP Zaragoza UNAM, Investigación y Desarrollo Académico.

Casillas Gómez, F.J. 1990. Importancia de la semilla de alegría. Instituto Nacional de Nutrición, México, D.F. 289 a 299 pp.

Catalán, G. J. 1969. Química del agua. Ed. Blume. Barcelona, España. 351pp.

Cronquist, A. 1992. Introducción a la botánica. Segunda Edición. Editorial Continental, 848 pp.

Comisión Nacional de Ecología. 1990. Informe de la situación general en materia de equilibrio ecológico y protección al ambiente 1989-1990. Comisión Nacional de Ecología; 255 pp.

Díaz, O. A.C.1994. Análisis de crecimiento comparativo en tres poblaciones de *A. hypochondriacus*, en el municipio de Chalco, Estado de México. Tesis Profesional, Facultad de Ciencias, UNAM. 141 pp.

Dirección General de Protección y Ordenación Ecológica. 1979. Manual del curso: análisis de aguas y aguas de desecho. Subdirección de Área de Investigación y Entrenamiento. Vol. I y II, México, D.F. 981 pp.

Dutka, B.J. 1989. Methods for a Microbiological and Toxicological Analysis of Waters, Wastewaters and Sediments. Dept. of Environmental Rivers Research, Institute Center of a Inland Waters Canada.

Eaggoner, P.E. 1971. Plants and polluted air. *Bioscience* 2:455-459.

Evans S.L., Hendrey G.R. y Thompson K. H. 1984. Comparison of stactical designs and experimental protocols used to evaluate rain acidity effects on field-grown soybeans. *Journal of the Air Pollution Control Association*. 34(11)1107-1116.

- Galloway J.N.I.E.B. y Cowling. 1978. The effects of precipitation on aquatic and terrestrial ecosystems: A Proposed Precipitation Chemistry Network; *Journal Air Pollution Control Association* 28 (3): 229-235.
- Galloway, J.N. 1978. The collection of precipitation for chemical analysis, *Tellus* 30: 71-82.
- Galloway, J.N. y G.E., Likens. 1976. Calibration of collection procedures, for the determination of precipitation chemistry. *Water Air and Soil Pollution* 6: 241-258.
- Granados, S. D. y López, R. F.G. 1990. Chinampas: historia y etnobotánica de la "alegría" (*Amaranthus hypochondriacus L.*) y domesticación de la verdolaga (*Portulaca oleracea L.*) y romerillo (*Suaceda diffusa Wats*). Universidad Autónoma de Chapingo. pág. 23 a 64.
- Gómez, L. F. 1990. Cultivo del amaranto en México. Departamento de Zonas Aridas , UA.CH. Bermejillo, Dgo. Pág. 90-100.
- Hutchinson, C.T., Dixon, M. y Scott, M. 1986. The effects of acid rain on feather mosses and lichens of the boreal forest. *Water Air and Soil Pollution* 31:409-416.
- Hernández, T.T. y De la I de Bauer M.L. 1986. Contaminación: una amenaza para la vegetación en México. Centro de Fitopatología, Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México. Colegio de Postgraduados. 83 pp.

- Hernández, T.T. y De la I de Bauer M.L. 1989. La supervivencia vegetal ante la contaminación atmosférica. Centro de Fitopatología, Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. Ed. Futura S.A. 79pp.
- Howells, G. 1990. Acid Rain and Acid Waters. Ed. Horwood. New York. 213 pp.
- Hess, D. 1980. Fisiología vegetal. Ed. Omega. Barcelona. 382pp.
- INEGI. 1990. Coyoacán, Cuaderno de información básica delegacional. departamento del distrito federal. 189 pp.
- INEGI. 1996a. Anuario estadístico del D.F. Aguascalientes, Ags. 285pp.
- INEGI. 1996b. Anuario del Estado de México. Aguascalientes, Ags. 321 pp.
- INEGI. 1996c. Cuaderno Delegacional Azcapotzalco. Aguascalientes, Ags. 119 pp.
- INEGI. 1996d. Cuaderno Delegacional Cuauhtémoc. Aguascalientes, Ags. 119 pp.
- INEGI. 1996e. Cuaderno Delegacional Coyoacán. Aguascalientes, Ags. 120 pp.

- INEGI. 1996f. Cuaderno Delegacional Alvaro Obregón. Aguascalientes, Ags. 140 pp.
- INEGI. 1996g. Cuaderno Delegacional Magdalena Contreras. Aguascalientes, Ags. 133 pp.
- Jauregui, O.E. 1958. El Aumento de la turbiedad del aire en la ciudad de México. *Ingeniería Hidráulica en México* 12(3); 1958.
- Johnson, A. H. y T.G., Siccama. 1983. Acid deposition and forest decline. *Environ. Sci. Technol.* 17:294.
- Jonsson, B. 1977. Soil Acidification by atmospheric pollution and forest growth. *Water, Air and Soil Pollution* 7:497-501.
- Kabata, P.A. 1979. La agresión química a la atmósfera. *UNASYLVA Revista Interamericana de Silvicultura e Industrias Forestales* 35 (41): 1-6 pp.
- Lefohn, S.A., Brocksen, R.W. 1984. Acid rain effects research-status report. *Journal of the Air Pollution Control Association* 34(10): 1005-1012.
- León Sandoval, E. I. 1983. Criterios para la evaluación de la calidad del agua residual proveniente de zonas industriales. Tesis Profesional, Facultad de Química, UNAM. 103 pp.

- Linskens, H.F. Derks, F.H.M y Schonenber-Linders, G.F. 1989; Angewandte. 1989. the influence of artificial acid rain on the physiology and morphology of *Phaseolus oleracea* after separate spraying of the shoots and soil. *Botanik* 63:67-80.
- Mabberley, D.J. 1997. The Plant Book; Cambridge University Press; The Press Syndicate of the University of Cambridge. 858pp
- Manning, W.J. y W.A., Feder. 1980. Biomonitoring Air Pollutants with Plants. Applied Science Pub. London. 142 pp.
- Mapes, C. 1990. Una revisión sobre la utilización del género *Amaranthus* en México. Jardín Botánico, Instituto de Biología, UNAM. pág. 65 a 76.
- Mayer, A.M., Polyakoff-Mayer. 1975. The Germination of Seeds 2ª Ed. Pergamon Press Ltd. Oxford, England.
- Miller, E.V. 1981. Fisiología vegetal. Ed. UTEHA, C. Barcelona, España. 345 pp.
- Peris, M.E. 1988. Contaminación química: 4 criterios de evaluación del agua. Ed. Valencia. Universidad Politécnica de Valencia, Escuela Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. 176 pp.

- Pearson, J.G. 1979. An Approach to the Toxicological Evaluation of a Complex Industrial Wastewater. Aquatic Toxicology ASTM STP 667. In Marking L.L., y R. A., Kimerle Editores. American Society of Testing and Materials U.S.A. 81-91 pp.
- Porras, M.J. 1979. Aguas subterráneas: contaminación urbana, industrial y agrícola. Cuadernos del AFCA; Madrid; 79 pp.
- Padilla, G. H. P. 1985. Determinación del pH de la precipitación pluvial en el Valle de México y Zonas Circundantes: Principalmente Mecanismos de Formación de la Lluvia Ácida. Méx., D. F. Tesis Profesional, Fac. de Química, UNAM. 71 pp.
- Ratsch, H.C. 1983. Interlaboratory root elongation testing of toxic substances on selected plant species. EPA-600/ 53-83-05; U.S. *Environmental Protection Agency, Corvallis, U.R.*
- Riveros R.T. 1990. La Contaminación atmosférica en la Ciudad de México. *Ciencia y Desarrollo*. XVII (94): 73-79.
- Robertson, K.R. 1981. The general of amaranthaceae in the Southeastern United States . *Journal of the Arnold Arboretum* 62(3): 267-314.
- Santos, T. A. y Gómez, L. F. 1990. El amaranto (*Amaranthus sp.*), su cultivo y aprovechamiento. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo. de Méx. 577pp.

- Seinfeld, J.H. 1978. Contaminación atmosférica. fundamentos físicos y químicos. Ed. Instituto de Estudios de Administración Local; Madrid, España. 558 pp.
- SEDUE. 1985a. Indicadores ambientales regionales a nivel nacional. Laboratorios ABC Química, Investigación y Análisis S.A. Dirección General de Normatividad y Regulación Ecológica. 2 tomos; 170 pp.
- SEDUE. 1985b. Manual de técnicas analíticas para aguas residuales. Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental, Subsecretaría de Ecología. México, D.F. 302 pp.
- SEDUE. 1991. Precipitaciones ácidas en la zona metropolitana de la Ciudad de México, período 1987-1990. Subsecretaría de Ecología. México. 47 pp.
- Suárez Ramos, G. 1990. Importancia de los estudios morfológicos, anatómicos y fisiológicos del amaranto. ITESM, Unidad Queretáro, pag. 77-80.
- Scherzer, J.A. 1989. Effects of ozone or sulfur dioxide on pitch pine seedling. *Journal Environmental Quality*. 18:53-61.
- Strasburger. 1985. Tratado de botánica. Ed. Marín. Madrid, España. 10198 pp.

- Spedding, D.J. 1981. Contaminación atmosférica; Ed. Reverté, S.A. España; 85 pp.
- Stocker, S.H. 1981. Química ambiental: contaminación del aire y del agua. Ed. Blume. Barcelona, España. 320 pp.
- Owen, S. O. 1986. Conservación de los recursos naturales. Ed. Pax-Méx. México, D.F. 647pp.
- Wang W. y Keturi, P.H. 1990. Comparative seed germination test using ten plant species for toxicity assessment of a metal engraving effluent sample. *Water Air Soil Pollution* 52(3-4): 369-376 pp.
- Wang, W.1985 a, *Environ. Intl.* 11,49. Citado por Wang W. y Keturi, P.H. 1990. Comparative seed germination test using ten plant species for toxicity assessment of a metal engraving effluent sample. *Water Air Soil Pollution* 52(3-4): 369-376 pp.
- Wang, W.1985b, *Environ. Intl.* 11,95. Citado por Wang W. y Keturi, P.H. 1990. Comparative seed germination test using ten plant species for toxicity assessment of a metal engraving effluent sample. *Water Air Soil Pollution* 52(3-4): 369-376 pp.
- Wang, W.1987, *Environ. Toxicol. Chem.* 6,953. Citado por Wang W. y Keturi, P.H. 1990. Comparative seed germination test using ten plant species for toxicity assessment of a metal engraving effluent sample. *Water Air Soil Pollution* 52(3-4): 369-376 pp.

- Wang W. 1990, *Environ. Monit. Assess.* 14,45. Citado por Wang W. y Keturi, P.H. 1990. Comparative seed germination test using ten plant species for toxicity assessment of a metal engraving effluent sample. *Water Air Soil Pollution* 52(3-4): 369-376 pp.
- Wang, W. and Williams, J. 1988, *Environ. Toxicol. Chem.* 7, 654. Citado por Wang W. y Keturi, P.H. 1990. Comparative seed germination test using ten plant species for toxicity assessment of a metal engraving effluent sample. *Water Air Soil Pollution* 52(3-4): 369-376 pp.
- Wark, K. y Warner, C.F. 1992. Contaminación del aire: Origen y Control. Ed. Limusa. México, D.F. 673 pp.
- Xolalpa, V. F. 1990. Práctica regional del cultivo del amaranto en Tulyehualco, Xochimilco D.F. 118 a 124 pp.
- Zagatto, P.A., Bartaletti, E. & Gherardia, E.. 1988. Toxicidade de Efluentes Industrias da Bacia do Rio Piracicabo. *Ambiente* 2(1). Brasil.

APÉNDICE A

Lista de Figuras del crecimiento de *Amaranthus hypochondriacus* L. por localidad en la época de lluvias 1995.

- FIGURA 16 Crecimiento de la radícula de *Amaranthus hypochondriacus* L., en función del agua de lluvia colectada en la localidad de Tepetzotlán, en 1995.
- FIGURA 17 Crecimiento de la radícula de *Amaranthus hypochondriacus* L., en función del agua de lluvia colectada en la localidad de Vallejo, en 1995.
- FIGURA 18 Crecimiento de la radícula de *Amaranthus hypochondriacus* L., en función del agua de lluvia colectada en la localidad de Santa María La Ribera, en 1995.
- FIGURA 19 Crecimiento de la radícula de *Amaranthus hypochondriacus* L., en función del agua de lluvia colectada en la localidad de Santa Fé, en 1995.
- FIGURA 20 Crecimiento de la radícula de *Amaranthus hypochondriacus* L., en función del agua de lluvia colectada en la localidad de Santo Domingo, en 1995.
- FIGURA 21 Crecimiento de la radícula de *Amaranthus hypochondriacus* L., en función del agua de lluvia colectada en la localidad de San Nicolás Totolapan, en 1995.

- FIGURA 22 Crecimiento del vástago de *Amaranthus hypochondriacus* L., en función del agua de lluvia colectada en la localidad de Tepotzotlán, en 1995.
- FIGURA 23 Crecimiento del vástago de *Amaranthus hypochondriacus* L., en función del agua de lluvia colectada en la localidad de Vallejo, en 1995.
- FIGURA 24 Crecimiento del vástago de *Amaranthus hypochondriacus* L., en función del agua de lluvia colectada en la localidad de Santa María La Ribera, en 1995.
- FIGURA 25 Crecimiento del vástago de *Amaranthus hypochondriacus* L., en función del agua de lluvia colectada en la localidad de Santa Fé, en 1995.
- FIGURA 26 Crecimiento del vástago de *Amaranthus hypochondriacus* L., en función del agua de lluvia colectada en la localidad de Santo Domingo, en 1995.
- FIGURA 27 Crecimiento del vástago de *Amaranthus hypochondriacus* L., en función del agua de lluvia colectada en la localidad de San Nicolás Totolapan, en 1995.
- FIGURA 28 Relación vástago-radícula en el crecimiento de *Amaranthus hypochondriacus* L., en función del agua de lluvia colectada en la localidad de Tepotzotlán, en 1995.

- FIGURA 29 Relación vástago-radícula en el crecimiento de *Amaranthus hypochondriacus* L., en función del agua de lluvia colectada en la localidad de Vallejo, en 1995.
- FIGURA 30 Relación vástago-radícula en el crecimiento de *Amaranthus hypochondriacus* L., en función del agua de lluvia colectada en la localidad de Santa María La Ribera, en 1995.
- FIGURA 31 Relación vástago-radícula en el crecimiento de *Amaranthus hypochondriacus* L., en función del agua de lluvia colectada en la localidad de Santa Fé, en 1995.
- FIGURA 32 Relación vástago-radícula en el crecimiento de *Amaranthus hypochondriacus* L., en función del agua de lluvia colectada en la localidad de Santo Domingo, en 1995.
- FIGURA 33 Relación vástago-radícula en el crecimiento de *Amaranthus hypochondriacus* L., en función del agua de lluvia colectada en la localidad de San Nicolás Totolapan, en 1995.

APÉNDICE A

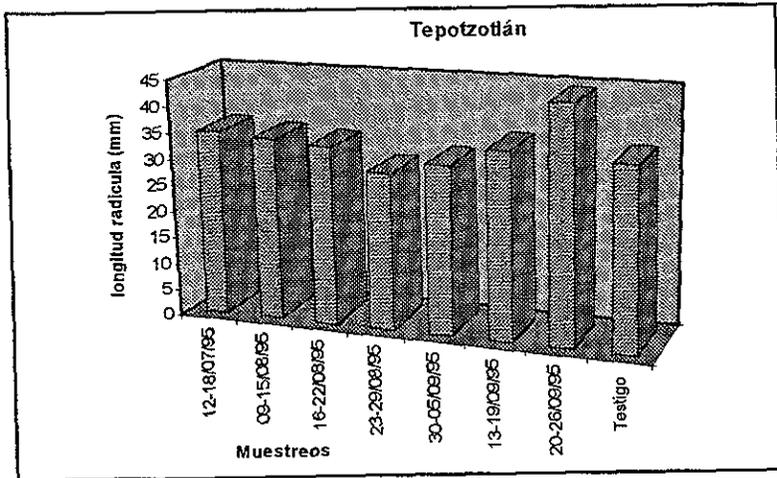


FIGURA 16 Crecimiento de la radícula de *Amaranthus hypochondriacus* L., en función del agua de lluvia recolectada en la localidad de Tepetzotlán, en 1995.

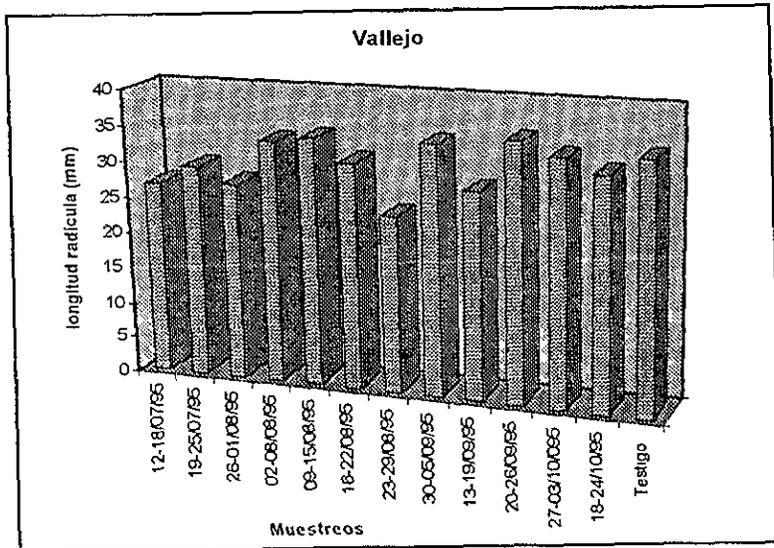


FIGURA 17 Crecimiento de la radícula de *Amaranthus hypochondriacus* L., en función del agua de lluvia recolectada en la localidad de Vallejo, en 1995.

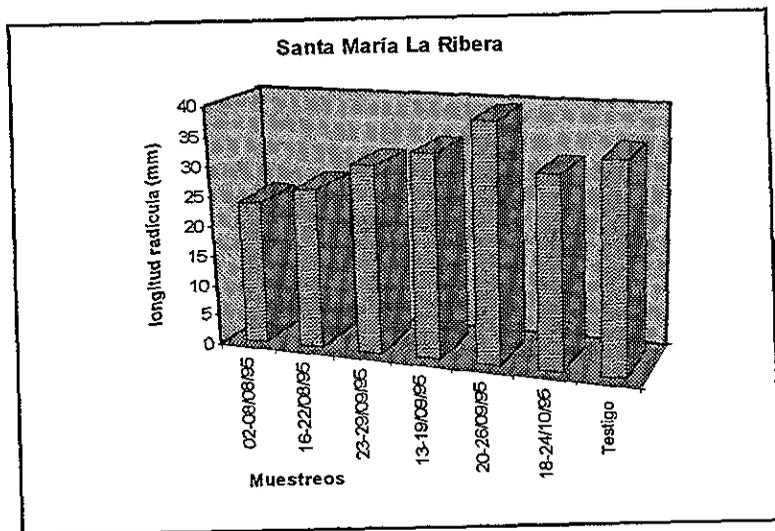


FIGURA 18 Crecimiento de la radícula de *Amaranthus hypochondriacus* L., en función del agua de lluvia recolectada en la localidad de Santa María La Ribera, en 1995.

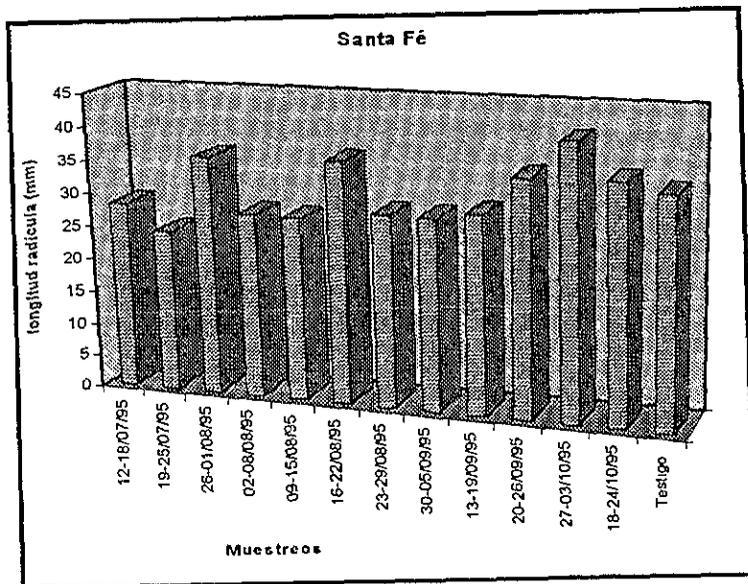


FIGURA 19 Crecimiento de la radícula de *Amaranthus hypochondriacus* L., en función del agua de lluvia recolectada en la localidad de Santa Fé, en 1995

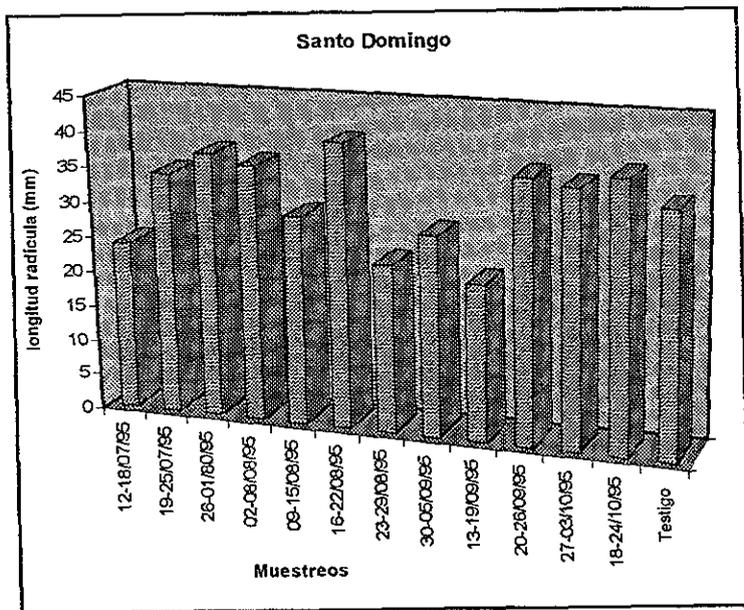


FIGURA 20 Crecimiento de la radícula de *Amaranthus hypochondriacus* L., en función del agua de lluvia recolectada en la localidad de Santo Domingo, en 1995

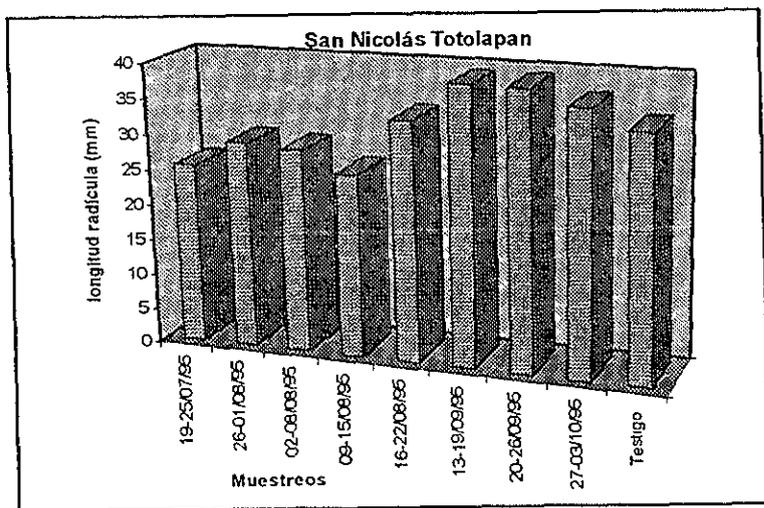


FIGURA 21 Crecimiento de la radícula de *Amaranthus hypochondriacus* L., en función del agua de lluvia recolectada en la localidad de San Nicolás Totolapan, en 1995.

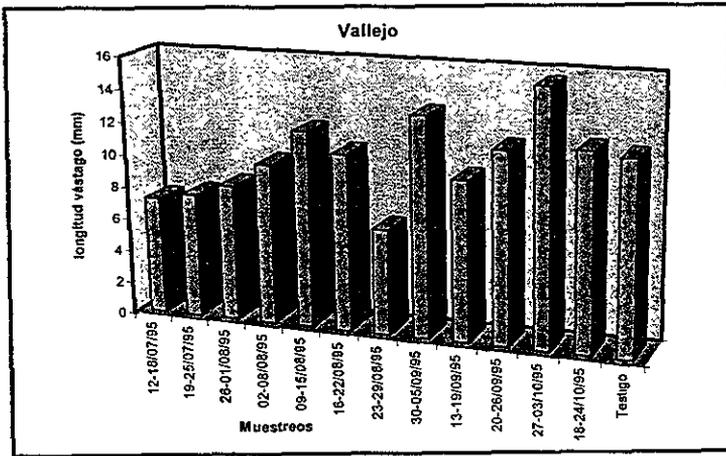


FIGURA 22 Crecimiento del vástago de *Amaranthus hypochondriacus* L., en función del agua de lluvia recolectada en la localidad de Tepozotlán, en 1995.

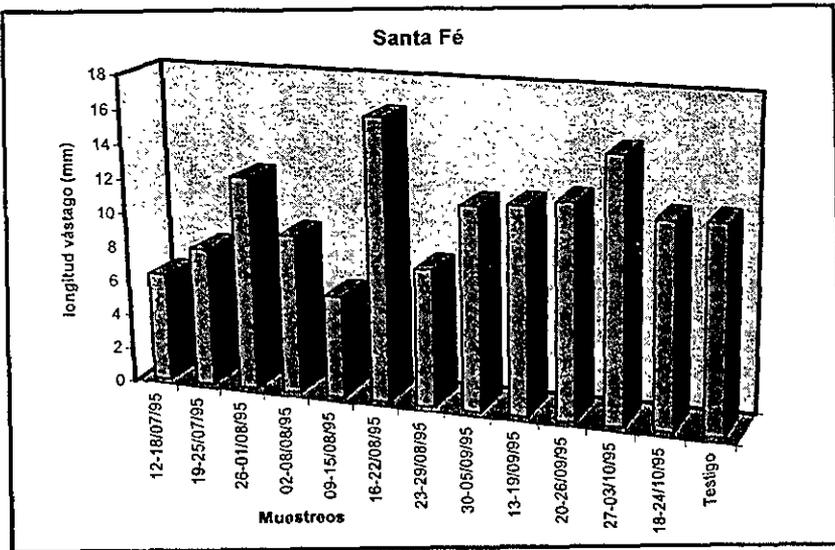


FIGURA 23 Crecimiento del vástago de *Amaranthus hypochondriacus* L., en función del agua de lluvia recolectada en la localidad de Vallejo, en 1995.

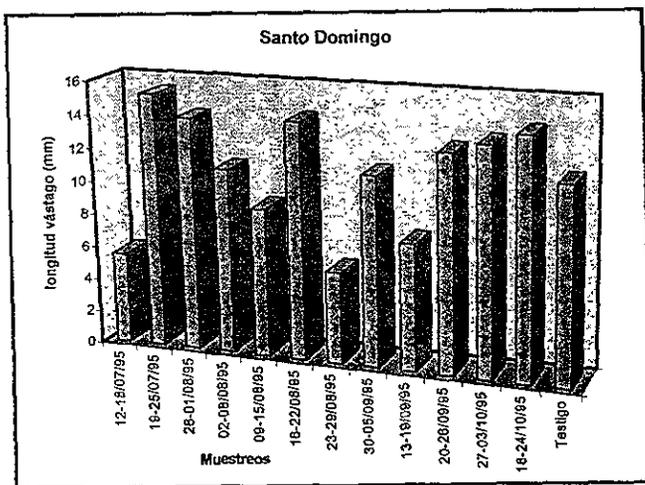


FIGURA 24 Crecimiento del vástago de *Amaranthus hypochondriacus* L., en función del agua de lluvia recolectada en la localidad de Santa María La Ribera, en 1995.

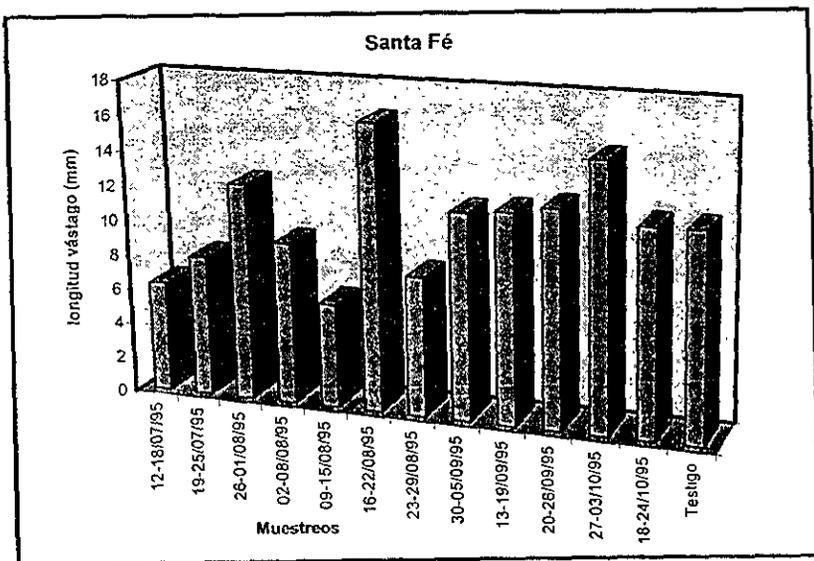


FIGURA 25 Crecimiento del vástago de *Amaranthus hypochondriacus* L., en función del agua de lluvia recolectada en la localidad de Santa Fé, en 1995.

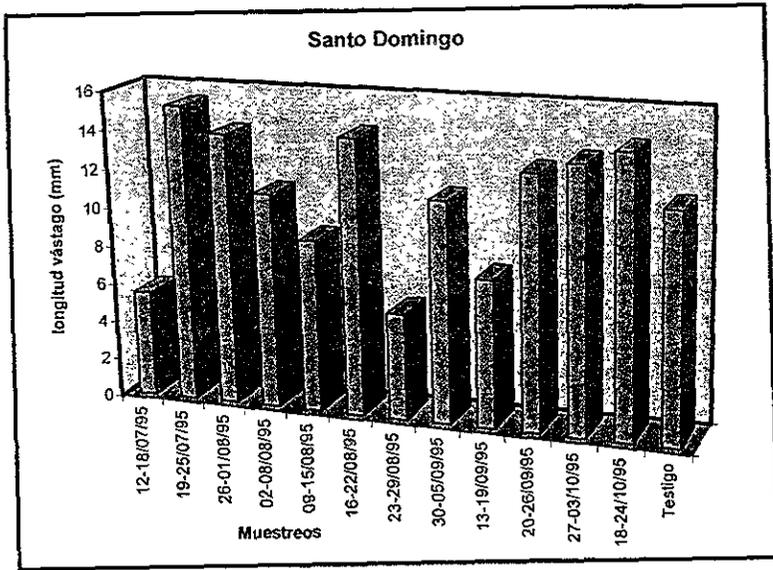


FIGURA 26 Crecimiento del vástago de *Amaranthus hypochondriacus* L., en función del agua de lluvia recolectada en la localidad de Santo Domingo, en 1995.

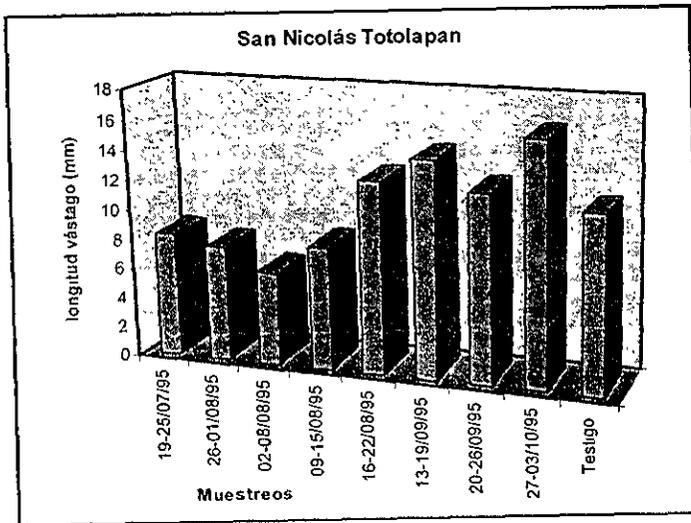


FIGURA 27 Crecimiento del vástago de *Amaranthus hypochondriacus* L., en función del agua de lluvia recolectada en la localidad de San Nicolás Totolapan, en 1995.

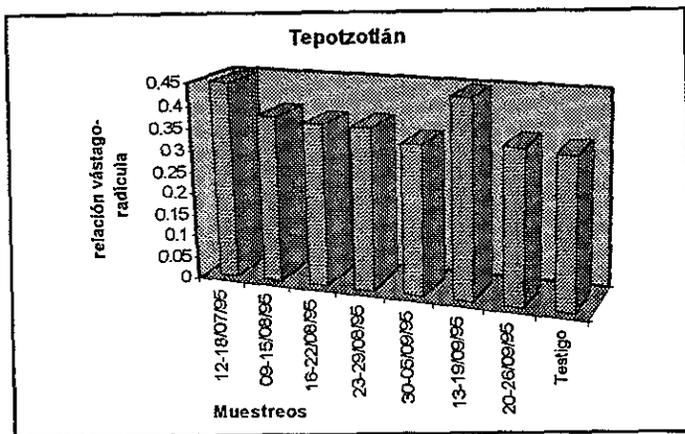


FIGURA 28 Relación vástago-radícula en el crecimiento de *Amaranthus hypochondriacus* L., en función del agua de lluvia recolectada en la localidad de Tepotzotlán, en 1995.

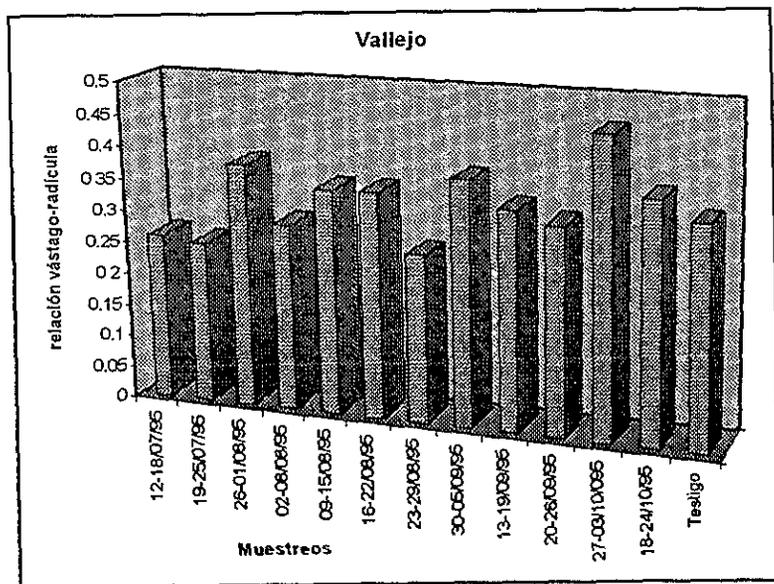


FIGURA 29 Relación vástago-radícula en el crecimiento de *Amaranthus hypochondriacus* L., en función del agua de lluvia recolectada en la localidad de Vallejo, en 1995

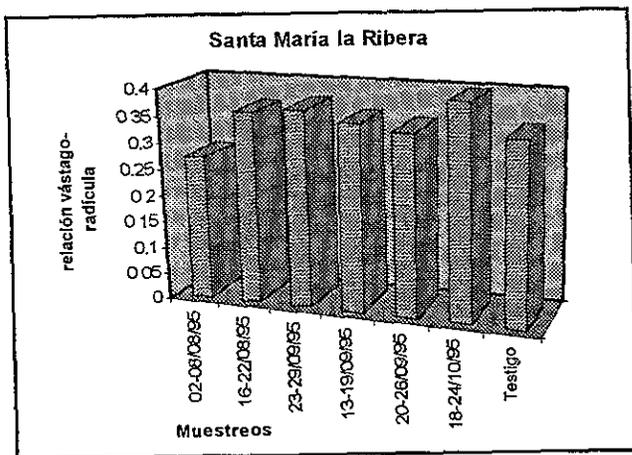


FIGURA 30 Relación vástago-radícula en el crecimiento de *Amaranthus hypochondriacus* L., en función del agua de lluvia recolectada en la localidad de Santa María La Ribera, en 1995.

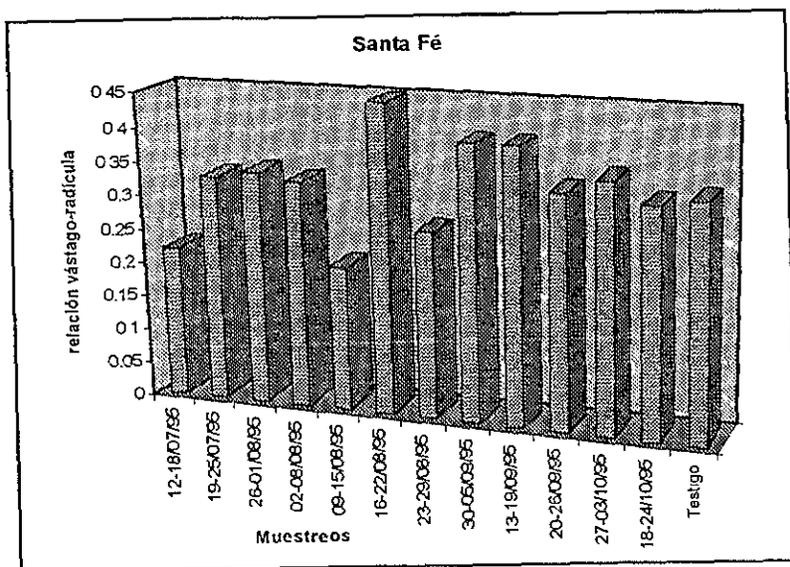


FIGURA 31 Relación vástago-radícula en el crecimiento de *Amaranthus hypochondriacus* L., en función del agua de lluvia recolectada en la localidad de Santa Fé, en 1995

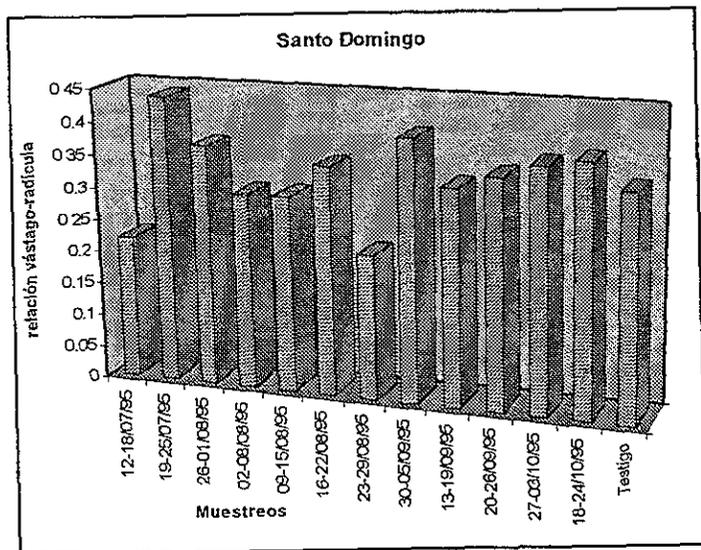


FIGURA 32 Relación vástago-radícula en el crecimiento de *Amaranthus hypochondriacus* L., en función del agua de lluvia recolectada en la localidad de Santo Domingo, en 1995.

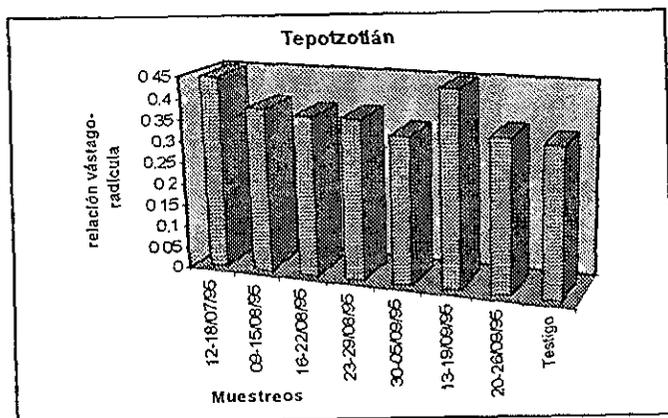


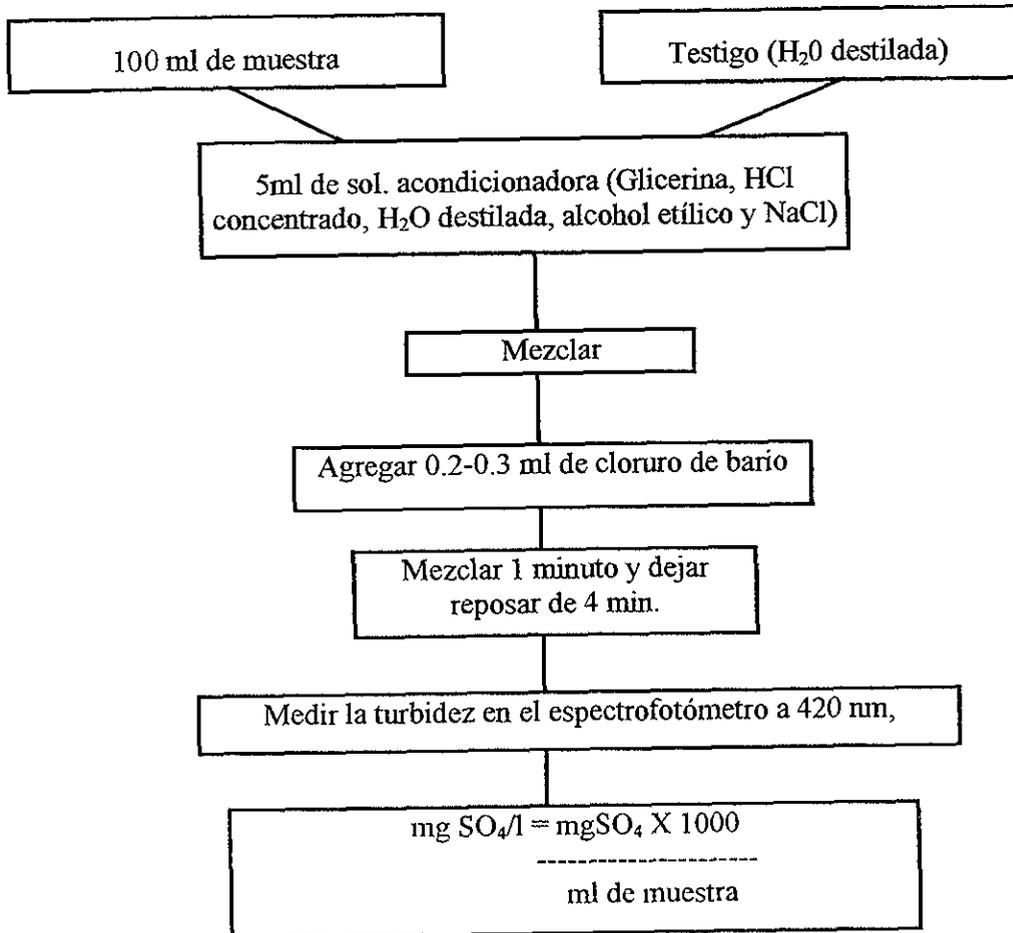
FIGURA 33 Relación vástago-radícula en el crecimiento de *Amaranthus hypochondriacus* L., en función del agua de lluvia recolectada en la localidad de San Nicolás Totolapan, en 1995.

APÉNDICE B

DIAGRAMA DE TÉCNICAS DE DETERMINACIÓN PARA SULFATOS, NITRATOS Y CLORUROS.

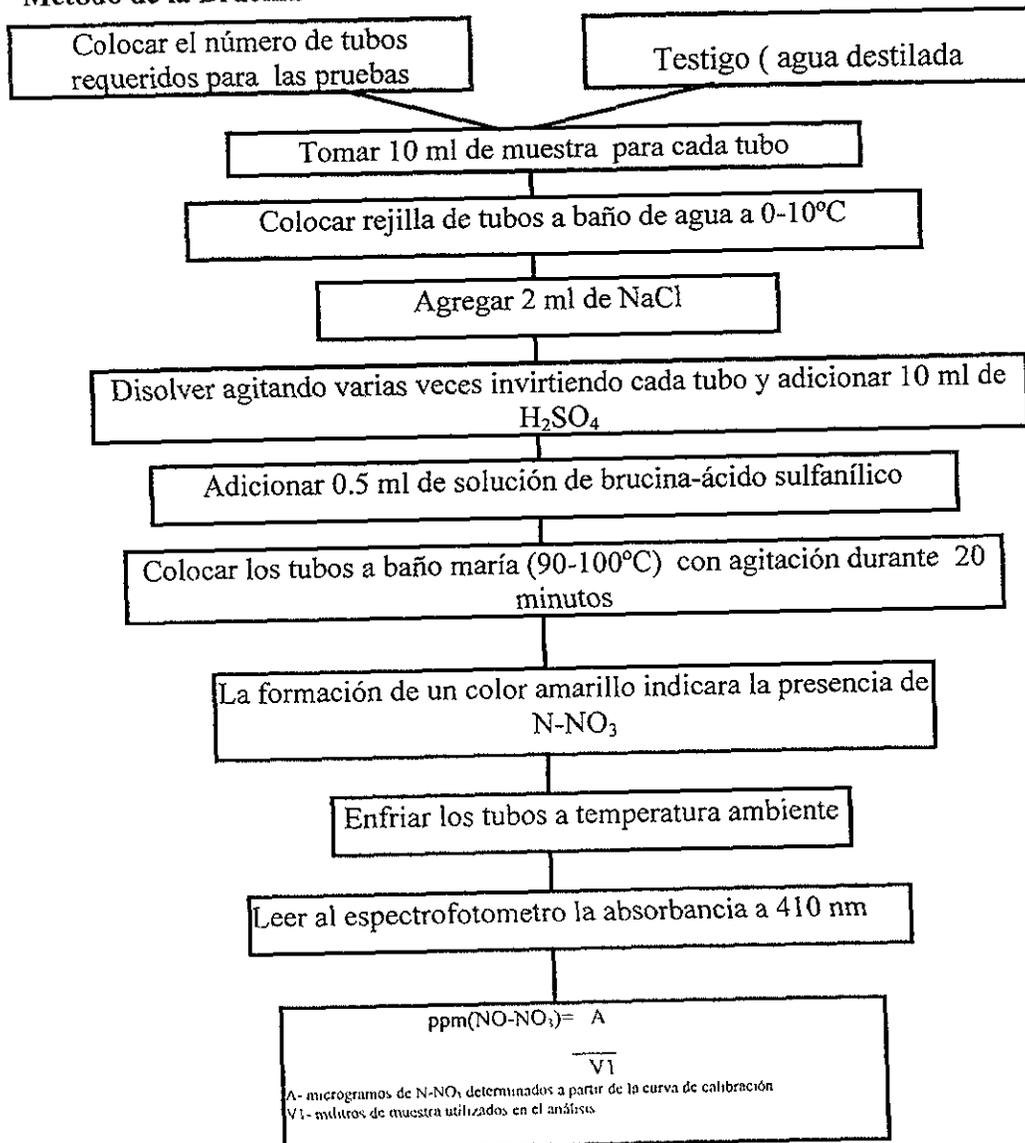
SULFATOS

Método Turbidimétrico



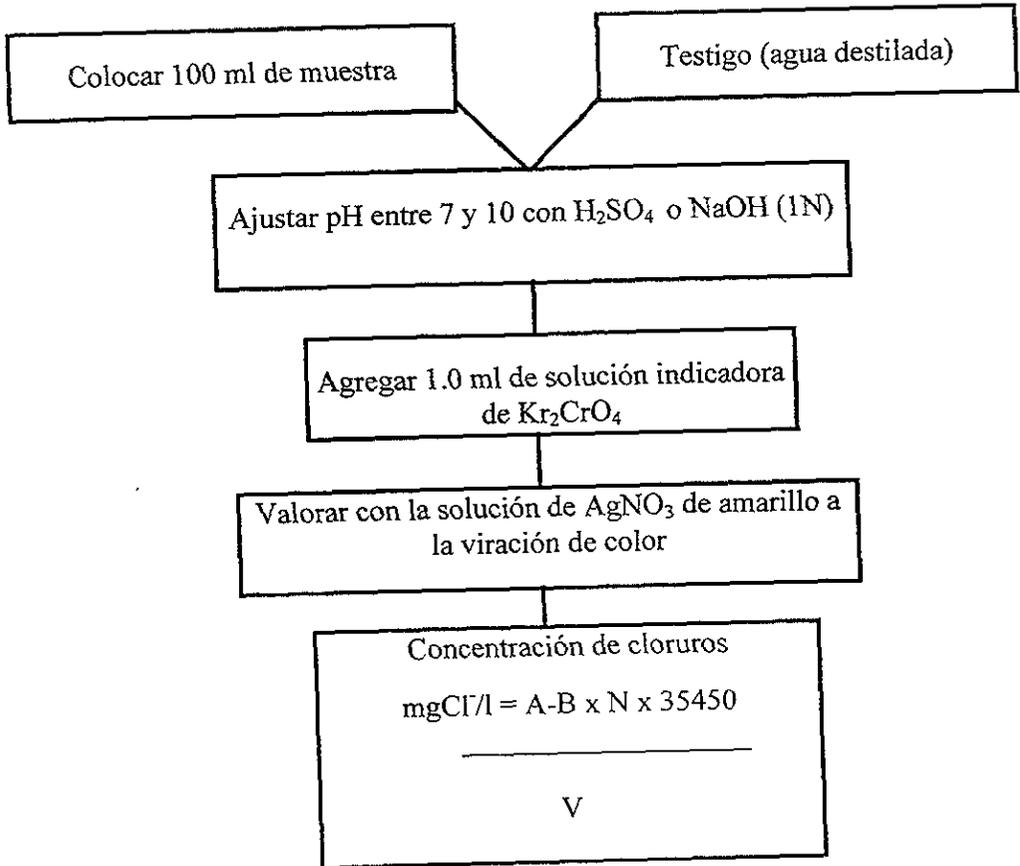
NITRATOS

Método de la Brucina



CLORUROS

Método Argentométrico



A.- Volumen de la sol de $AgNO_3$ empleado en la valoración de la muestra, en ml

B - Volumen de la muestra tomada para la determinación en ml

N - Normalidad de $AgNO_3$

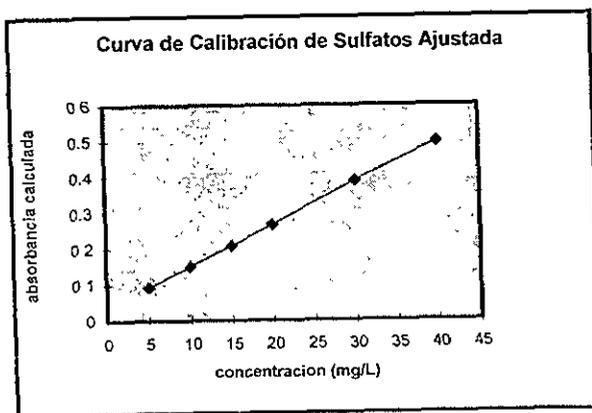
3,5450 - Peso molecular del cloro por 1000

APÉNDICE C

CURVAS DE CALIBRACIÓN DE SULFATOS Y NITRATOS

CURVA DE CALIBRACIÓN DE SULFATOS

X	Y
5	0.0929
10	0.1509
15	0.208
20	0.2664
30	0.389
40	0.4974



CURVA DE CALIBRACIÓN DE NITRATOS

X	Y
1	0.0455
2	0.0474
4	0.0508
6	0.0519
8	0.0576
10	0.0593

