

9



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ZARAGOZA.

EVALUACION DEL ESTABLECIMIENTO DE
Senna didymobotrya PARA LA RECUPERACION
DE LA CUBIERTA VEGETAL PARA SITIOS DE
DISPOSICION FINAL POST-CLAUSURA.

284465

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
B I O L O G O
P R E S E N T A N
MIREYA GARCIA AVILEZ
ALEJANDRO MUNGUJA CHAVEZ

DIRECTOR DE TESIS
BIOLOGA MARIA DE LOS ANGELES GALVAN VILLANUEVA

MEXICO, D.F., 2000





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

AGRADECIMIENTOS

BIÓLOGA MARÍA DE LOS ANGELES GALVAN VILLANUEVA

Por su amistad y confianza
Por su apoyo incondicional en los momentos más difíciles de nuestra carrera
Por su dirección, consejos y sugerencias que hicieron posible la realización de este trabajo

BIÓLOGO RAMIRO RÍOS GÓMEZ

Por su valiosa asesoría y por sus certeros comentarios

BIÓLOGA LETICIA LÓPEZ VICENTE

Por sus observaciones que enriquecieron este trabajo

BIÓLOGA MARICELA ARTEAGA MEJÍA

Por sus acertados comentarios y observaciones

BIÓLOGA ANA LAURA MALDONADO TENA

Por sus valiosas sugerencias

A TODOS USTEDES

MUCHAS GRACIAS

ÍNDICE GENERAL

	Pàg.
RESUMEN	5
I. INTRODUCCIÓN	6
II. MARCO TEÓRICO	8
III. BIOLOGÍA DE LA ESPECIE EN ESTUDIO <i>Senna didymobotrya</i> (L. Bailey) Irwin & Barneby	17
IV. JUSTIFICACIÓN	18
V. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	19
1) LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA	19
2) TOPOGRAFÍA E HIDROLOGÍA	19
3) EDAFOLOGÍA Y GEOLOGÍA	19
4) CONDICIONES CLIMÁTICAS	19
5) CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL EX-TIRADERO DE SANTA CRUZ MEYEHUALCO	19
5.1) PERÍODO DE VIDA ÚTIL	19
5.2) CLAUSURA	20
IV. HIPÓTESIS	22
VII. OBJETIVO GENERAL	22
VIII. OBJETIVOS PARTICULARES	22
IX. DISEÑO EXPERIMENTAL	23
X. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	25
1) ANÁLISIS GENERAL DE LAS SEMILLAS DE <i>S. didymobotrya</i>	25
2) EVALUACIÓN DE LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS PREGERMINATIVOS Y EFECTO DE LAS TEMPERATURAS PSICRÓFILAS, MESÓFILAS Y TERMÓFILAS EN EL INTERVALO DE 4°C a 55°C SOBRE EL PROCESO DE GERMINACIÓN DE <i>S. didymobotrya</i>	26

3) EFECTO DE LOS METALES PESADOS (Cd, Cr, Fe, Ni, Pb y Zn) Y TEMPERATURAS MESÓFILAS (23°C y 33.5°C) SOBRE EL PROCESO DE GERMINACIÓN DE <i>S. didymobotrya</i>	31
3.1) METALES PESADOS (Cd, Cr, Fe, Ni, Pb y Zn) ABSORBIDOS POR LOS EMBRIONES DE <i>S. didymobotrya</i> DURANTE SU GERMINACIÓN	43
4) CARACTERIZACIÓN DEL SUSTRATO COMERCIAL	50
5) SEGUIMIENTO DE LAS PLÁNTULAS A NIVEL DE INVERNADERO	52
6) CARACTERIZACIÓN DEL SUSTRATO DEL PARQUE RECREATIVO CUITLÁHUAC	62
7) SEGUIMIENTO DE LAS PLÁNTULAS INTRODUCIDAS EN EL PARQUE RECREATIVO CUITLÁHUAC	65
XI. CONCLUSIONES	71
XII. BIBLIOGRAFÍA	72
ANEXOS	
ANEXO 1	ii
ANEXO 2	iii
ANEXO 3	vii
ANEXO 4	viii
ANEXO 5	xii

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Análisis general de las semillas de <i>S. didymobotrya</i>	25
Tabla 2. Germinación de las semillas de <i>S. didymobotrya</i> con diferentes tratamientos pregerminativos y temperaturas	26
Tabla 3. Germinación de las semillas de <i>S. didymobotrya</i> tratadas con ácido Giberélico a diferentes temperaturas	29
Tabla 4. Germinación de las semillas de <i>S. didymobotrya</i> tratadas con soluciones de metales pesados a temperaturas mesófilas	31

Tabla 5. Germinación de las semillas de <i>S. didymobotrya</i> tratadas con todos los metales pesados en conjunto a temperaturas mesófilas	39
Tabla 6. Porcentaje de germinación de las semillas de <i>S. didymobotrya</i> tratadas con diferentes concentraciones de metales pesados a temperaturas mesófilas	42
Tabla 7. Absorción de metales pesados por los embriones de <i>S. didymobotrya</i> durante su periodo de germinación	44
Tabla 8. Relación de las diferentes concentraciones de metales pesados absorbidos por los embriones de <i>S. didymobotrya</i> durante su periodo de germinación	49
Tabla 9. Caracterización física y química del sustrato en el que se transplantaron las plántulas de <i>S. didymobotrya</i> a nivel de invernadero	50
Tabla 10. Caracterización física y química del sustrato proveniente de los diferentes puntos de monitoreo del Parque Recreativo Cuitláhuac	64

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Acción de los diferentes tratamientos pregerminativos y de la temperatura sobre el proceso de germinación de <i>S. didymobotrya</i>	28
Gráfica 2. Acción del Ácido Giberélico y de la temperatura sobre el proceso de germinación de <i>S. didymobotrya</i>	29
Gráfica 3. Efecto del Cadmio sobre el proceso de germinación de <i>S. didymobotrya</i>	33
Gráfica 4. Efecto del Cromo sobre el proceso de germinación de <i>S. didymobotrya</i>	34
Gráfica 5. Efecto del Hierro sobre el proceso de germinación de <i>S. didymobotrya</i>	35
Gráfica 6. Efecto del Níquel sobre el proceso de germinación de <i>S. didymobotrya</i>	36
Gráfica 7. Efecto del Plomo sobre el proceso de germinación de <i>S. didymobotrya</i>	37

Gráfica 8. Efecto del Cinc sobre el proceso de germinación de <i>S. didymobotrya</i>	38
Gráfica 9. Efecto sinérgico de los metales pesados sobre el proceso de germinación de <i>S. didymobotrya</i>	41
Gráfica 10. Cadmio absorbido por los embriones de <i>S. didymobotrya</i> durante su periodo de germinación	45
Gráfica 11. Cromo absorbido por los embriones de <i>S. didymobotrya</i> durante su periodo de germinación	46
Gráfica 12. Plomo absorbido por los embriones de <i>S. didymobotrya</i> durante su periodo de germinación	47
Gráfica 13. Cinc absorbido por los embriones de <i>S. didymobotrya</i> durante su periodo de germinación	48
Gráfica 14. Efecto de los diferentes tratamientos pregerminativos sobre el crecimiento de los individuos de <i>S. didymobotrya</i>	53
Gráfica 15. Efecto del Cadmio sobre el crecimiento de los individuos de <i>S. didymobotrya</i>	54
Gráfica 16. Efecto del Cromo sobre el crecimiento de los individuos de <i>S. didymobotrya</i>	55
Gráfica 17. Efecto del Hierro sobre el crecimiento de los individuos de <i>S. didymobotrya</i>	56
Gráfica 18. Efecto del Níquel sobre el crecimiento de los individuos de <i>S. didymobotrya</i>	57
Gráfica 19. Efecto del Plomo sobre el crecimiento de los individuos de <i>S. didymobotrya</i>	58
Gráfica 20. Efecto del Cinc sobre el crecimiento de los individuos de <i>S. didymobotrya</i>	59
Gráfica 21. Efecto sinérgico de los metales pesados sobre el crecimiento de los individuos de <i>S. didymobotrya</i>	60
Gráfica 22. Crecimiento de los individuos de <i>S. didymobotrya</i> introducidos en los diferentes puntos de monitoreo del Parque Recreativo Cuitláhuac	69

RESUMEN

El presente estudio se realizó en el ex-tiradero de Santa Cruz Meyehualco, actualmente llamado Parque Cuittláhuac, durante el periodo de septiembre de 1998 a julio de 1999, tiempo durante el cual se trabajó con semillas de *Senna didymobotrya* (Familia Leguminosae) provenientes de un individuo adulto que se logró desarrollar en un área impactada.

Con la finalidad de evaluar el establecimiento de esta leguminosa, para la recuperación de la cubierta vegetal del sitio de disposición final, se analizaron las semillas observando que presentan latencia morfológica debida a una cubierta seminal muy dura y gruesa, lo que impide su germinación bajo condiciones naturales, sin embargo, se encontró que el escarificado con lima es la mejor opción para elevar al máximo el porcentaje de semillas germinadas, e incrementar de esta forma la obtención de individuos adultos.

Al evaluar el efecto de la temperatura sobre la germinación de las semillas, se descubrió que el intervalo óptimo para este proceso se encuentra entre los 23°C y 33.5°C, pertenecientes a las temperaturas mesófilas, dentro de las cuales la más adecuada resultó ser de 23°C. Asimismo, se encontró que la variación de la temperatura junto con la presencia de metales pesados, como el Cd, Cr, Fe, Ni, Pb y Zn, tuvieron un efecto significativo ($P \leq 0.05$) sobre el proceso de germinación, siendo más tóxicos aquellos metales considerados como oligoelementos (Fe, Ni y Zn) para los vegetales en general, cuya acción fue más severa a temperaturas de 33.5°C. De esta forma, la toxicidad de estos metales pesados para *S. didymobotrya* decreció en el orden de Fe>Cr>Zn>Ni>Pb>Cd.

La presencia de metales pesados y el incremento de la temperatura a 33.5°C, durante la germinación de estas semillas provocó que el desarrollo de los individuos, en estado adulto fuera poco vigoroso, lo cual se vio reflejado con una disminución en la talla, y en algunos casos, con presencia de clorosis y necrosis foliar. Igualmente, la acción de ambos parámetros elevó el porcentaje de mortalidad de estos organismos, en el orden Cr>Ni>Zn>Cd>Fe>Pb, 33.5°C>23°C.

Por otra parte, se observó que *S. didymobotrya* es capaz de acumular elevadas concentraciones de metales pesados en sus tejidos, por lo que se le puede emplear, en trabajos posteriores, como una especie extractora de estos contaminantes. De igual forma, logró adaptarse a las condiciones tan adversas de temperatura, humedad y salinidad que se presentan en el sustrato del Parque Recreativo Cuittláhuac, el cual resultó ser muy heterogéneo en los diferentes puntos de monitoreo, debido al diverso origen del material de cubierta, razón por la cual la nodulación de las raíces se vio totalmente inhibida. No obstante, se encontró que es una planta apta para establecerse en estos lugares, evitando de esta forma tanto la pérdida de sustrato como la dispersión de contaminantes, incrementando también la estética del sitio de disposición final.

I. INTRODUCCIÓN

A partir de la década de los 40's, el desarrollo industrial de México experimentó un impulso notable mediante el apoyo de la creación de nuevas industrias en todos los ramos, intensificando así el aprovechamiento de los recursos naturales y generando gran cantidad de residuos sólidos, líquidos y gaseosos, que al acumularse han provocado la contaminación del agua, aire y suelo.

El principal problema que existe con los diferentes tipos de residuos es que la tasa de degradación frecuentemente resulta ser menor que la tasa de producción, por lo que tienden a juntarse en varios lugares produciendo la contaminación de los ecosistemas (Díaz, *et al.*, 1993; Tena, 1995). Del mismo modo, cabe mencionar que la producción de estos residuos está íntimamente relacionada con el tamaño de la población, nivel económico de vida, hábitos de consumo y grado de industrialización alcanzado entre la población (Echeverría, 1986; Trejo, 1987).

Por otra parte, de los distintos residuos sólidos que el hombre produce diariamente, la basura ocupa uno de los primeros lugares, ya que de acuerdo a las estadísticas, América Latina es el principal productor de residuos sólidos y México, según la Organización Mundial de la Salud (OMS), es uno de los cinco asentamientos que generan más basura en el mundo, puesto que en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM), se producen aproximadamente 20 000 toneladas de basura al día, que van a parar a diferentes sitios de disposición final (Leal, *et al.*, 1996; Restrepo, 1985).

Como se mencionó anteriormente, la producción de residuos sólidos afecta los factores físicos, químicos y biológicos del ambiente, los cuales forman parte del suelo, agua y aire, provocando que los seres vivos, incluyendo el ser humano, se interrelacionen con estos componentes y, sufran el efecto de los daños causados a los diferentes ecosistemas (Pulido, *et al.*, 1995). Así, la basura ocasiona muchos problemas, ya que al depositarse en forma heterogénea y sin ningún control en grandes montones forma los llamados tiraderos a cielo abierto, que además de causar la asimetría del sitio, permiten la reproducción de fauna nociva, tanto para el hombre como para los animales domésticos. Igualmente, cuando la gran cantidad de materia orgánica presente empieza a descomponerse produce gases inflamables, que emergen a la atmósfera, junto con sustancias líquidas y tóxicas que son adsorbidas por el suelo y mezcladas con el agua, ocasionando una severa contaminación de la ciudad (López, 1978; Pfeffer, 1992; Viscaino, 1975).

De este modo, para evitar el mal aspecto que los tiraderos a cielo abierto proporcionan a la imagen urbana y las molestias que estos originan, se han propuesto diferentes alternativas ecológicas en las cuales se dispone la basura de manera controlada de la siguiente forma:

- 1) El enterramiento controlado, en el cual la basura se extiende y comprime de tal manera que cuando ha alcanzado una altura aproximada de dos metros, se cubre con tierra proveniente de alguna obra de excavación. Sin embargo, debido a la constante compactación, la presencia de oxígeno es mínima, por lo que la biodegradación es lenta y ocurre principalmente de forma anaerobia (Trejo, 1987; Turk, *et al.*, 1981)

2) El relleno sanitario, que permite confinar la basura en un área lo más pequeña posible, cubriéndola con capas de tierra diariamente y comprimiéndola para reducir su volumen (Christensen, *et al.*, 1989). Esta obra se debe impermeabilizar, con material arcilloso bien compactado o con una geomembrana plástica, antes de depositar los desechos sólidos, para evitar que los lixiviados causen daños al subsuelo, mantos freáticos y acuíferos (Nathason, 1997). Para diseñar un relleno sanitario, se debe tomar en cuenta los aspectos económicos, políticos y sociales de la población, además de considerar que la vida útil de este relleno sea mayor de seis años y que cuente con un eficiente sistema colector de lixiviados y biogas. De acuerdo con estudios realizados en otros países, sobre rellenos sanitarios estabilizados, estos lugares son destinados a usos exclusivamente recreativos, sin construcciones pesadas, ya que se presentan asentamientos y grietas de manera constante, debido a la degradación de los residuos orgánicos (Bagchi 1990; López, 1991).

3) La incineración de la basura, la cual si se realiza adecuadamente reduce la cantidad de contaminantes en el ambiente, obteniéndose sólo cenizas inertes que pueden ser colocadas finalmente en un relleno sanitario ocupando muy poco espacio. No obstante, esta solución es utilizada en baja escala debido al alto costo que tiene el contar con un incinerador adecuado (Gandy y Gandy, 1980; Ray, 1995).

4) El composteo, que puede realizarse al aire libre, tanto en lugares pequeños como en reactores fermentadores, y el cual permite transformar gran parte de los desechos orgánicos en fertilizante. A pesar de ello, su desarrollo se ve inhibido debido a las frecuentes dificultades que existen para elaborar y vender esta composta (Pulido, *et al.*, 1995).

En los años 70's existían dos grandes tiraderos a cielo abierto, el de Sta. Cruz Meyehualco, ubicado en la Delegación Iztapalapa, en el que se recibía el 70% de la basura colectada diariamente, y el de Santa Fé, localizado en la Delegación Álvaro Obregón, donde se colocaba el 30% restante. Actualmente, la Ciudad de México, cuenta con un número muy reducido de sitios de disposición final, con las características adecuadas para contener los diferentes tipos de desechos generados. Así, en el Distrito Federal hay 13 estaciones de transferencia ubicadas en las diferentes delegaciones, donde se selecciona la basura que se produce diariamente en la Zona Metropolitana, la cual una vez separada es trasladada a los rellenos sanitarios aún disponibles, el Bordo Poniente y el de Santa Catarina. El relleno sanitario denominado Bordo Poniente, esta ubicado en la Zona Federal del Ex-Lago de Texcoco y recibe más de 11,000 toneladas de basura al día en promedio, en tanto que el de Santa Catarina, solo recibe alrededor de 6,500 toneladas.

Con respecto a la composición general de los residuos sólidos generados en la ZMCM, el 52.4% es materia orgánica, 14% papel y cartón, 5.9% vidrio, 4.4% plásticos, 2.9% metales, 1.5% textil y 18.9% materiales diversos. Sin embargo, a pesar del gran contenido de material recuperable que se puede obtener de estos desechos, más del 80% son depositados en los diferentes sitios de disposición final, mientras que el resto es reusado o reciclado (INEGI, 1998).

De esta manera, teniendo en cuenta los problemas que ocasionan la basura generada diariamente y, dado que en nuestro país menos del 30% de estos se disponen sanitariamente (Pulido, *et al.*, 1995), es importante encontrar especies vegetales, del estrato arbóreo y arbustivo, que logren establecerse en el sustrato que cubre a estos desechos, evitando de esta forma la dispersión de los contaminantes hacia la atmósfera y reduciendo el costo en manejo y mantenimiento de las áreas destinadas para la disposición de los mismos.

II. MARCO TEÓRICO

El suelo es un sistema sumamente importante para las plantas, ya que les proporciona la base sólida a la cual pueden fijarse y el suministro de elementos minerales necesarios para su sobrevivencia, pero también cuenta con diferentes parámetros físicos, químicos y biológicos que influyen en el establecimiento y desarrollo de las mismas, a tal grado que cualquier variación de estos pueden favorecer o perjudicar su existencia. El problema que existe en los diferentes sitios de disposición final, es que estos factores se ven constantemente alterados, debido a la gran cantidad de contaminantes presentes en el sustrato, lo que provoca severos efectos tanto en los vegetales como en los microorganismos que habitan en el sitio.

La presencia o ausencia de oxígeno, en el sustrato de los sitios de disposición final, es un factor determinante para la obtención de los productos finales en la biodegradación de la materia orgánica, ya que cuando la basura es depositada comienza una degradación aeróbica, obteniéndose como productos finales dióxido de carbono, amonio y agua, pero al disminuir las concentraciones de oxígeno empieza la degradación anaeróbica en la que se pueden identificar dos fases: 1) una denominada no metanogénica, en donde la materia orgánica se descompone en presencia de agua y enzimas extracelulares de las bacterias, produciendo azúcares simples, aminoácidos, compuestos solubles y ácidos orgánicos, y 2) otra fase llamada metanogénica, en donde el denominado biogas es el producto presente en mayor proporción, cuya composición general es del 10 al 50% de metano (CH_4) y del 30 al 60% de dióxido de carbono (Liptak, 1974; Salvato, 1982; Zhang, *et al.*, 1995).

Cuando el agua de lluvia atraviesa la columna de basura, se mezcla con los productos hidrosolubles (compuestos orgánicos y metales pesados, entre otros) resultantes de la descomposición química y biológica de la misma, produciendo lixiviados que tienen movimientos verticales y horizontales, provocando la contaminación del subsuelo y de los terrenos aledaños (Demetracopoulos, *et al.*, 1986; Robinson y Maris, 1983). Por lo consiguiente, se ha observado que los diferentes sitios de disposición final son una de las principales fuentes de contaminación de las aguas subterráneas, ya que los lixiviados producidos en estos lugares tienen alto contenido de materia orgánica soluble, compuestos orgánicos aromáticos y volátiles, sales disueltas, metales pesados (Fe, Zn, Cu, Ba, Cr, Hg y Pb) y microorganismos patógenos (Beeman y Sufliya, 1987; Harkov, *et al.*, 1985; Schultz y Kjeldsen, 1986). No obstante, es importante subrayar que la composición final de los lixiviados y del biogas generados en los diferentes sitios de disposición final varían dependiendo de la naturaleza y cantidad de los materiales vertidos, la edad del sitio de disposición, el clima de la zona y, principalmente, del porcentaje de humedad presente en los residuos sólidos, proveniente de la precipitación pluvial y del riego (Albaiges, *et al.*, 1986; Laquidara, *et al.*, 1986).

La disponibilidad de oxígeno, en el sustrato de los sitios de disposición final, se ve afectada por el metano que allí se produce, ya que este compuesto además de ser incoloro, inodoro y altamente explosivo, provoca su desplazamiento originando condiciones anóxicas, bajo las cuales se ha encontrado que las semillas en etapa de germinación y las plantas adultas pueden llegar a acumular elevadas concentraciones de etanol en sus raíces, producto de la glicólisis acelerada, provocando el envenenamiento del organismo e inhibiendo el crecimiento de la raíz y hojas (Hook y Crawford, 1978; Opik, 1983). Igualmente, cuando las concentraciones de oxígeno disminuyen se elevan las de dióxido de carbono suprimiendo la respiración de las raíces y limitando el desarrollo de las mismas haciéndolas más susceptibles al *stress* hídrico, reduciendo la incorporación de nutrimentos e inhibiendo la fijación de nitrógeno en algunas leguminosas, debido a que disminuye la formación de nódulos (Chan, *et al.*, 1991; Rendig y Howard, 1989; Zhang, *et al.*, 1995).

Debido a que el intervalo de temperatura en el cual la mayoría de los organismos viven, oscila entre los 5°C y 40°C, el incremento de este parámetro afecta el metabolismo y crecimiento de los mismos, sin embargo, este intervalo varía ampliamente de especie a especie. De este modo, para tener un mejor conocimiento de los vegetales, Sutcliffe (1979) los ha clasificado de acuerdo al rango de temperaturas al cual pueden sobrevivir en psicrófilas (-110°C a 5°C), mesófilas (6°C a 40°C) y termófilas (41°C a 100°C). Igualmente se ha encontrado que la temperatura, junto con la humedad, influye en la velocidad de crecimiento de las raíces de una planta, ya que al excederse los 40°C ocurre la desnaturalización de las proteínas, inhibición de la síntesis de las mismas, variación en el pH del citoplasma celular y daños en las células y tejidos (Jones, 1992; Patterson y Graham, 1987), además de afectar seriamente la capacidad de germinación de las semillas (Bewley y Black, 1994). De igual forma, al incrementarse los valores de este parámetro en los sitios de disposición final, debido a la degradación de la materia orgánica y a la acelerada actividad microbiana, se eleva la tasa de respiración de las raíces y microorganismos causando la reducción de las concentraciones de oxígeno y el incremento en la producción de bióxido de carbono, etileno y ácidos orgánicos, siendo estos últimos fácilmente transformados, bajo condiciones anaeróbicas, a metano por bacterias metanogénicas (Palmisano, *et al.*, 1993). Por consiguiente, conforme la temperatura del sustrato se incrementa, la tasa de evaporación se hace más grande haciendo que las plantas sufran con mayor frecuencia una situación de *stress* hídrico. Para resolver este problema, se propuso el recirculamiento de los lixiviados en los sitios de disposición final para mantener la humedad del sustrato, sin embargo, se ha observado que al hacerlo la concentración de sustancias tóxicas incrementa, ocasionando que en la mayoría de las especies vegetales se inhiba la apertura de los estomas, la fotosíntesis y la transpiración (Cureton, *et al.*, 1991).

Otro factor que influye en el establecimiento de las plantas es la elevada concentración de sales en la solución del suelo que pueden causar efectos directos o indirectos en el crecimiento radical. Normalmente alteran el potencial osmótico de la raíz y la incorporación de agua se ve reducida, también se reduce la permeabilidad de la membrana radical, la plasticidad de la pared celular, la transpiración y la tasa de elongación radical. Así, de manera general, la salinidad afecta el balance nutricional de la planta, ya que el pH del suelo se ve incrementado afectando la solubilidad y disponibilidad de muchos nutrimentos esenciales para la vida vegetal (Rendig y Howard, 1989).

Por otra parte, la constante incorporación y pérdida de nutrimentos debidas a la fertilización, lavado, erosión y desnitrificación, influyen en el balance de las sustancias químicas presentes en los diversos suelos, originando toxicidad o deficiencia de los mismos y afectando el crecimiento de los vegetales, ya que para que estos se desarrollen con buen vigor, es necesario que el sustrato al cual se encuentran anclados aporte la cantidad adecuada de macro (C, Ca, H, Mg, N, O, P, K y S) y micronutrimentos (B, Cl, Co, Cu, Fe, Mn, Mo, Na y Zn), por lo que la variación de alguno de estos elementos puede provocar un marcado *stress* vegetal alterando los física y fisiológicamente, desencadenando una serie de respuestas con la finalidad de adaptarse a las nuevas condiciones del lugar (Odum, 1986; Villet, 1996). Estas respuestas ocurren de manera individual y pueden darse a nivel de tejido u órgano mediante el desarrollo de adaptaciones anatómicas y morfológicas, como son el aumento en la elongación y porosidad radical, formación de raíces adventicias y extensión del área foliar (Farago, 1994).

Como se muestra en la Figura 1, cuando una planta se encuentra bajo condiciones de *stress*, su sobrevivencia depende de la capacidad que tiene esta para evadir el factor que lo está causando (evasión), o para tolerarlo (tolerancia), haciendo uso de diferentes mecanismos de adaptación, que permiten al organismo completar su ciclo de vida aún ante la presencia del agente que provoca el agobio (Albaiges, *et al.*, 1986; Jones, 1992; Marschner, 1995). Sin embargo, la resistencia que tienen los vegetales hacia estas alteraciones, además de ser atribuida a la sensibilidad y tolerancia a dichos factores, depende de la especie, estado de desarrollo de la planta y de algunas condiciones del sustrato en el que se establecen.

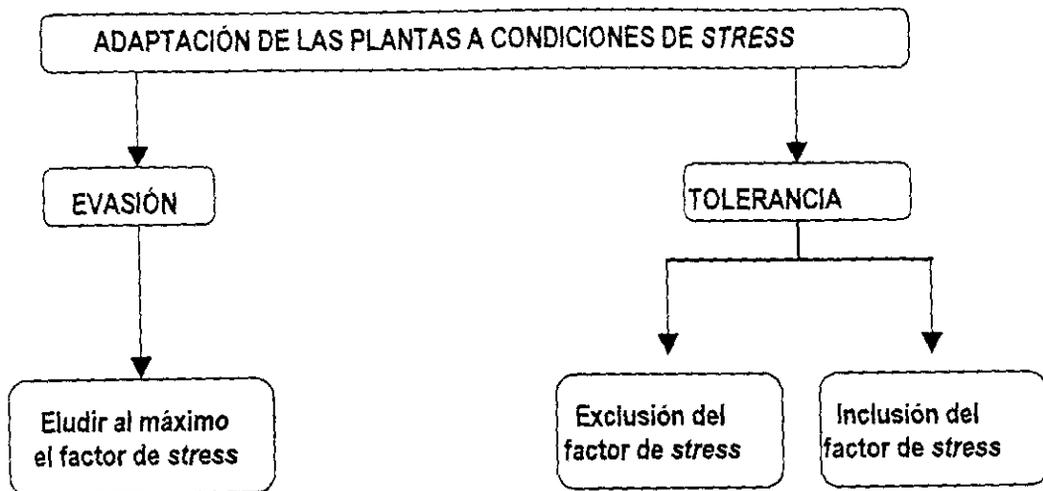


Fig. 1. Mecanismos de adaptación al stress vegetal (Marschner, 1995)

De esta forma, Salisbury y Ross (1994), encontraron que los organismos responden a casi cualquier parámetro ambiental de acuerdo a un comportamiento general. Así, la Figura 2, muestra el comportamiento esperado en una curva básica de dosis-respuesta, con tres fases o zonas: deficiencia, tolerancia y toxicidad. Siempre que la adición de un factor conduce a una mayor respuesta, se puede decir que es deficiente. Si al aumentar el factor no cambia la respuesta, el factor está presente en la zona de tolerancia. El nivel mínimo del factor que da la respuesta máxima es el óptimo. Cuando la adición de un factor origina menor respuesta, está presente en la zona de toxicidad o inhibición. Entre el óptimo y la toxicidad, se habla de un consumo de lujo donde no hay ningún rendimiento adicional. Desde luego, un elemento no esencial no tendrá efecto hasta que se vuelva tóxico, y esta toxicidad a veces puede ser letal, sea o no sea esencial el elemento o factor. De igual forma, se puede observar claramente que un factor no esencial se vuelve tóxico cuando está en niveles elevados.

Dentro de todos los nutrientes, el nitrógeno en sus diferentes formas químicas ocupa una posición excepcional como elemento esencial para el crecimiento de las plantas, debido a las altas tasas que de él se requieren, por lo que una deficiencia de este provoca el amarillamiento de las hojas y un reducido crecimiento vegetal. La concentración de nitrógeno en el sustrato y su disponibilidad para las plantas se ve limitada por diferentes factores que afectan su movilidad, como el pH y la temperatura. El problema que existe en las zonas de disposición final, es la pérdida de este elemento en forma amoniacal, hacia la atmósfera debido a las altas temperaturas que se registran en estos lugares.

Para contrarrestar esta situación, algunas plantas han desarrollado la capacidad de utilizar el nitrógeno orgánico mediante la hidrólisis de proteínas en asociación con ectomicorrizas. Otras plantas, como las leguminosas han establecido asociaciones simbióticas con bacterias fijadoras de nitrógeno pertenecientes al género *Rhizobium*, quienes después de invadir los pelos radicales, estimulan el crecimiento de pequeños nódulos, dentro de los cuales crecen y se reproducen por medio de una adecuada nutrición proporcionada por la planta, al mismo tiempo que convierten el nitrógeno gaseoso en forma aprovechable para el vegetal. Sin embargo, en zonas impactadas, como lo son los sitios de disposición final, hay muchos factores que pueden alterar las poblaciones de *Rhizobium sp* y por lo tanto la tasa de nitrógeno fijado. Así, las variaciones frecuentes de pH, temperatura y humedad unidas a elevadas concentraciones de sales, pueden alterar la proporción de nódulos formados (Dowling y Broughton, 1986; Garcidueñas, 1979)

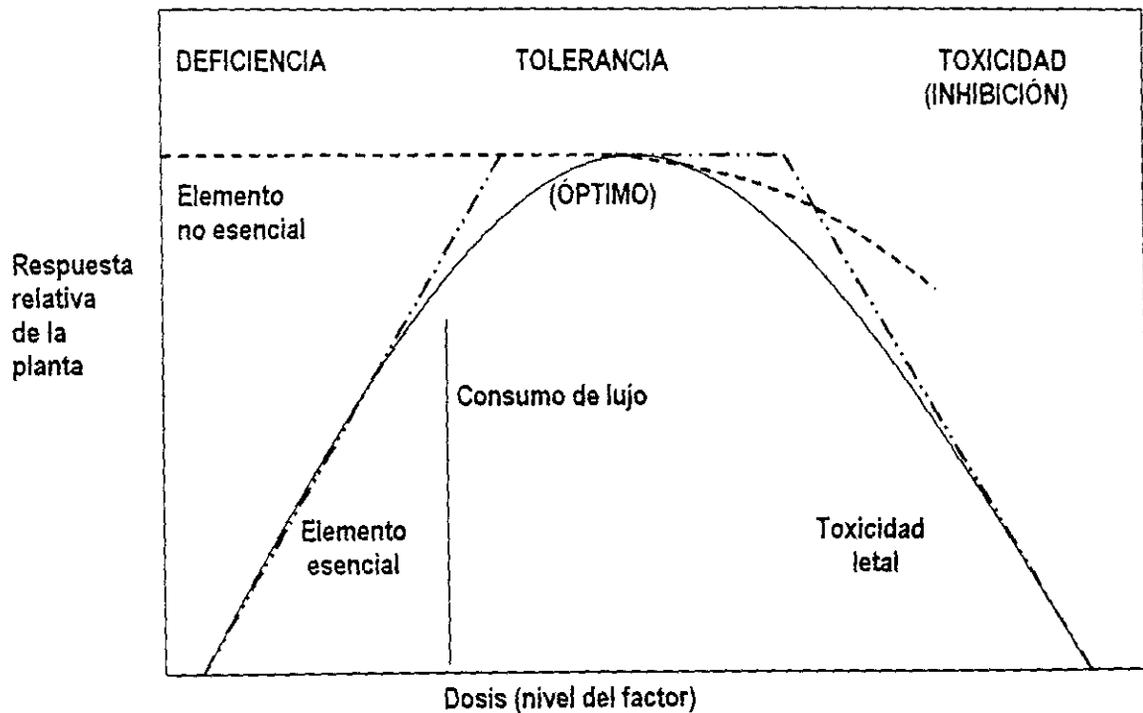


Fig. 2. Comportamiento general de los organismos a diferentes factores de stress (Salisbury y Ross, 1994)

Por otra parte, como se mencionó anteriormente, dado que las grandes cantidades de basura presente en los sitios de disposición final, generan lixiviados que contienen altas concentraciones de metales pesados, es importante mencionar los efectos que tienen estos en los organismos que habitan en el suelo, principalmente las plantas. A pesar de que algunos de estos metales son considerados como esenciales para las plantas (Cu, Fe, Mn, Ni, Sb, Zn, etc.), su nivel de deficiencia o toxicidad depende de la concentración, ruta de incorporación, tiempo de exposición y forma química del mismo. De esta forma, los metales pesados pueden ocasionar diferentes daños celulares tales como desplazamiento o sustitución de los iones metálicos esenciales por los no esenciales, desnaturalización e inactivación de enzimas, rompimiento de la pared celular y bloqueo en los sistemas de transporte de nutrientes (Farago, 1994; Ross, 1994).

Generalmente, en los suelos los metales pesados se presentan en niveles no tóxicos y poco disponibles para los vegetales, no obstante, en el sustrato de los diferentes sitios de disposición final se encuentran en elevadas concentraciones, cuya transformación depende de las condiciones físicas, químicas y biológicas que prevalecen en el mismo, tales como capacidad de intercambio catiónico, textura, porcentaje de humedad, contenido de materia orgánica, presencia de microorganismos, etc. Así, como se muestra en la Figura 3, los metales pueden existir en solución, asociados con la materia orgánica y mineral por adsorción, precipitación, oclusión, o incorporados en los organismos, pero su movilidad y biodisponibilidad depende principalmente de su especiación química, la cual se ve afectada principalmente por el pH y la materia orgánica. Así, bajo condiciones básicas su disponibilidad disminuye al encontrarse en forma de óxidos, carbonatos y fosfatos pero cuando el pH se acidifica su solubilidad incrementa en forma de sulfatos, la cual es la más predominante y la más tóxica (Allen, *et al.*, 1996; Fergusson, 1991; Salomons y Stigliani, 1995)

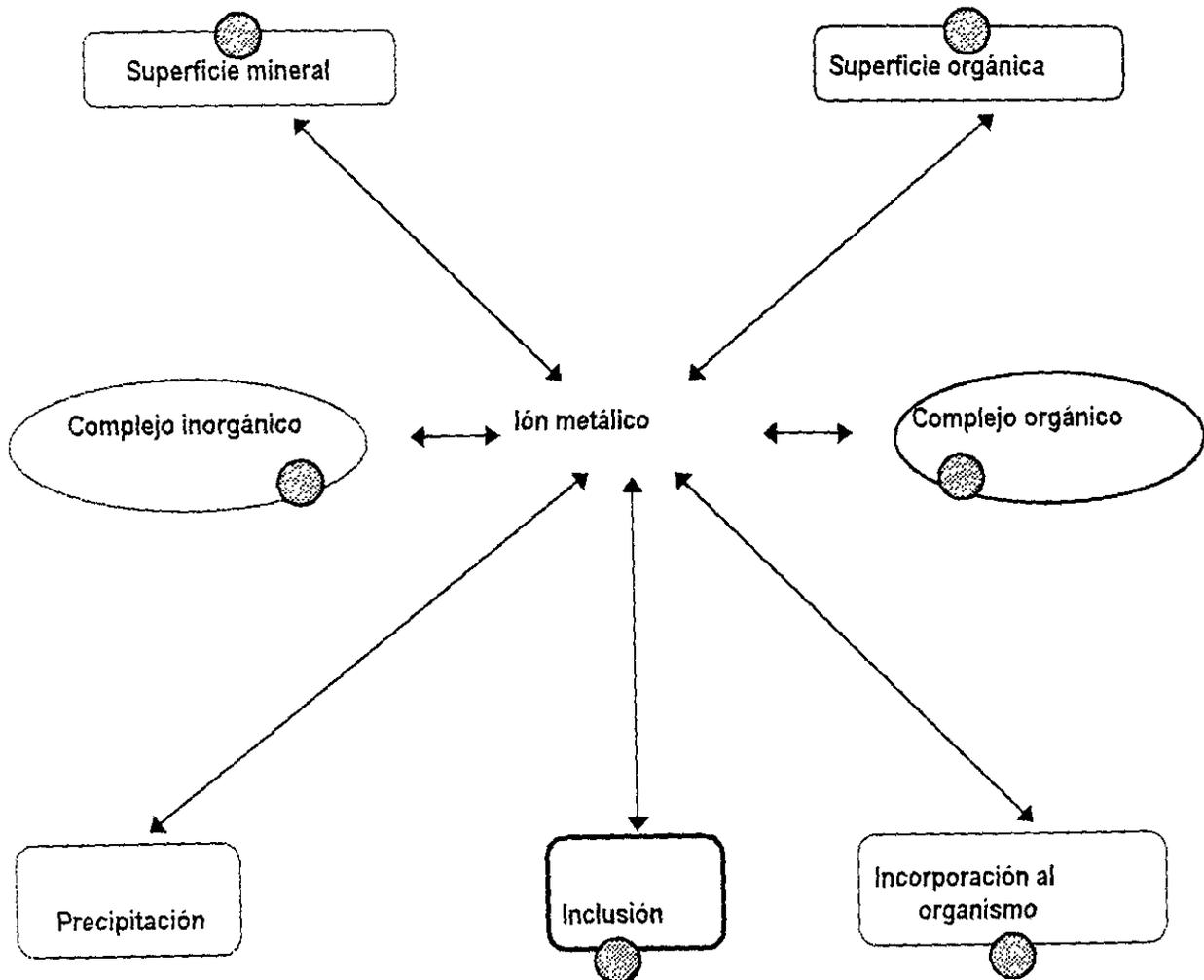


Fig. 3. Interacción de los metales pesados en el suelo (Salomons y Stigliani, 1995)

De esta forma, como se muestra en la Figura 4, según Ross (1994) los contaminantes, principalmente los metales pesados, pueden incorporarse al sistema suelo-planta de la siguiente manera: 1) cuando los metales pesados se encuentran suspendidos en el aire, pueden incorporarse al suelo por gravedad, produciendo su acumulación, 2) si se dan las condiciones óptimas de pH puede ocurrir el intercambio catiónico y la incorporación de los contaminantes hacia las plantas, a través de la absorción radical, ocurriendo entonces la translocación hacia la biomasa vegetal hasta bioacumularse en un tejido específico, 3) cuando las plantas mueren y se incorporan al suelo en forma de materia orgánica, los metales regresan al sistema y si el pH se acidifica ocurre la movilización y lixiviación de los mismos.

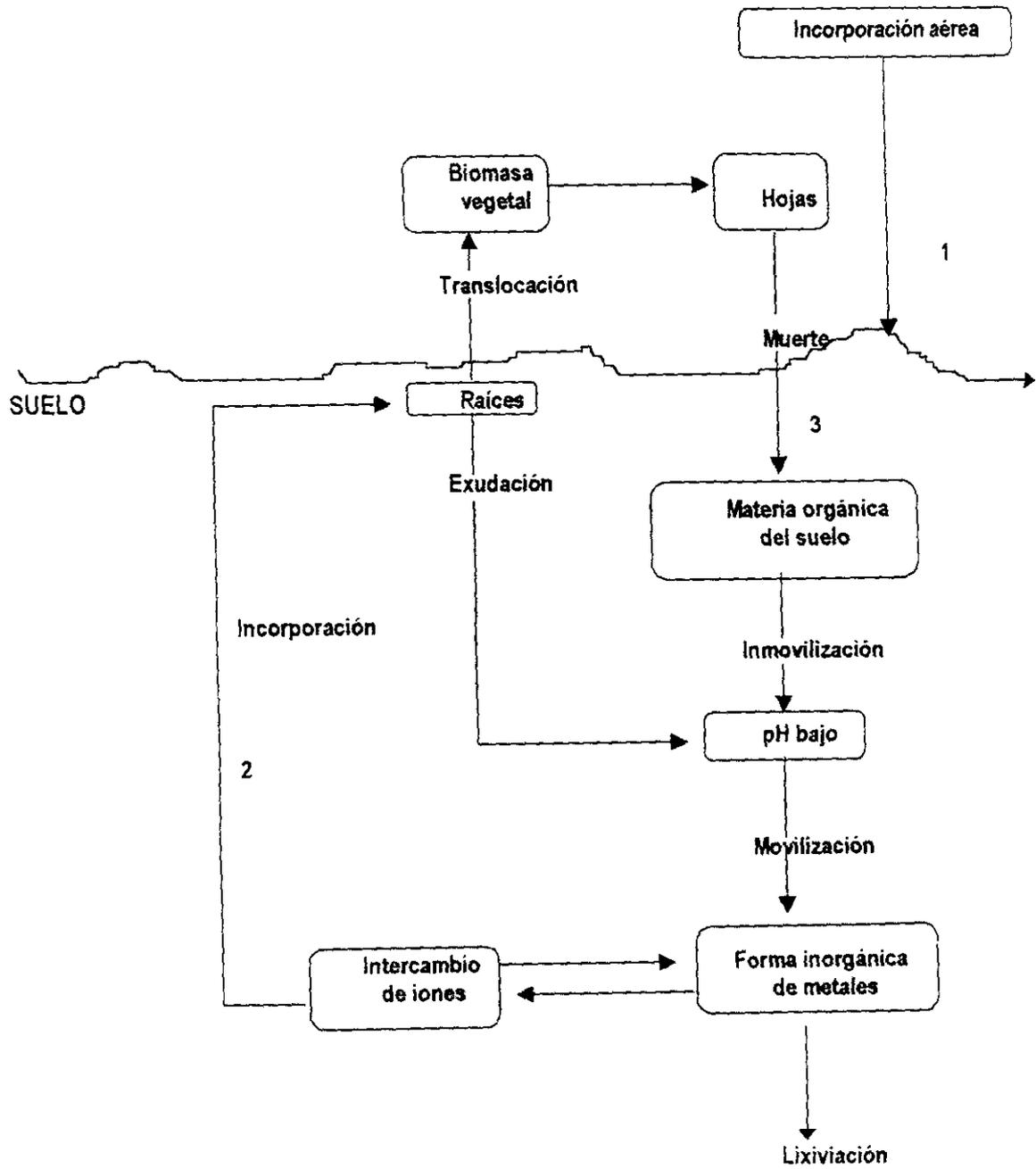


Fig. 4. Ciclo de los metales pesados en el sistema aire-suelo-planta (Ross, 1994)

Debido a que la mayoría de los metales tienden a acumularse en el suelo, algunas plantas pueden absorberlos fácilmente, transportarlos a través del xilema y translocarlos hacia algún, no obstante, esto puede variar dependiendo del elemento, su concentración en el suelo y el tipo de planta de la que se trate (Reimers, *et al.*, 1986; Richardson, 1979). Así, Ross (1994) clasifica a las plantas, de acuerdo con sus características para incorporar contaminantes en:

- a) Excluyentes, que evitan la incorporación de contaminantes y su translocación hacia los diferentes tejidos
- b) Indicadoras, que reflejan fácilmente la incorporación y translocación de contaminantes
- c) Acumuladoras, que concentran grandes cantidades de contaminantes en sus tejidos.

En general, la toxicidad de los metales pesados hacia las plantas es en orden decreciente $Hg > Cd > Cu > Ni > Cr > Zn > Pb$, sin olvidar que la capacidad para absorberlos y acumularlos depende de la movilidad del metal y puede variar de una especie vegetal a otra. De este modo, mientras que el Cd, completamente móvil, tiende a acumularse en las hojas > tallo > raíces, el Pb suele quedar almacenado principalmente en las raíces de los vegetales debido a su baja movilidad (Farago, 1994). Igualmente, Ross (1994) menciona cinco principales vías de transporte y transformación de los metales pesados en el sistema suelo-planta:

- 1) Absorción, se da cuando se incorporan por vía radical, foliar y/o por los estomas
- 2) Redistribución, ocurre cuando se transportan por el xilema y floema
- 3) Metabolismo, se da por la biosíntesis de los mismos
- 4) Excreción, se presenta con el decaimiento de la raíz
- 5) Reciclaje, ocurre mediante procesos de descomposición y movilización de los metales, cuando la planta muere.

Asimismo, como se muestra en la Figura 5, en las plantas superiores los metales pesados disponibles en el suelo pueden ser incorporados mediante dos mecanismos: a) un transporte activo, en el que la planta necesita invertir gran cantidad de energía, puesto que este fenómeno representa un gran trabajo por ir contra las leyes osmóticas, para que los iones metálicos sean transportados desde la solución del suelo hasta la membrana plasmática de las células radicales y, b) un transporte pasivo, en el que la planta no necesita invertir energía para poder absorber estos iones, ya que se incorporan fácilmente por el mismo fenómeno. Ambos mecanismos dependen tanto de la valencia, tamaño y tipo de ion, como de las condiciones del suelo, principalmente pH, que permiten que los metales se encuentren disponibles en sus diferentes formas (hidróxidos, fosfatos, carbonatos, etc). De esta manera, los iones positivos (cationes) son fácilmente absorbidos por las plantas de manera pasiva, mientras que los iones negativos (aniones) se incorporan por absorción activa.

Del mismo modo, Barcelo y Poschenrieder (1989) encontraron que los metales pesados en ocasiones interactúan de manera sinérgica causando severos trastornos en los vegetales. Así, pueden inhibir la fotosíntesis y respiración de las plantas, alterar su absorción de agua causando marchitamiento, aumentar la permeabilidad de la membrana celular de la raíz disminuyendo la selectividad de iones y producir efectos adversos en la actividad de enzimas metabólicas (Ross, 1994). También, provocan severos daños sobre las partes aéreas de las mismas, lesionan la protección lipídica de las superficies foliares, estimulan la clorosis y necrosis en las hojas, alteran el metabolismo celular y el intercambio de gases con el exterior por modificación de las propiedades de los estomas y de la cutícula (Fergusson, 1991; Sallenave y Fomin, 1997).

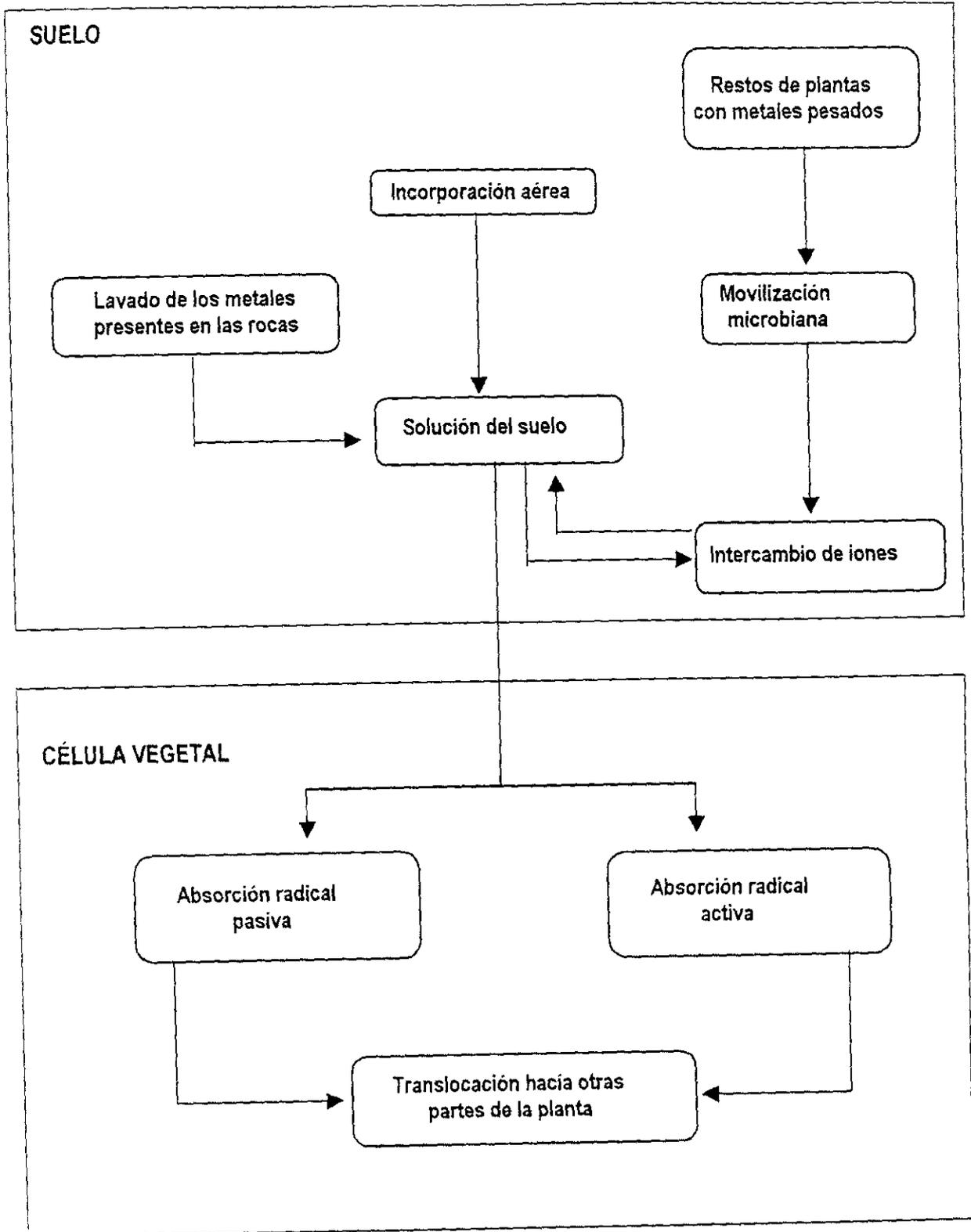


Fig. 5. Procesos que contribuyen con la biodisponibilidad e incorporación de metales hacia las plantas (Ross, 1994)

Por otra lado, Tong y Wong (1984) encontraron que el crecimiento de la vegetación, en áreas contaminadas con la infiltración de lixiviados generados en los rellenos sanitarios es pobre, debido a que la presencia de altas concentraciones de Pb, Zn, Cu y Mn inhiben la germinación de las semillas y la elongación de las raíces de la planta. Igualmente, Davis (1989) encontró que los suelos que presentan altas concentraciones de plomo inhiben la absorción de nutrimentos por parte de las plantas, produciendo un lento desarrollo de las mismas, además de que la presencia de Cd y Pb ocasionan cambios en la permeabilidad de la membrana celular, inhiben ciertas enzimas que afectan los procesos de respiración, fotosíntesis y transpiración e inhiben la apertura de los estomas, mientras que altas concentraciones de Cu y Zn (mayores a 500 ppm) desestabilizan la membrana celular e inhiben la actividad cloroplástica (Farago, 1994; Moorey y Lieth, 1990; Tirado, 1985). De la misma manera, Ederra (1996) menciona que en algunos sustratos, la proliferación de hongos se debe a la presencia de elevadas concentraciones de metales pesados, por lo que estos organismos suelen utilizarse como bioindicadores de ambientes impactados por estos contaminantes.

En base a lo mencionado anteriormente y dado que los sitios de disposición final son ambientes desfavorables para el desarrollo de las plantas, se ha estudiado la influencia que tiene el biogás en varias especies arbóreas observando que el *Gingko biloba* y el género *Acacia* tienen gran tolerancia a este compuesto (Gilman, *et al.*, 1981). Además, debido a que en el sustrato de áreas impactadas hay bajas cantidades de nitrógeno, se ha propuesto la introducción de leguminosas, que al establecer simbiosis con bacterias fijadoras de este elemento, pueden adaptarse más fácilmente en estos ambientes, en comparación con otras plantas (Zhang, *et al.*, 1995).

III. BIOLOGÍA DE LA ESPECIE EN ESTUDIO

Senna didymobotrya (L. Bailey) Irwin & Barneby

La especie utilizada para este trabajo fue identificada como *Cassia naerobensis* L. Bailey en el Herbario-FEZA, pero de acuerdo a la bibliografía consultada este género fue transformado a *Senna* por Miller (Lock, 1988, citado por Lock, 1989) y la especie se cambió a *Senna didymobotrya* (L. Bailey) Irwin & Barneby (Irwin y Barneby, 1982, citado por Lock, 1989). A continuación se menciona la clasificación sistemática de *S. didymobotrya* (L. Bailey) Irwin & Barneby (Lock, 1989; Weberling y Schwantes, 1987) y algunas características taxonómicas de la misma:

Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Subdivisión	Angiospermae
Clase	Magnoliopsida
Orden	Rosales
Familia	Leguminosae
Subfamilia	Caesalpinioideae
Género	<i>Senna</i>
Especie	<i>Senna didymobotrya</i>

El género *Senna* está constituido por plantas arbustivas o arbóreas, perennes pertenecientes a la familia de las leguminosas, que llegan a medir aproximadamente tres metros de altura. Sus raíces son muy fibrosas, profundas y están provistas de numerosas nudosidades debidas a la simbiosis que establecen con bacterias del género *Rhizobium*, que también se pueden asociar con micorrizas para hacer más eficiente la fijación de nitrógeno y bióxido de carbono. Tienen tallos con hojas alternas, opuestas y estipuladas; flores racimosas de color amarillo, con cáliz de cinco sépalos imbricados y androceo con estambres libres, que suelen florecer en los meses de julio a agosto (Sánchez, 1980; Rzedowski, 1979).

Asimismo, de acuerdo a Bailey (1991) *S. didymobotrya* posee como fruto una vaina plana y bivalvada cuyas semillas son de forma comprimida y subcilíndrica, y están dispuestas transversalmente en el fruto. Esta planta es nativa del Continente Africano, razón por la cual se tiene poca información sobre ella, sin embargo, gracias al clima seco que predomina en su lugar de origen fácilmente se adapta a condiciones de poca humedad siendo capaz de resistir altas temperaturas. Su distribución es muy amplia, por lo que se le puede encontrar en África, Australia y Norte América. El nombre común de esta especie es "Retama de Fuego", y tiene varios usos medicinales, ornamentales y forrajeros (Lock, 1989).

IV. JUSTIFICACIÓN

Los sitios de disposición final causan muchos problemas de contaminación en el aire, agua, suelo y organismos, lo cual hace necesario tener un conocimiento detallado sobre el saneamiento de este tipo de zonas. Por esta razón, resulta importante caracterizar el sustrato desde el punto de vista físico y químico, de tal forma que se puedan analizar sus diferentes parámetros, que son sumamente importantes para el establecimiento de los vegetales, además de cuantificar las modificaciones que ha sufrido el mismo al estar expuesto a múltiples contaminantes y los posibles efectos que tienen estos sobre la fauna y flora del sitio.

Por otra parte, actualmente la vegetación del Parque Recreativo Cuitláhuac consiste en su mayoría de *Eucalyptus camaldulensis*, *E. globulus* y *Casuarinas spp.*, que no son muy recomendables para este sitio ya que los *Eucalyptus spp* son plantas alelopáticas que impiden el establecimiento de otras especies vegetales, tienen raíces superficiales con poco anclaje que además de levantar fácilmente el sustrato representan un gran riesgo para la población que asiste a estos lugares. Aunado a esto, gran parte de la población vegetal ha disminuido debido a la deficiencia de nutrientes y toxicidad de contaminantes presentes en el sitio, de tal manera que la mayoría de los individuos presentan troncos muy delgados además de que las raíces y hojas están muy dañadas debido al continuo ataque del biogás que se genera haciéndolas más susceptibles a las enfermedades y al *stress* hídrico.

De igual forma, hay que señalar que debido a que el sustrato del Parque Recreativo Cuitláhuac es pobre en nitrógeno y la presencia de metales pesados es alta (Galván, *et al.*, 1995), el establecimiento de otras especies vegetales se ve limitado. Por tal motivo, es muy importante introducir plantas resistentes a las condiciones adversas que se manifiestan en los sitios de disposición final, las cuales evitaren la pérdida de sustrato y dispersión de contaminantes, proporcionaran un microhabitat adecuado para la existencia de otras especies animales y vegetales y, además, incrementaran la estética del lugar.

Para recuperar la cubierta vegetal del Parque Recreativo Cuitláhuac se ha propuesto como alternativa introducir organismos de la leguminosa *Senna didymobotrya*, obtenidos a partir de semillas provenientes de individuos establecidos en ambientes impactados, por lo que tiene mayor probabilidad, en comparación con otras plantas, de establecerse en el sitio, ya que además es capaz de resistir elevadas temperaturas y déficit de humedad.

Además, es importante mencionar que hasta el momento existen pocos estudios sobre la recuperación de la cubierta vegetal, de tal manera que la información que de este trabajo emane servirá para ayudar a interpretar futuros estudios cuyo objetivo sea reducir el costo en manejo y mantenimiento de áreas destinadas para la disposición de residuos sólidos post-clausura.

V. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

1) LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA

Como se observa en el Plano 1, el ex-tiradero de Santa Cruz Meyehualco, actualmente llamado Parque Recreativo Cuicláhuac, está localizado en la ciudad de México, al Sureste de la Zona Metropolitana del Distrito Federal, dentro del perímetro de la Delegación Iztapalapa, entre los paralelos 19°22'00" latitud Norte y los meridianos 99°02'00" longitud Oeste. Esta zona colinda al Norte con terreno de propiedad Federal, al Sur con la Unidad Habitacional Sta. Cruz Meyehualco, al Oriente con la avenida Guelatao de la colonia Santa María Aztahuacán y por el Poniente con la calle Carlos L. Grácidias de la Unidad Habitacional Vicente Guerrero. Se encuentra a una altitud de 2240 msnm y su extensión territorial actual es de 1,481,188 m² (INEGI, 1999).

2) TOPOGRAFÍA E HIDROLOGÍA

El área donde se encuentra ubicado el Parque Recreativo Cuicláhuac, presenta topofórmulas de llanuras lacustres con suelos del Cuaternario. Respecto a su hidrología, esta zona se ha considerado como una fuente importante de abastecimiento de agua subterránea debido a que por esta pasa una corriente subterránea proveniente del sistema de Sta. Catarina, pero en la parte superior del sitio predominan los depósitos lacustres (CETENAL, 1978; INEGI, 1999).

3) EDAFOLOGÍA Y GEOLOGÍA

De acuerdo al sistema de clasificación FAO/UNESCO, el tipo de suelo natural predominante es Regosol Eútrico, con suelos secundarios tipo Feozems. Por consiguiente, son en general suelos con altas concentraciones de sales y alto contenido de arcilla. Asimismo, este presenta rocas ígneas extrusivas pertenecientes al período Terciario de la Era Cenozoica (Estadísticas del Medio Ambiente, 1998).

4) CONDICIONES CLIMÁTICAS

El clima predominante es templado subhúmedo, con lluvia en verano, donde la temperatura media anual varía entre los 12°C y 18°C. El período de lluvia se inicia con escasas precipitaciones durante el mes de abril, incrementándose en los meses de mayo, junio y julio, siendo los meses más lluviosos agosto, septiembre y octubre, disminuyendo la precipitación durante el resto del año. Así, la precipitación media anual es de 403.8 mm en los meses más secos y de 864.8 mm en los meses más lluviosos (INEGI, 1998).

5) CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL EX-TIRADERO DE STA. CRUZ MEYEHUALCO

5.1. PERÍODO DE VIDA ÚTIL

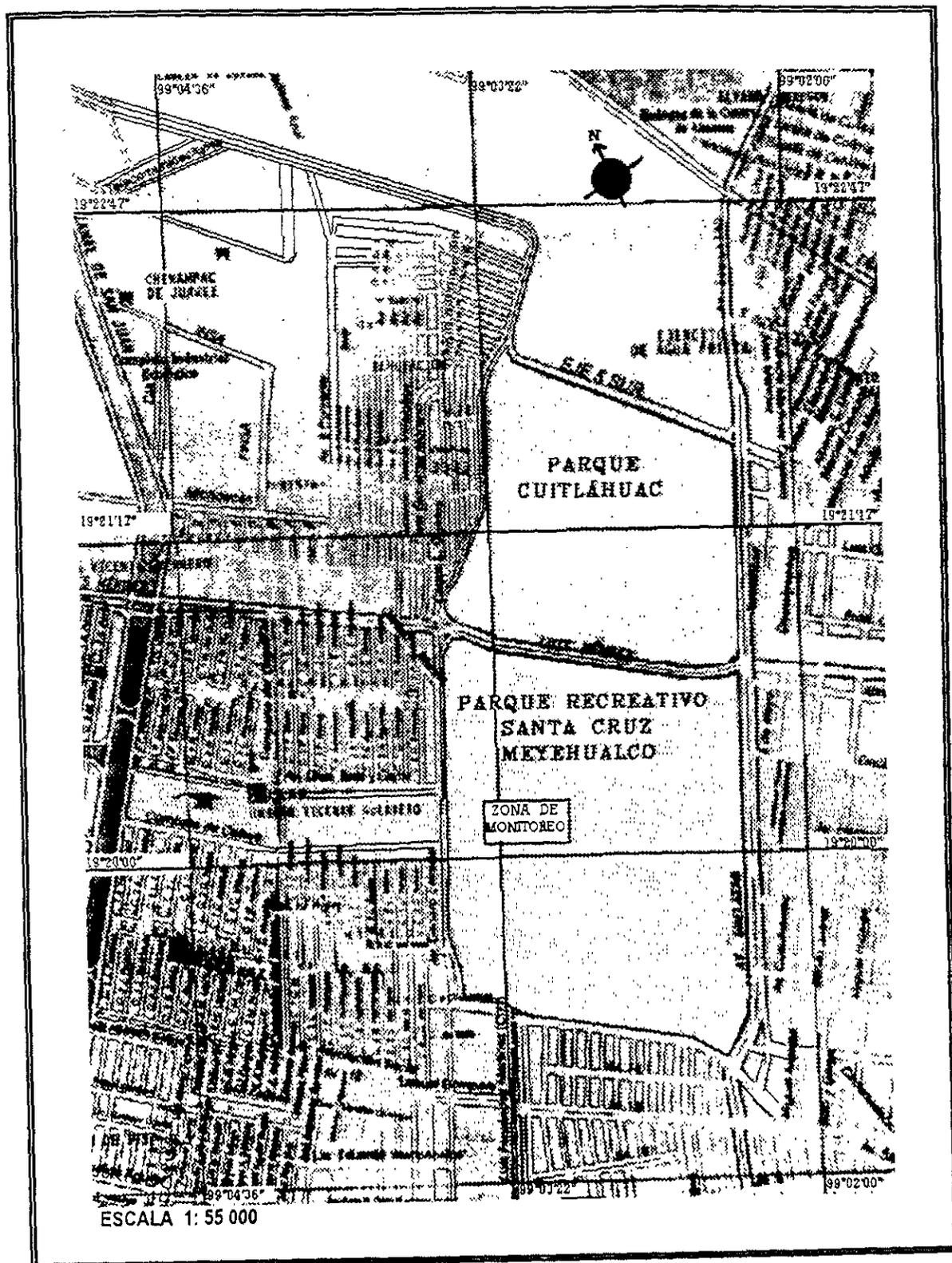
Mientras estuvo en funcionamiento el ex-tiradero de Sta. Cruz Meyehualco recibía alrededor de 6,400 toneladas de desechos sólidos al día, los cuales eran separados dentro del sitio por cerca de 800 familias de pepenadores. Tuvo un período de vida útil de casi 35 años, tiempo durante el cual ocupó una extensión mayor a 148 hectáreas en la que fueron depositadas un total de 44,712,500 toneladas de basura.

5.2. CLAUSURA

El 15 de noviembre de 1982, inicia la clausura definitiva de este tiradero y concluye en junio de 1986. Para esto se utilizaron 769,600 m³, de material para cobertura proveniente de excavaciones y zonas de construcción (ladrillos, arena, grava, etc). Una vez concluida su clausura, se propuso establecer una extensa zona verde con fines recreativos, convirtiéndose en lo que hoy se conoce como Parque Cuicláhuac.

El parque se encuentra conformado por dos secciones, la parte Norte comprende numerosos módulos de convivencia familiar, locales para concesiones, oficinas administrativas, almacenes para jardinería, zonas para acondicionamiento físico, sanitarios y estacionamiento. La parte Sur es una zona deportiva que cuenta con canchas, acondicionadas para practicar diferentes actividades, sanitarios y un estacionamiento.

Sin tener en cuenta el tipo de sustrato con el que se contaba, en el reciente parque se consideró la plantación de especies de rápido crecimiento, optando por introducir en su gran mayoría *Eucaliptos spp*, *Casuarinas* y *Álamos*, vegetación arbórea que aún persiste. Sin embargo, la elevada cantidad de contaminantes presentes en el sitio provocaron severos efectos en estas especies, por lo que tiempo después se introdujeron organismos del género *Acacia* cuya respuesta de adaptación ha sido más satisfactoria. Por lo tanto, el estrato herbáceo está constituido principalmente por gramíneas y plantas ruderales como la Malva, debido a que son las únicas que han podido sobrevivir bajo condiciones tan adversas (González y Jiménez, 1999).



Plano 1. Ubicación geográfica del ex-tiradero de Santa Cruz Meyehualco (Guía Roji, 1994)

VI. HIPÓTESIS

Dado que *Senna didymobotrya*, es una planta originaria de climas secos y las semillas con las que se trabaja, provienen de individuos que han crecido en zonas impactadas, se puede inferir que las plantas obtenidas e introducidas, tendrán más posibilidades de establecerse bajo las condiciones adversas que se presentan en los sitios de disposición final post-clausura

VII. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la capacidad de *Senna didymobotrya* para establecerse en sitios de disposición final post-clausura.

VIII. OBJETIVOS PARTICULARES

Establecer la técnica más adecuada para elevar el porcentaje de germinación de las semillas de *S. didymobotrya*, e incrementar el número de individuos

Evaluar el efecto que tiene la temperatura, sobre la germinación de *S. didymobotrya*, en el intervalo de 4°C a 55°C

Evaluar el efecto que tienen los metales pesados (Cd, Cr, Fe, Ni, Pb y Zn), sobre la germinación de *S. didymobotrya*

Cuantificar la absorción de metales pesados (Cd, Cr, Fe, Pb y Zn), por los embriones de *S. didymobotrya* durante su germinación

Observar el desarrollo, bajo condiciones de invernadero, de las plantas de *S. didymobotrya* obtenidas a partir de semillas germinadas con varios tratamientos (escaldado, escarificado mecánico, con lima, ácido giberélico y metales pesados) a diferentes temperaturas

Caracterizar física y químicamente el sustrato en el que se desarrolla la vegetación

Comparar la respuesta de *S. didymobotrya* para establecerse, en los diferentes puntos de monitoreo en el sitio de disposición final

VI. HIPÓTESIS

Dado que *Senna didymobotrya*, es una planta originaria de climas secos y las semillas con las que se trabaja, provienen de individuos que han crecido en zonas impactadas, se puede inferir que las plantas obtenidas e introducidas, tendrán más posibilidades de establecerse bajo las condiciones adversas que se presentan en los sitios de disposición final post-clausura

VII. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la capacidad de *Senna didymobotrya* para establecerse en sitios de disposición final post-clausura.

VIII. OBJETIVOS PARTICULARES

Establecer la técnica más adecuada para elevar el porcentaje de germinación de las semillas de *S. didymobotrya*, e incrementar el número de individuos

Evaluar el efecto que tiene la temperatura, sobre la germinación de *S. didymobotrya*, en el intervalo de 4°C a 55°C

Evaluar el efecto que tienen los metales pesados (Cd, Cr, Fe, Ni, Pb y Zn), sobre la germinación de *S. didymobotrya*

Cuantificar la absorción de metales pesados (Cd, Cr, Fe, Pb y Zn), por los embriones de *S. didymobotrya* durante su germinación

Observar el desarrollo, bajo condiciones de invernadero, de las plantas de *S. didymobotrya* obtenidas a partir de semillas germinadas con varios tratamientos (escaldado, escarificado mecánico, con lima, ácido giberélico y metales pesados) a diferentes temperaturas

Caracterizar física y químicamente el sustrato en el que se desarrolla la vegetación

Comparar la respuesta de *S. didymobotrya* para establecerse, en los diferentes puntos de monitoreo en el sitio de disposición final

VI. HIPÓTESIS

Dado que *Senna didymobotrya*, es una planta originaria de climas secos y las semillas con las que se trabaja, provienen de individuos que han crecido en zonas impactadas, se puede inferir que las plantas obtenidas e introducidas, tendrán más posibilidades de establecerse bajo las condiciones adversas que se presentan en los sitios de disposición final post-clausura

VII. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la capacidad de *Senna didymobotrya* para establecerse en sitios de disposición final post-clausura.

VIII. OBJETIVOS PARTICULARES

Establecer la técnica más adecuada para elevar el porcentaje de germinación de las semillas de *S. didymobotrya*, e incrementar el número de individuos

Evaluar el efecto que tiene la temperatura, sobre la germinación de *S. didymobotrya*, en el intervalo de 4°C a 55°C

Evaluar el efecto que tienen los metales pesados (Cd, Cr, Fe, Ni, Pb y Zn), sobre la germinación de *S. didymobotrya*

Quantificar la absorción de metales pesados (Cd, Cr, Fe, Pb y Zn), por los embriones de *S. didymobotrya* durante su germinación

Observar el desarrollo, bajo condiciones de invernadero, de las plantas de *S. didymobotrya* obtenidas a partir de semillas germinadas con varios tratamientos (escaldado, escarificado mecánico, con lima, ácido giberélico y metales pesados) a diferentes temperaturas

Caracterizar física y químicamente el sustrato en el que se desarrolla la vegetación

Comparar la respuesta de *S. didymobotrya* para establecerse, en los diferentes puntos de monitoreo en el sitio de disposición final

IX. DISEÑO EXPERIMENTAL

El presente trabajo, se realizó durante el periodo de septiembre de 1998 a julio de 1999 y, estuvo constituido por las siguientes cuatro fases:

1) La fase de gabinete, consistió en la búsqueda y recopilación de información bibliográfica a través de diferentes fuentes: consulta por base de datos (*Life Sciences Collection*, de 1980 a 1998) y recuperación de los artículos en diferentes bibliotecas y hemerotecas, consulta por Internet, y visitas a mapotecas y centros de información estadística.

Una vez obtenidos los resultados, se llevó a cabo un Análisis Estadístico de Varianza (ANAVA) por bloques (Johnson, 1990; Infante y Lara, 1997) o Prueba de Fisher, con un nivel de significancia $\alpha = 0.05$, para evaluar el efecto de la temperatura y de los metales pesados, sobre la germinación y establecimiento de los organismos de *Senna didymobotrya*.

2) En la fase de campo, se hizo el reconocimiento de la zona de estudio, selección del área destinada para el trasplante de los individuos de *S. didymobotrya* y, muestreo del sustrato de todos los puntos donde se introdujeron los mismos, el cual fue almacenado en bolsas de polipropileno para trasladarse al laboratorio y efectuar su posterior análisis.

Cuando las plántulas de *S. didymobotrya*, obtenidas en el invernadero, llegaron a una talla mayor de 30 cm se seleccionaron aquellas que contaban con buen vigor, para ser introducidas en el parque recreativo Cuicláhuac, haciendo observaciones diarias de su desarrollo y características morfológicas (diámetro de tallo, cobertura, talla y floración) para así poder evaluar la capacidad que tiene la especie a establecerse en ambientes impactados.

3) En la fase de laboratorio se realizaron las siguientes determinaciones:

A) Determinación de la pureza de las semillas de *S. didymobotrya* (Hartmann y Kester, 1982)

B) Cuantificación del número de semillas por vaina y del porcentaje de semillas plagadas o enfermas (Hartmann y Kester, 1982)

C) Determinación de la viabilidad de las semillas de *S. didymobotrya* por el método de tetrazolio (Hartmann y Kester, 1982)

D) Propagación sexual de *S. didymobotrya*. Durante el proceso se hicieron observaciones diarias para registrar el porcentaje de germinación y los cambios morfológicos de las raíces (vigor, coloración y tamaño promedio)

E) Evaluación del porcentaje de germinación de *S. didymobotrya*, con diferentes tratamientos pregerminativos físicos y químicos, como escaldado, remojo en agua, hidrólisis, estratificado, escarificado mecánico y escarificado con lima (Hartmann y Kester, 1982)

F) Determinación del efecto que tienen las temperaturas psicrófilas, mesófilas y termófilas, en la germinación de las semillas de *S. didymobotrya*, dentro del intervalo de 4°C a 55°C

G) Evaluación del efecto sobre la germinación de *S. didymobotrya* de diferentes concentraciones de metales pesados (Cd, Cu, Fe, Ni, Pb y Zn) a diferentes temperaturas psicrófilas, mesófilas y termófilas (4°C a 55°C)

H) Determinación de la absorción de metales pesados (Cd, Cr, Fe, Pb y Zn) en semillas de *S. didymobotrya* por Espectrofotometría de Absorción Atómica (Beckwith, 1986; López, 1990).

I) Caracterización física y química del sustrato comercial y del Parque Recreativo Cuicuilán. Las determinaciones que se realizaron fueron las siguientes:

- Color por tablas de Munsell (Ríos, 1985)
- Conductividad eléctrica por pasta de saturación con equipo Conductronic CL8 (Chapman, 1979)
- Textura por el método de Bouyoucus (Gaucher, 1971)
- Densidad aparente y densidad real (Ríos, 1985)
- Retención de humedad (Ríos, 1985)
- Porcentaje de pedregosidad (Contín, 1984)
- Potencial de Hidrógeno por método potenciométrico relación 1:1 con equipo Conductronic pH 10 (Ríos, 1985)
- Materia orgánica por combustión seca y por vía húmeda, método Walkey-Black (Jackson, 1982; Ríos, 1985)

4) En la fase de invernadero, se realizó el trasplante, de las plantas obtenidas con los diferentes tratamientos realizados en el laboratorio, a un sustrato comercial. De igual forma, se realizó el seguimiento del crecimiento y vitalidad de los individuos de *S. didymobotrya* transplantados, haciendo observaciones diarias del grosor del tallo, tamaño de las hojas, cobertura foliar, talla y porcentaje de sobrevivencia.

X. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. ANÁLISIS GENERAL DE LAS SEMILLAS DE *S. didymobotrya*

Durante el desarrollo de este trabajo, se hicieron diferentes pruebas con las semillas de *S. didymobotrya*, cuyos resultados se resumen en la Tabla 1 y donde se observó que el 30% resultaron infestadas por gorgojos, que al alimentarse de las reservas nutritivas del embrión (cotiledones), o bien del mismo, impidieron su germinación. Para evaluar su viabilidad se tomaron las semillas no infestadas, y por el método de tetrazolio (Hartmann y Kester, 1982) se registró un valor del 100%. No obstante, es importante destacar que la testa de estas semillas resultó ser muy dura y gruesa, por lo que los embriones no germinaron bajo condiciones naturales, tal como lo reportan Salisbury y Ross (1994) para la familia Leguminosae, ya que permanecen en letargo hasta que los diferentes factores ambientales hacen más permeable su cubierta seminal y entran en contacto con el agua, activando así su proceso de germinación.

Tabla 1. Análisis general de las semillas de *Senna didymobotrya*

No. Semillas por vaina	% Pureza	% Semillas infestadas	% Viabilidad de semillas no infestadas
7	67.20	30	100

2. EVALUACIÓN DE LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS PREGERMINATIVOS Y EFECTO DE LAS TEMPERATURAS PSICRÓFILAS, MESÓFILAS Y TERMÓFILAS EN EL INTERVALO DE 4°C a 55°C SOBRE EL PROCESO DE GERMINACIÓN DE *S. didymobotrya*

Tomando en cuenta las limitaciones comentadas anteriormente y, dado que la temperatura es un parámetro físico que influye directamente sobre el proceso de germinación, se optó por someter a las semillas de *S. didymobotrya* a diversos tratamientos pregerminativos, tanto físicos como químicos (Hartmann y Kester, 1982, ver Anexo 1), en un intervalo de 4°C a 55°C registrando los resultados que se muestran en la Tabla 2 y Gráfica 1 y que se describen a continuación:

Tabla 2. Germinación de las semillas de *S. didymobotrya* con diferentes tratamientos pregerminativos y temperaturas*

Tratamiento Pregerminativo	% Germinación	Tiempo de Germinación (Días)
Control a 4.0°C	0	90
Control a 23.0°C	2	61
Control a 33.5°C	2	61
Control a 55.0°C	0	90
Escaldado a 4.0°C	0	90
Escaldado a 23.0°C	2	60
Escaldado a 33.5°	2	60
Escaldado a 55.0°C	0	90
Remojo en agua (12hrs) a 4.0°C	0	90
Remojo en agua (12hrs) a 23.0°C	0	90
Remojo en agua (12hrs) a 33.5°C	0	90
Remojo en agua (12hrs) a 55.0°C	0	90
Hidrólisis a 4.0°C	0	90
Hidrólisis a 23.0°C	0	90
Hidrólisis a 33.5°C	0	90
Hidrólisis a 55.0°C	0	90
Estratificado a 4.0°C	0	90
Estratificado a 23.0°C	0	90
Estratificado a 33.5°C	0	90
Estratificado a 55.0°C	0	90
Escarificado mecánico a 4.0°C	0	90
Escarificado mecánico a 23.0°C	14	60
Escarificado mecánico a 33.5°C	0	90
Escarificado mecánico a 55.0°C	0	90
Escarificado con lima a 4.0°C	0	90
Escarificado con lima a 23.0°C	100	6
Escarificado con Lima a 33.5°C	98	6
Escarificado con lima a 55.0°C	0	90

* Duración del experimento 90 días.

CONTROL

Debido a que estas semillas no fueron sometidas a ningún tratamiento pregerminativo, el porcentaje de germinación obtenido fue muy bajo (menor del 2%), lo que se ratifica con lo mencionado para estas semillas por Salisbury y Ross (1994). No obstante, es importante comentar que el factor temperatura también afectó la germinación de las semillas de esta especie. Como se puede observar en la Tabla 2 y Gráfica 1, a temperatura de 4°C la germinación fue nula aún después de 90 días, pero a 23°C y 33.5°C, esta fue del 2% en un periodo de 61 días, decayendo nuevamente hasta 0% a 55°C. Por otra parte, para comprender los efectos de la temperatura sobre el proceso de germinación, se observaron detenidamente las raíces de las plántulas obtenidas, encontrando que en el lote tratado a 23°C estas tuvieron buen vigor, coloraciones blancas con tonos amarillo-verdosos hacia la zona de la cofia y tamaño promedio de 2.12 cm, en tanto que las sometidas a 33.5°C mostraron menor vigor, coloraciones marrón en la zona de la cofia y tamaño promedio de 1.84 cm. Estas variaciones permiten inferir que la temperatura no solo afectó el porcentaje de germinación de las semillas, sino que también provocó cambios en las mismas a nivel fisiológico, alterándolas morfológicamente.

ESCALDADO

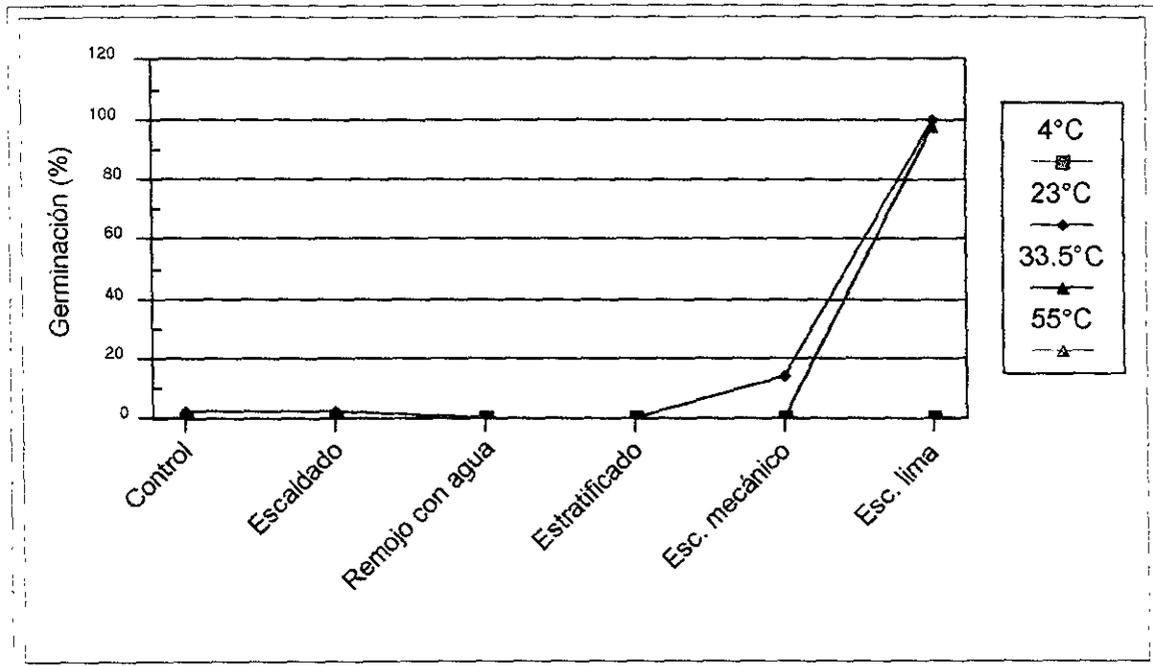
Como se observa en la Tabla 2 y Gráfica 1, las semillas que fueron escaldadas y sometidas a temperatura de 4°C, no lograron germinar aún después de 90 días, pero a 23°C y 33°C la germinación fue del 2% en un tiempo promedio de 60 días, decayendo nuevamente a 0% a 55°C, lo que ratifica el efecto de este parámetro sobre la germinación de *S. didymobotrya*. De igual forma, como se muestra en el Anexo 2, las raíces obtenidas, tanto a 23°C como a 33°C, fueron morfológicamente similares a su respectivo testigo en cuanto a vigor, coloración y tamaño, lo cual confirma nuevamente el efecto negativo de la temperatura.

REMOJO EN AGUA, HIDRÓLISIS Y ESTRATIFICACIÓN

En los diferentes lotes sometidos a estos tratamientos pregerminativos, el porcentaje de germinación fue de cero, independientemente de la temperatura, debido principalmente a que en el remojo con agua y en la estratificación, la testa de las semillas no se logró ablandar lo suficiente como para que se disparara el proceso de germinación, mientras que en la hidrólisis la dregadación de la cubierta seminal por parte del ácido sulfúrico fue tan severa que en la mayoría de los casos el embrión moría.

ESCARIFICADO MECÁNICO Y ESCARIFICADO CON LIMA

A pesar de que ambos tratamientos tuvieron la finalidad de hacer más permeable la testa de las semillas, se diferenciaron uno del otro en que en el primero el adelgazamiento de la cubierta fue mínimo pero de manera homogénea, mientras que en el segundo, al hacerse manualmente, el desgaste fue mayor permitiendo que el embrión entrara en contacto con el agua más fácilmente. Como se muestra en la Tabla 1 y Gráfica 2, la acción de cada técnica se vio reflejada en los resultados obtenidos, ya que en el escarificado mecánico se registró el 14% de germinación en 60 días a 23°C, en tanto que el escarificado con lima logró el 100% en solo 6 días, reduciéndose con este último tratamiento la emergencia de la raíz hasta un 98%, comparado con el control a la misma temperatura. Asimismo, la temperatura representó una limitante para la germinación, dado que a 4°C y 55°C esta se inhibió completamente, sin embargo a 33.5°C se observó que en el primer tratamiento no hubo germinación y en el segundo esta fue del 98%. Igualmente, como se observa en el Anexo 2, el factor temperatura provocó severos daños en las raíces de ambos tratamientos, ya que los lotes sometidos a 23°C y 33.5°C mostraron raíces con características similares a su respectivo testigo.



Gráfica 1. Acción de los diferentes tratamientos pregerminativos y de la temperatura sobre la germinación de *S. didymobotrya*

Analizando estos resultados, se observó que el tratamiento pregerminativo con el que se logró adelgazar la cubierta seminal lo suficiente, como para elevar al máximo el porcentaje de germinación fue el escarificado con lima, el cual representó al testigo en los siguientes tratamientos. De igual forma, las semillas escarificadas con lima fueron tratadas con ácido giberélico a diferentes concentraciones (1.0-10.0 ppm) con el objetivo de acelerar la germinación de las mismas, como lo menciona Hill (1984), obteniendo los resultados que se resumen en la Tabla 3 y, que se describen a continuación:

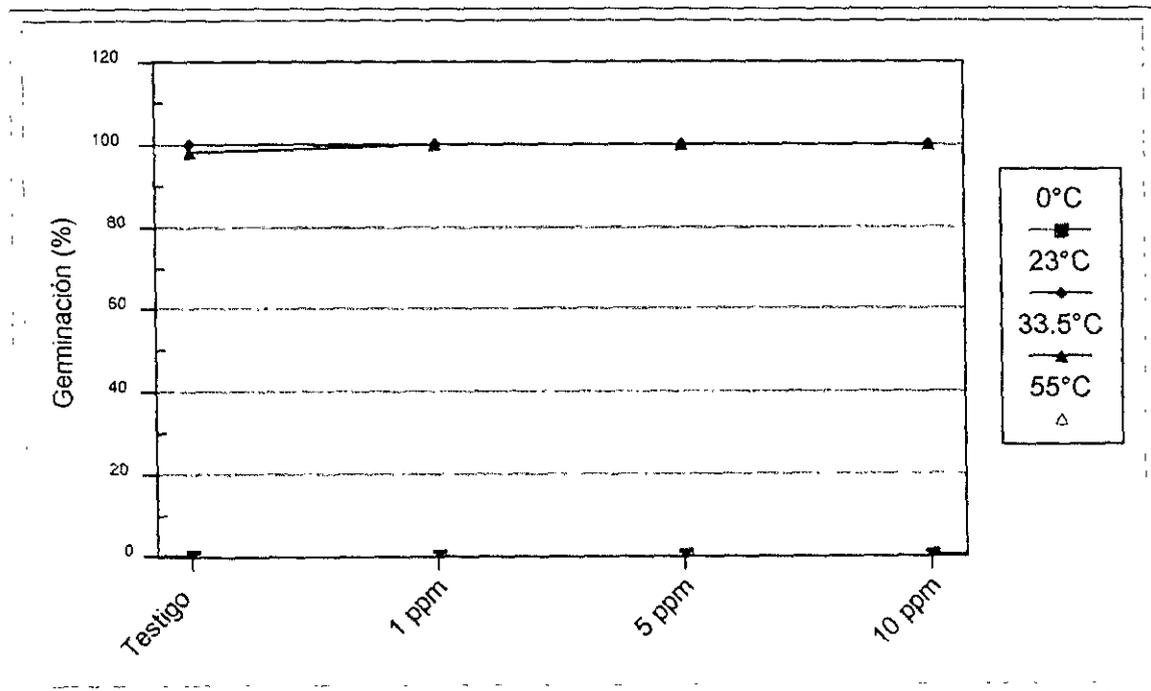
ÁCIDO GIBERÉLICO

Como se observa en la Tabla 3 y Gráfica 2, en las semillas tratadas con 1, 5 y 10 ppm de ácido giberélico el porcentaje de germinación varió con respecto a la temperatura, al igual que los casos anteriores. Así, bajo condiciones extremas de 4°C y 55°C esta fue del 0%, pero a temperaturas mesófilas de 23°C y 33.5°C (Sutcliffe, 1979) logró ser del 100%, para ambos casos. Es importante destacar que las semillas sometidas a 23°C, indistintamente de la concentración, redujeron su tiempo de germinación hasta un 50%, en tanto que las tratadas a 33.5°C solo lo hicieron en un 17%, comparadas con el testigo, aunque a esta temperatura se alcanzó el 100% de germinación, lo que permite inferir que la acción del ácido giberélico, superó el efecto que tuvo la temperatura de 33.5°C sobre el proceso de germinación en los otros experimentos. No obstante, como se puede observar en el Anexo 2, al analizar las raíces de estos lotes, se encontró que aquellos que fueron tratados con 1, 5 y 10 ppm de ácido giberélico a 23°C, mostraron características similares al respectivo testigo, en cuanto a vigor y color, sin embargo, su elongación se incrementó en un 24%, en tanto que las raíces de los lotes sometidos a las mismas concentraciones pero a 33.5°C, fueron morfológicamente parecidas al respectivo testigo, con un incremento del 12% en la elongación. Esto refleja que el daño a nivel fisiológico, por efecto de la temperatura persiste en todos los tratamientos, aun cuando no se ve seriamente afectado el porcentaje de germinación de las semillas.

Tabla 3. Germinación de las semillas de *S. didymobotrya* tratadas con Ácido Giberélico a diferentes temperaturas*

Tratamiento Pregerminativo	% Germinación	Tiempo de Germinación (Días)
Testigo a 4°C	0	90
Testigo a 23°C	100	6
Testigo a 33.5°C	98	6
Testigo a 55°C	0	90
1 ppm a 4.0°C	0	90
1 ppm a 23.0°C	100	3
1 ppm a 33.5°C	100	5
1 ppm a 55.0°C	0	90
5 ppm a 4.0°C	0	90
5 ppm a 23.0°C	100	3
5 ppm a 33.5°C	100	5
5 ppm a 55.0°C	0	90
10 ppm a 4.0°C	0	90
10 ppm a 23.0°C	100	3
10 ppm a 33.5°C	100	5
10 ppm a 55.0°C	0	90

* Duración del experimento 90 días.



Gráfica 2. Acción del ácido giberélico y de la temperatura sobre el proceso de germinación de *S. didymobotrya*

De esta manera, resumiendo lo mencionado anteriormente, se encontró que las semillas de *S. didymobotrya* tuvieron mayor porcentaje de germinación en el intervalo de temperaturas mesófilas, siendo más óptima la de 23°C, donde se obtuvo el 100% de germinación. Asimismo, se observó que el descenso o incremento de la temperatura fuera de este intervalo, alteró seriamente la capacidad germinativa de las mismas, tal y como mencionan que sucede cuando se sobrepasan los 40°C Bewley y Black (1994). Por consiguiente, se registró que a temperaturas de 4°C y 55°C, hubo una reducción en la germinación hasta del 100%. Igualmente, cabe mencionar, que aunque a 4°C las semillas no manifestaron daños visibles en la cubierta seminal, cuando fueron sometidas a temperatura de 55°C, éstas mostraron severos síntomas de desnaturalización de proteínas, lo que se corrobora con lo reportado por Jones (1992), Patterson y Graham (1987). Es importante subrayar, que el efecto de la temperatura sobre el proceso de germinación, se corroboró mediante un Análisis Estadístico de Varianza (ANAVA), donde se encontró que realmente este parámetro influyó significativamente ($P \leq 0.05$) en la germinación de estas semillas.

Por otra parte, el análisis de los resultados obtenidos en los lotes tratados con ácido giberélico, muestran que la utilización de esta hormona no es muy recomendable, ya que aunque aceleró la germinación de las semillas hasta en un 50%, ésta se mantuvo constante al 100%, debido a que el problema de latencia se vio resuelto con el tratamiento de escarificado con lima, por lo que su uso sólo incrementa el costo del experimento y, provoca daños considerables en el desarrollo de los organismos tratados con la misma, como se podrá ver más adelante.

3. EFECTO DE LOS METALES PESADOS (Cd, Cr, Fe, Ni, Pb y Zn) Y TEMPERATURAS MESÓFILAS (23°C y 33.5°C) SOBRE EL PROCESO DE GERMINACIÓN DE *S. didymobotrya*

Una vez establecida la técnica más adecuada, para elevar el porcentaje de germinación de las semillas de *S. didymobotrya*, los lotes escarificados con lima fueron sometidos a diferentes concentraciones de metales pesados (0.5-500 ppm, dependiendo del metal) y, temperaturas mesófilas con el fin de evaluar el efecto de estos parámetros, sobre el proceso de germinación de esta especie. Cabe aclarar, que sólo se utilizaron las temperaturas de 23°C y 33.5°C, debido a que bajo condiciones psicrófilas de 4°C y termófilas de 55°C (Sutcliffe, 1979), éstas semillas no lograron germinar. Los resultados obtenidos se resumen en la Tabla 4 y, describen el efecto individual de estos metales y de la temperatura sobre la germinación de *S. didymobotrya*:

Tabla 4. Germinación de las semillas de *S. didymobotrya* tratadas con soluciones de metales pesados a temperaturas mesófilas

Tratamiento	% Germinación	% inhibición, con respecto al testigo	Tiempo de Germinación (Días)
Testigo a 23.0°C	100	0	6
Testigo a 33.5°C	98	2.0	6
Cd (0.5ppm) a 23.0°C	95	5.0	6
Cd (0.5ppm) a 33.5°C	75	22.5	6
Cd (1ppm) a 23.0°C	85	15.0	6
Cd (1ppm) a 33.5°C	75	28.5	6
Cd (5ppm) a 23.0°C	95	5.0	6
Cd (5ppm) a 33.5°C	60	38.5	6
Cd (10ppm) a 23.0°C	85	15.0	6
Cd (10ppm) a 33.5°C	80	18.0	6
Cr (5ppm) a 23.0°C	95	5.0	6
Cr (5ppm) a 33.5°C	5	95.0	6
Cr (20ppm) a 23.0°C	100	0	6
Cr (20ppm) a 33.5°C	15	83.5	6
Cr (50ppm) a 23.0°C	100	0	6
Cr (50ppm) a 33.5°C	0	100.0	6
Cr (100ppm) a 23.0°C	100	0	6
Cr (100ppm) a 33.5°C	10	89.5	6
Cr (200ppm) a 23.0°C	100	0	6
Cr (200ppm) a 33.5°C	0	100.0	6
Fe (10ppm) a 23.0°C	100	0	6
Fe (10ppm) a 33.5°C	85	12.0	6
Fe (50ppm) a 23.0°C	100	0	6
Fe (50ppm) a 33.5°C	85	12.0	6
Fe (100ppm) a 23.0°C	90	10.0	6
Fe (100ppm) a 33.5°C	45	53.0	6
Fe (200ppm) a 23.0 C	0	100.0	6
Fe (200ppm) a 33.5°C	0	100.0	6
Fe (500ppm) a 23.0°C	0	100.0	6
Fe (500ppm) a 33.5°C	0	100.0	6

Germinación de las semillas de *S. didymobotrya* tratadas con soluciones de metales pesados a temperaturas mesófilas (Continuación)

Tratamiento	% Germinación	% inhibición, con respecto al testigo	Tiempo de Germinación (Días)
Ni (10ppm) a 23.0°C	100	0	6
Ni (10ppm) a 33.5°C	25	73.5	6
Ni (20ppm) a 23.0°C	100	0	6
Ni (20ppm) a 33.5°C	30	69.0	6
Ni (40ppm) a 23.0°C	100	0	6
Ni (40ppm) a 33.5°C	40	59.0	6
Ni (100ppm) a 23.0°C	90	10.0	6
Ni (100ppm) a 33.5°C	70	28.5	6
Pb (5ppm) a 23.0°C	90	10.0	6
Pb (5ppm) a 33.5°C	40	59.0	6
Pb (20ppm) a 23.0°C	100	0	6
Pb (20ppm) a 33.5°C	55	43.0	6
Pb (50ppm) a 23.0°C	100	0	6
Pb (50ppm) a 33.5°C	55	43.0	6
Pb (100ppm) a 23.0°C	100	0	6
Pb (100ppm) a 33.5°C	60	38.5	6
Pb (200ppm) a 23.0°C	95	5.0	6
Pb (200ppm) a 33.5°C	70	28.5	6
Zn (10ppm) a 23.0°C	95	5.0	6
Zn (10ppm) a 33.5°C	45	53.0	6
Zn (50ppm) a 23.0°C	95	5.0	6
Zn (50ppm) a 33.5°C	40	59.0	6
Zn (100ppm) a 23.0°C	100	0	6
Zn (100ppm) a 33.5°C	5	95.0	6
Zn (200ppm) a 23.0°C	95	5.0	6
Zn (200ppm) a 33.5°C	10	89.5	6
Zn (500ppm) a 23.0°C	95	5.0	6
Zn (500ppm) a 33.5°C	0	100.0	6

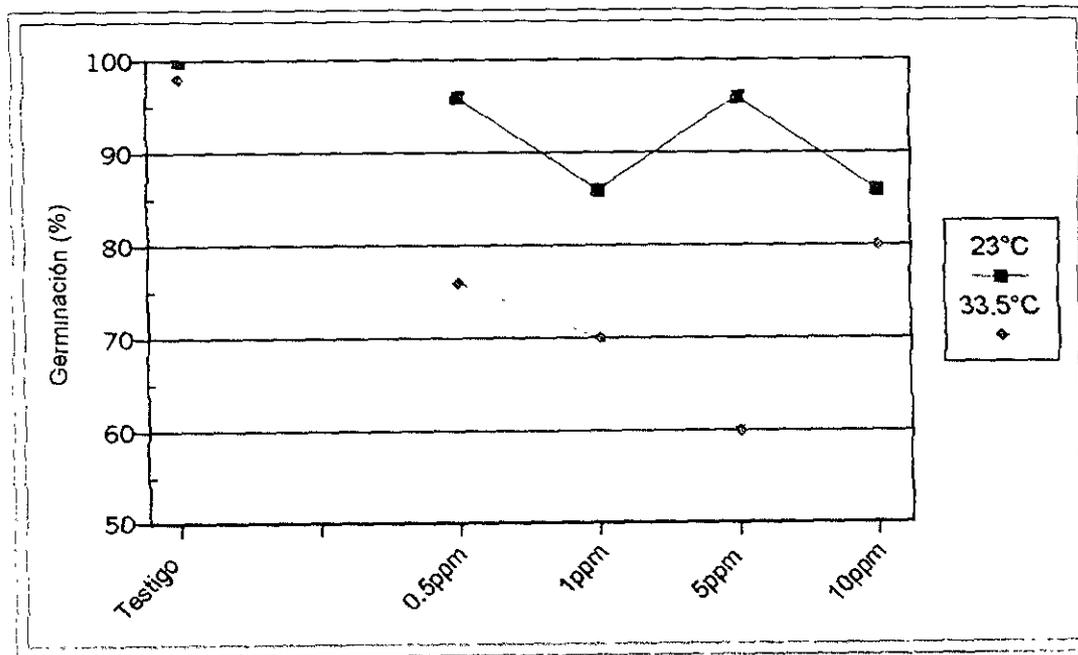
TESTIGO

Como se muestra en la Tabla 4, las semillas que no fueron tratadas con metales, llegaron al 100% de germinación en un periodo de seis días a 23°C. No obstante, al incrementarse la temperatura a 33.5°C, sólo se obtuvo el 98% de germinación en el mismo tiempo. Estos resultados reflejan el efecto que tuvo este parámetro, sobre el proceso de germinación de las semillas y, se corrobora con lo mencionado por Bewley y Black (1994). Las raíces de ambos lotes fueron diferentes, ya que las sometidas a 23°C registraron buen vigor, coloraciones blancas con tonos amarillo-verdosos hacia la zona de la cofia y, tamaño promedio de 2.12 cm, en tanto que las tratadas a 33.5°C tuvieron poco vigor, coloraciones marrón claro y tamaño promedio de 1.84 cm. De esta forma, los cambios observados a nivel de la raíz, denotan que el aumento de la temperatura causó alteraciones fisiológicas en los embriones de esta especie, como lo mencionan Jones (1992), Patterson y Graham (1987)

CADMIO

Como se resume en la Tabla 4 y Gráfica 3, las concentraciones de cadmio empleadas para este experimento a 23°C, responden al comportamiento de dosis-respuesta mencionado por Salisbury y Ross (1994), situándose en el punto donde la toxicidad empieza a manifestarse. Sin embargo, al elevarse la temperatura a 33.5°C, el nivel de toxicidad fue más severo, aunque no llegó a ser letal, dado que el máximo decaimiento en la germinación resultó ser del 60% a niveles de 5 ppm.

De igual forma, el Anexo 2, muestra que las raíces de los lotes sometidos a 23°C, fueron similares a su respectivo testigo tanto en vigor como en coloración, pero la elongación se vio reducida en un promedio del 20%. Igualmente, al aumentar la temperatura a 33.5°C, las raíces tuvieron vigor y color parecido al testigo a la misma temperatura, aunque su tamaño se redujo en promedio un 13.5%. Esto permite inferir que al elevarse la temperatura, incrementa el efecto del metal sobre el proceso de germinación de las semillas de esta especie, provocando además daños fisiológicos en los embriones, inhibiendo su germinación y alterando las características morfológicas de las raíces, lo cual se corrobora con lo mencionado por Bewley y Black (1994), Jones (1992), Patterson y Graham (1987).

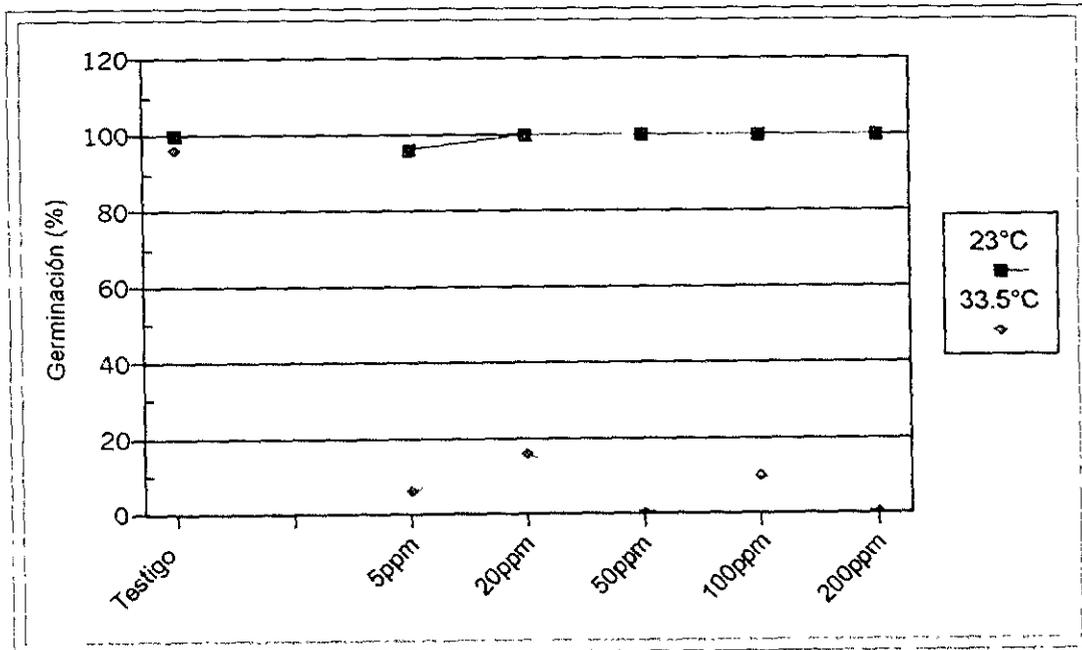


Gráfica 3. Efecto del Cadmio sobre el proceso de germinación de *S. didymobotrya*

CROMO

Como se muestra en la Tabla 4 y Gráfica 4, para este metal no esencial (Markert, 1993), se encontró que a temperatura de 23°C la germinación se mantuvo en el umbral óptimo de tolerancia, con el 100% de semillas germinadas, de acuerdo a Salisbury y Ross (1994). No obstante, a 33.5°C el efecto del cromo alcanzó los niveles de toxicidad letal para las semillas de esta especie, ya que a concentraciones de 50 y 200 ppm, la germinación se inhibió totalmente. Esto permite deducir, que el incremento de la temperatura, aunado a la presencia del metal, provocó alteraciones fisiológicas letales en los embriones, impidiendo su germinación, como lo mencionan Bewley y Black (1994).

Por otra parte, como se resume en el Anexo 2, las raíces de los lotes sometidos a 23°C mostraron pocos cambios en el intervalo de 5 a 200 ppm, donde el vigor y color fueron similares al testigo a la misma temperatura, sin embargo, el tamaño de los mismos tuvo una reducción en promedio del 27%. También, se observó que el incremento de la temperatura a 33.5°C, provocó que las raíces mostraran poco vigor y coloraciones marrón, que se hicieron más intensas al incrementarse las concentraciones del metal, además de que su elongación disminuyó hasta un 45%, lo que ratifica las alteraciones del metabolismo de los embriones por efecto de la temperatura, afectándose directamente el crecimiento de las raíces, como lo mencionan Jones (1992), Patterson y Graham (1994).



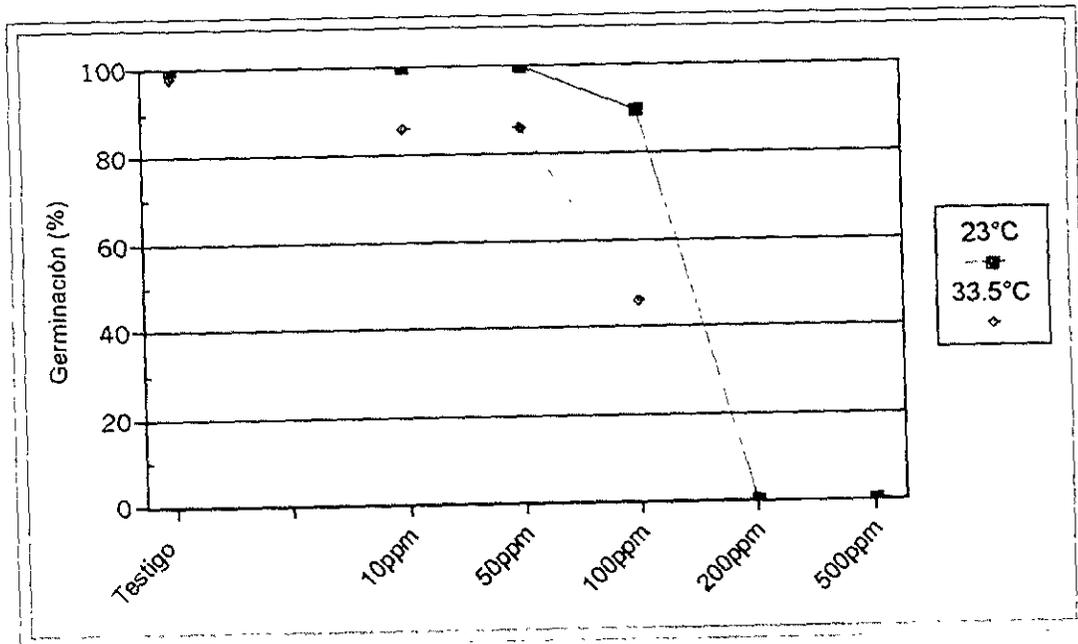
Gráfica 4. Efecto del Cromo sobre el proceso de germinación de *S. dydimobotrya*

HIERRO

Dado que el hierro es un elemento esencial para las plantas (Markert, 1993), es importante destacar que aunque la bibliografía consultada para este elemento no reporta niveles de toxicidad para especies arbóreas, los resultados de los experimentos de laboratorio mostraron severos efectos en el proceso de germinación, cuando las concentraciones superaron las 100 ppm. Como se observa en la Tabla 4 y Gráfica 5, a temperatura de 23°C el intervalo de 10 a 50 ppm de Fe, se encontró dentro del umbral de tolerancia, de acuerdo a lo mencionado por Salisbury y Ross (1994), ya que en estos lotes se registró el 100% de semillas germinadas. Sin embargo, al incrementar los niveles del metal a 100 ppm, se observaron signos de toxicidad que se volvieron letales a 200 y 500 ppm. De igual forma, al elevarse la temperatura a 33.5°C, la toxicidad de este metal se presentó cuando la concentración fue de 10 ppm, tomándose letal a 200 y 500 ppm, donde hubo una completa inhibición en la germinación de las semillas.

Por otra parte, el Anexo 2, resume el efecto del hierro y de la temperatura sobre las raíces, observándose que a 23°C y niveles menores a 50 ppm éstas mostraron características similares al testigo a la misma temperatura, a excepción del tamaño que resultó ser menor en un 25%, no obstante, a 100 ppm el vigor disminuyó, la coloración se hizo más oscura y la elongación disminuyó un 29%. Igualmente, a 33.5°C las raíces fueron parecidas a su respectivo testigo en cuanto a vigor y color, aunque su elongación se vio reducida hasta un 44%. Esto permite deducir, que la elongación de las raíces y la apariencia morfológica de las mismas, se vieron alteradas por la acción de la temperatura, al igual que en los casos anteriores, como lo mencionan Jones (1992), Patterson y Graham (1994).

Cabe mencionar que en todos los lotes tratados con este oligoelemento (Farago, 1994; Garcidueñas, 1979), hubo proliferación de hongos, efecto que se hizo más marcado cuando se superaron las 100 ppm, lo que ratifica una severa contaminación por este metal, como lo menciona Ederra (1996).



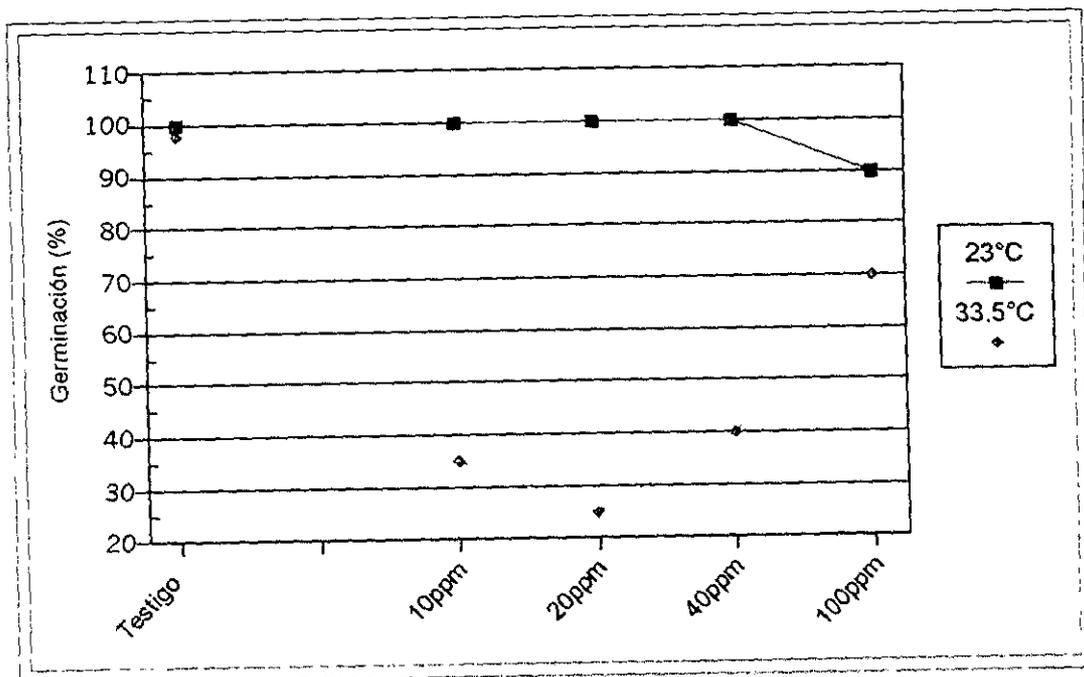
Gráfica 5. Efecto del Hierro sobre el proceso de germinación de *S. didymobotrya*

NÍQUEL

Como se muestra en la Tabla 4 y Gráfica 6, el níquel por ser considerado un oligoelemento (Garcidueñas, 1979; Markert, 1993), mantuvo un comportamiento similar al propuesto por Salisbury y Ross (1994), respondiendo al umbral de tolerancia en el intervalo de 10 a 40 ppm a 23°C, en tanto que a 100 ppm la toxicidad se hizo presente con una reducción del 10% en la germinación. No obstante, el incremento de la temperatura a 33.5°C, provocó que las semillas de esta especie respondieran de forma diferente a los casos anteriores, ya que el porcentaje de germinación fue mayor conforme aumentaron los niveles del metal. Así, se registró un comportamiento que podría interpretarse como el umbral de deficiencia, en el intervalo de 10 a 100 ppm en la curva dosis-respuesta propuesta por Salisbury y Ross (1994), lo cual es extraño ya que permite inferir que el níquel es más tóxico a 23°C en los niveles trabajados.

Por otra parte, como se resume en el Anexo 2, las raíces de los lotes sometidos a 23°C tuvieron características similares a su respectivo testigo, en cuanto a vigor y color, no obstante, se hizo evidente una reducción del 20% en el tamaño promedio de las mismas. Asimismo, al igual que el testigo a 33.5°C, las semillas que germinaron a esta temperatura, manifestaron raíces poco vigorosas de tonos marrón, cuya elongación decayó en promedio hasta un 38%, lo que se corrobora con el efecto de la temperatura, encontrado por Jones (1992), Patterson y Graham (1994).

De igual forma, el níquel tuvo un comportamiento parecido al hierro, ya que en los lotes tratados con más de 40 ppm hubo elevada proliferación de hongos, lo cual ratifica altos índices de contaminación por este metal, según lo encontrado por Ederra (1996).



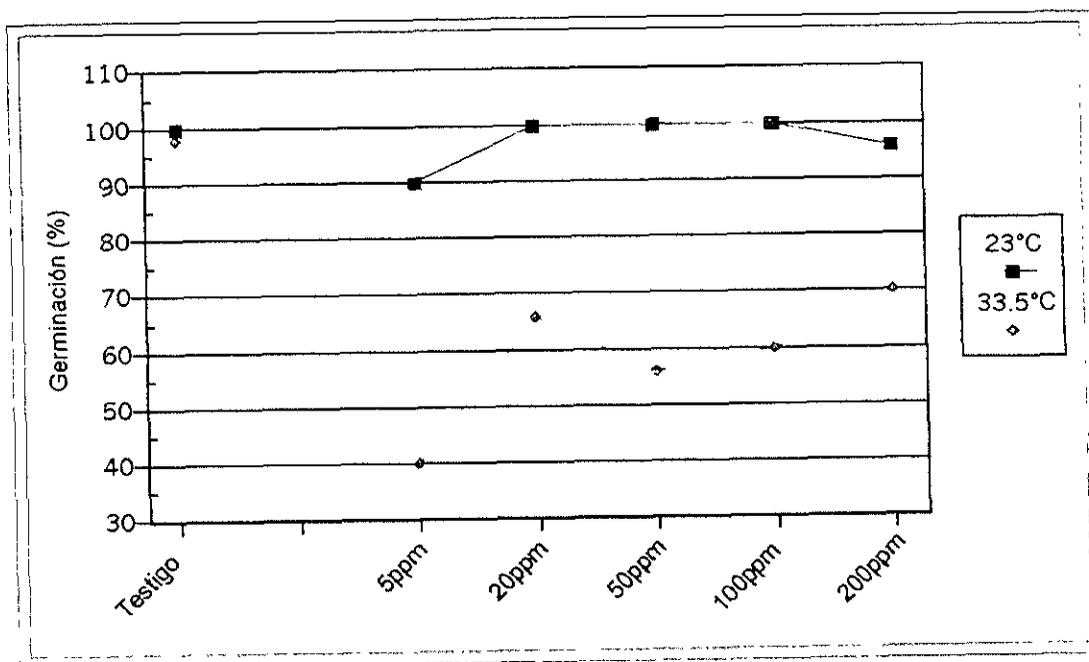
Gráfica 6. Efecto del Níquel sobre el proceso de germinación de *S. didymobotrya*

PLOMO

Como se observa en la Tabla 4 y Gráfica 7, los niveles de plomo empleados en este experimento a 23°C, mostraron un comportamiento similar al establecido para un elemento no esencial, por Salisbury y Ross (1994), situándose dentro del umbral de tolerancia en el intervalo de 20 a 100 ppm, sin embargo, a partir de 200 ppm apareció la toxicidad de este metal, ya que la germinación de este lote decayó un 5%. Es importante subrayar, que al igual que el níquel, el plomo no siguió este comportamiento cuando la temperatura se elevó a 33.5°C, ya que la germinación fue incrementando conforme lo hacían las concentraciones del metal. De esta forma, los resultados obtenidos corresponden a la curva de deficiencia propuesta por Salisbury y Ross (1994), no obstante, dado que se está hablando de un elemento no esencial, se puede inferir que a 33.5°C llegó un determinado momento en el que las semillas evitaron la incorporación del metal, aumentando su porcentaje de germinación.

Por otra parte, como se resume en el Anexo 2, las raíces de las semillas que germinaron a 23°C, mostraron menor vigor a medida que aumentaron los niveles del metal, las coloraciones pasaron de tonos amarillo-verdosos a marrón oscuro y, la elongación se redujo hasta un 42% a 100 ppm. Igualmente, a temperatura de 33.5°C las raíces tuvieron poco vigor, coloraciones marrón intenso y el tamaño disminuyó a un máximo del 44% a 100 ppm. Cabe mencionar que estos efectos, son producto de una severa contaminación por este metal, que aunado a la temperatura, provocó una marcada reducción en el crecimiento de las raíces, como lo mencionan Jones (1992), Patterson y Graham (1994), Tong y Wong (1984).

Además, a intervalos de 100 y 200 ppm se observó una elevada proliferación de hongos, lo que ratifica una severa contaminación por plomo, como lo menciona Ederra (1996).

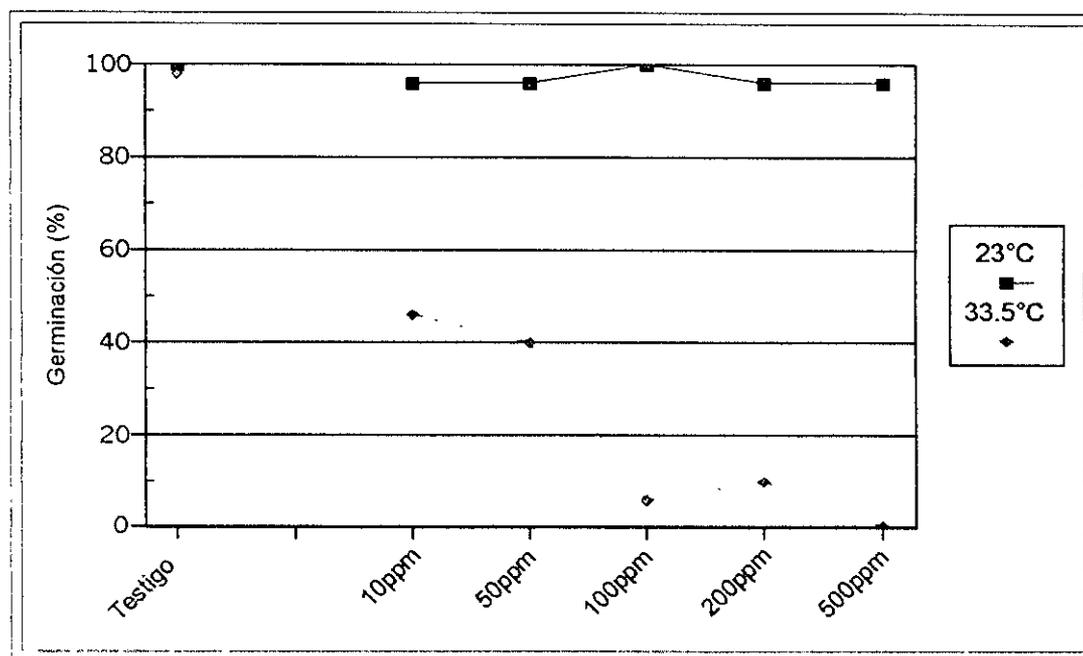


Gráfica 7. Efecto del Plomo sobre el proceso de germinación de *S. didymobotrya*

CINC

Como se muestra en la Tabla 4 y Gráfica 8, los lotes tratados con diferentes concentraciones de cinc a 23°C, mostraron un comportamiento que sigue la curva dosis-respuesta, propuesta para los elementos esenciales por Salisbury y Ross (1994), ya que a niveles de 10 y 5 ppm hubo un 95% de germinación, logrando un máximo del 100% a 100 ppm y, decayendo nuevamente al 95% a 200 y 500 ppm. De esta forma, es evidente que el punto óptimo de tolerancia se registró a 100 ppm, en tanto que la zona de deficiencia y toxicidad apareció en el intervalo de 10 a 50 ppm y de 200 a 500 ppm, respectivamente. No obstante, al incrementar la temperatura a 33.5°C, se observó que las semillas mostraron severos síntomas de toxicidad a partir de 10 ppm, volviéndose letales cuando los niveles fueron de 200 ppm, donde hubo una inhibición total en la germinación. Esto ratifica el efecto de la temperatura sobre la germinación de las semillas, como lo mencionan Bewley y Black (1994).

Por otra parte, como se observa en el Anexo 2, las raíces de los lotes sometidos a 23°C, fueron similares al testigo a la misma temperatura en vigor y color, sin embargo, la elongación tuvo una reducción en promedio del 24.5%. Asimismo, las semillas que germinaron a 33.5°C, mostraron poco vigor, coloraciones marrón intenso en la zona de la cofia y tamaños menores que el testigo hasta en un 44%, lo que comprueba una vez más que la temperatura afectó el crecimiento de las raíces, como lo menciona Jones (1992), Patterson y Graham (1994).



Gráfica 8. Efecto del Cinc sobre el proceso de germinación de *S. didymobotrya*

Con la finalidad de determinar el efecto de la temperatura y de los diferentes metales pesados de manera individual, sobre el porcentaje de germinación de *Senna didymobotrya*, se aplicó la prueba estadística ANAVA, encontrando que en los diferentes lotes tratados con Cd, Cr, Ni, Pb y Zn a varias concentraciones, la temperatura fue el parámetro que tuvo un alcance significativo en este proceso ($P \leq 0.05$), en tanto que para el Fe lo fueron las diferentes concentraciones utilizadas ($P \leq 0.05$) en el experimento (10-500 ppm), por lo que para este metal la acción de la temperatura paso a segundo plano.

De igual forma, resumiendo los resultados descritos anteriormente, se observó que la toxicidad que tienen los metales, sobre el proceso de germinación en estas semillas decrece en el orden $Fe > Cd > Zn > Pb > Ni > Cr$, en tanto que al incrementarse la temperatura a $33.5^{\circ}C$ el efecto de la misma siguió el orden $Cr > Zn > Ni > Fe > Pb > Cd$. Por consiguiente, la variación de la temperatura influyó en el nivel de toxicidad de estos elementos, ya que aquellos metales que a $23^{\circ}C$ no tuvieron efectos significativos sobre la germinación de las semillas, al ser expuestos a $33.5^{\circ}C$, causaron severos estragos en las mismas.

Por otra parte, dado que en el sitio de estudio, los metales pesados se encuentran distribuidos de forma heterogénea, se realizó un experimento dividido en cinco tratamientos, como se resumen en la Tabla 5, con el propósito de observar el efecto sinérgico del Cd, Cr, Fe, Ni, Pb y Zn a temperaturas mesófilas de $23^{\circ}C$ y $33.5^{\circ}C$, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 5. Germinación de las semillas de *S. didymobotrya* tratadas con todos los metales pesados en conjunto a temperaturas mesófilas

Tratamiento	% Germinación	% inhibición con respecto al testigo	Tiempo de Germinación (Días)
Testigo a $23.0^{\circ}C$	100	0	6
Testigo a $33.5^{\circ}C$	98	2	6
TRATAMIENTO 1: Cd, Cr, Fe, Ni, Pb y Zn (0.5, 5, 10, 10, 5 y 10 ppm) a $23.0^{\circ}C$	100	0	6
TRATAMIENTO 1: Cd, Cr, Fe, Ni, Pb y Zn (0.5, 5, 10, 10, 5 y 10 ppm) a $33.5^{\circ}C$	76	22.5	6
TRATAMIENTO 2: Cd, Cr, Fe, Ni, Pb y Zn (1, 20, 50, 20,20 y 50 ppm) a $23.0^{\circ}C$	100	0	6
TRATAMIENTO 2: Cd, Cr, Fe, Ni, Pb y Zn (1, 20, 50, 20,20 y 50 ppm) a $33.5^{\circ}C$	86	12	6
TRATAMIENTO 3: Cd, Cr, Fe, Ni, Pb y Zn (5, 50, 100, 40, 50 y 100 ppm) a $23.0^{\circ}C$	86	14	6
TRATAMIENTO 3: Cd, Cr, Fe, Ni, Pb y Zn (5, 50, 100, 40, 50 y 100 ppm) a $33.5^{\circ}C$	40	59	6
TRATAMIENTO 4: Cd, Cr, Fe, Ni, Pb y Zn (10, 100, 200, 60, 100 y 200 ppm) a $23.0^{\circ}C$	0	100	6
TRATAMIENTO 4: Cd, Cr, Fe, Ni, Pb y Zn (10, 100, 200, 60, 100 y 200 ppm) a $33.5^{\circ}C$	0	100	6
TRATAMIENTO 5: Cd, Cr, Fe, Ni, Pb y Zn (15, 200, 500, 100, 200 y 500 ppm) a $23.0^{\circ}C$	0	100	6
TRATAMIENTO 5: Cd, Cr, Fe, Ni, Pb y Zn (15, 200, 500, 100, 200 y 500 ppm) a $33.5^{\circ}C$	0	100	6

TRATAMIENTO 1

Como se observa en la Tabla 5, el lote que fue tratado con las mínimas concentraciones de metales pesados, de manera conjunta a 23°C, registró el 100% de germinación en un periodo de seis días. No obstante, como en los casos anteriores donde se utilizaron estos metales de forma individual, al elevarse la temperatura a 33.5°C, sólo se logró el 75%. Igualmente, como se resume en el Anexo 2, las raíces de las semillas que germinaron a 23°C y 33.5°C, tuvieron vigor y color similar al testigo a la misma temperatura, pero su elongación se vio reducida en un 20% y 13%, respectivamente.

TRATAMIENTO 2

Para este tratamiento, el lote sometido a temperatura de 23°C registró el 100% de germinación en seis días, en tanto que el sometido a 33.5°C alcanzó únicamente el 85%. Como se resume en el Anexo 2, las raíces de ambos lotes, registraron características similares a los respectivos testigos, sin embargo la elongación de las mismas se vio reducida en un 20% a 23°C y en un 24% a 33.5°C.

TRATAMIENTO 3

Cuando las semillas fueron sometidas a estas concentraciones de metales, se encontró que el efecto sinérgico de los mismos se volvió considerable, ya que la germinación tuvo un descenso del 15% comparado con el testigo a 23°C. De igual manera, el incremento de la temperatura a 33.5°C provocó que sólo el 40% de las semillas lograran germinar. En el Anexo 2, se observa que las raíces de ambos lotes, mostraron poco vigor y coloraciones oscuras, en tanto que el tamaño se vio reducido en un 31% a 23°C y en un 26.5% a 33.5°C.

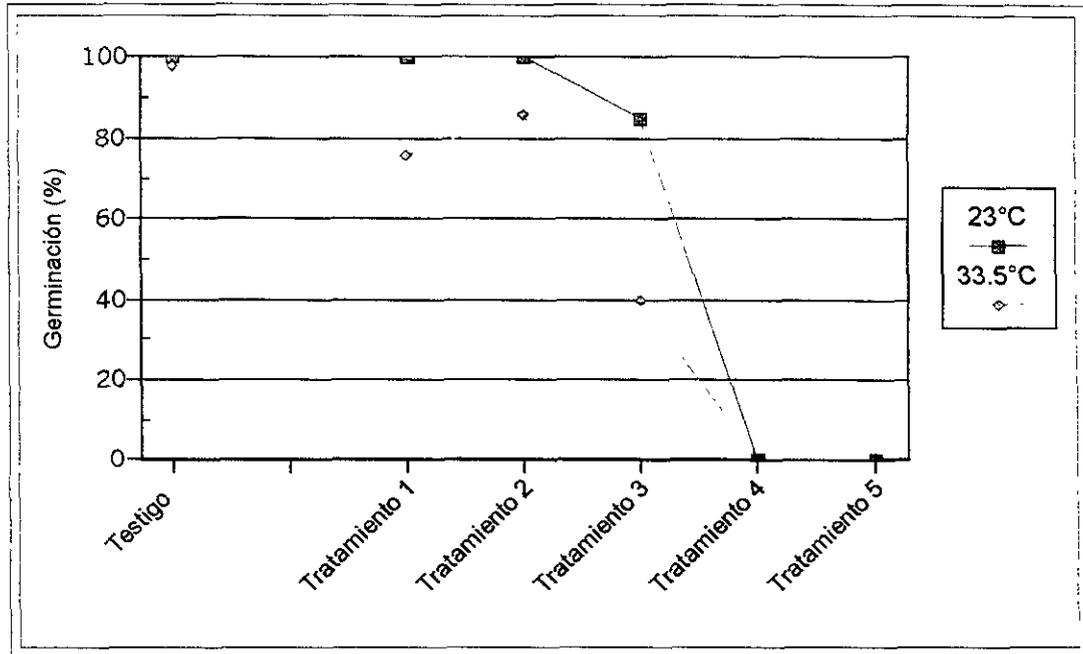
TRATAMIENTO 4 y 5

Con respecto a estos tratamientos, como se observa en la Tabla 5, se encontró que tanto a 23°C como a 33.5°C, hubo una inhibición total en la germinación de las semillas.

De esta forma, como se observa en la Gráfica 9, la unión de los puntos resultantes en la germinación de cada tratamiento, sigue una curva similar a la propuesta por Salisbury y Ross (1994). El comportamiento de las semillas sometidas a 23°C, indican que las concentraciones empleadas en el primer y segundo tratamiento, se encontraron en el umbral óptimo de tolerancia, sin embargo, al incrementarse los niveles en el tercer tratamiento, la toxicidad se hizo presente hasta alcanzar la zona letal, en el tratamiento 4 y 5. Asimismo, cuando la temperatura se elevó a 33.5°C, la toxicidad de estos metales, se presentó desde el primer tratamiento, alcanzando la zona letal en concentraciones máximas del cuarto y quinto tratamiento, en cuyos casos se registro una inhibición total de la germinación.

Por otra parte, es importante mencionar que desde el primer tratamiento se observó proliferación de hongos, haciéndose más marcada conforme se incrementaban las concentraciones y la temperatura, lo cual corrobora una elevada contaminación por metales, como lo menciona Ederra (1996). Igualmente, a partir del tercer tratamiento a 33.5°C, hubo avanzada fermentación de las raíces, fenómeno que se atribuye a condiciones anóxicas, debidas al incremento de la temperatura, como lo mencionan Hook y Crawford (1978) y Ópik (1993).

Los resultados anteriormente descritos, bien podrían deberse a la acción de la temperatura, como se vio en los casos anteriores, donde solo se empleaban los metales de forma individual. No obstante, al realizar la prueba estadística ANAVA, se obtuvo que el efecto sinérgico de los metales pesados fue más significativo que el de la temperatura ($P \leq 0.05$), sobre el proceso de germinación de estas semillas. De igual forma, al analizar detenidamente la Gráfica 9, se observa que sigue un patrón similar al manifestado por el Hierro. lo que permite inferir que este metal tuvo acción antagonista en la respuesta de las semillas. Esta suposición se puede corroborar, con el hecho de que en todos los lotes se registro la proliferación de hongos. fenómeno que se volvió mas severo conforme aumentaba la temperatura.



Gráfica 9. Efecto sinérgico de los metales pesados sobre el proceso de germinación de *S. didymobotrya*

Por otro lado, la Tabla 6 compara la acción de los metales pesados sobre el proceso de germinación de las semillas de *S. didymobotrya*, tanto de manera individual como de forma sinérgica. Así, se observó que en el primer tratamiento, el daño individual de los metales a 23°C, fue más marcado que el de forma conjunta en un 4%, magnificándose hasta un 39% cuando la temperatura fue de 33.5°C. Para el segundo tratamiento, el efecto individual se incrementó en un 3%, con respecto al de manera conjunta, elevándose inclusive un 41% a 33.5°C. Igualmente, conforme ascendieron los niveles de metales, la acción se invirtió a 23°C, registrando para el tercer tratamiento un efecto conjunto superior al individual en un 12%, en tanto que a temperaturas de 33.5°C, este último en comparación con el primero, fue más severo en un 15%. En el cuarto y quinto tratamiento, la acción sinérgica de la temperatura y los metales pesados sobre la germinación, mostró un mayor aumento cuando todos los elementos estuvieron presentes, siendo del 37% a 23° y del 73% a 33.5°C.

De esta forma, la relación descrita anteriormente, muestra que el incremento de la temperatura junto con la presencia de metales pesados, tuvieron un considerable efecto sinérgico sobre el proceso de germinación de esta leguminosa, ya que ambos factores lograron inhibir parcial o completamente la germinación de las semillas. No obstante, es importante subrayar que el grado de toxicidad hacia éstas, varió de acuerdo al elemento y concentración empleada en la solución, siendo más considerable el ocasionado por el hierro a 200 y 500 ppm.

Tabla 6. Porcentaje de germinación de las semillas de *S. didymobotrya* tratadas con diferentes concentraciones de metales pesados a temperaturas mesófilas

	Tratamiento 1 Cd, Cr, Fe, Ni, Pb y Zn (0.5, 5, 10, 10, 5, 10 ppm)		Tratamiento 2 Cd, Cr, Fe, Ni, Pb y Zn (1, 20, 50, 20, 20, 50 ppm)		Tratamiento 3 Cd, Cr, Fe, Ni, Pb y Zn (5, 50, 100, 40, 50, 100 ppm)		Tratamiento 4 Cd, Cr, Fe, Ni, Pb y Zn (10, 100, 200, 60, 100, 200 ppm)		Tratamiento 5 Cd, Cr, Fe, Ni, Pb y Zn (15, 200, 500, 100, 200, 500 ppm)	
	23°C	33.5°C	23°C	33.5°C	23°C	33.5°C	23°C	33.5°C	23°C	33.5°C
Cd	95	75	85	75	95	60	85	80	*	*
Cr	95	5	100	15	100	0	100	10	100	0
Fe	100	85	100	85	90	45	0	0	0	0
Ni	100	25	100	30	100	40	*	*	90	70
Pb	90	40	100	55	100	55	100	60	95	70
Zn	95	45	95	40	100	5	95	10	95	0
En Conjunto	100	75	100	85	85	40	0	0	0	0
Promedio del efecto individual	96	46	97	50	97	34	63	27	63	23
Promedio del efecto conjunto	100	75	100	85	85	40	0	0	0	0
Incremento del efecto individual	4	39	3	41	0	15	0	0	0	0
Incremento del efecto conjunto	0	0	0	0	12	0	37	73	37	77

* Concentraciones no evaluadas de manera individual

3.1. METALES PESADOS (Cd, Cr, Fe, Pb y Zn) ABSORBIDOS POR LAS EMBRIONES DE *S. didymobotrya* DURANTE SU GERMINACIÓN

Una vez obtenidas las plántulas de los diferentes tratamientos con metales, se tomaron muestras del 75% de los organismos de aquellos lotes donde no hubo proliferación de hongos, se deshidrataron durante 1 día a 50°C, se trituraron y se llevó a cabo una digestión diácida (ácido nítrico-ácido perclórico, relación 2:1, Beckwith, 1986), con la finalidad de cuantificar la concentración de metales absorbidos por los embriones de *S. didymobotrya*, durante su periodo de germinación a 23°C y 33.5°C. La técnica empleada para este análisis fue la Espectrofotometría de Absorción Atómica (López, 1990), cuyas condiciones de trabajo para cada elemento se muestran en el Anexo 3.

Es importante aclarar, que cuando se realizó el experimento de germinación con los diferentes metales, a todos los lotes se les adicionaron 10 ml de la solución estándar, por lo que la concentración real fue 10 veces mayor para cada caso. De igual forma, para evaluar la técnica empleada en la cuantificación de los metales, se hizo la validación de la misma obteniéndose el 99.7% de recuperación. Paralelo a esto, se analizó un blanco, que fue tratado igual que las muestras con el fin de cuantificar las impurezas presentes en los reactivos. De este modo, se obtuvo lo siguiente:

TESTIGO

Al analizar estos lotes, se encontró que las semillas empleadas contienen considerables cantidades de los metales pesados con los que se trabajó (Cd, Cr, Fe, Ni, Pb y Zn), lo cual se debe al origen de las mismas, ya que provienen de un individuo que se ha desarrollado en un sitio impactado. No obstante, cabe mencionar que al analizar las muestras por duplicado se obtuvo un coeficiente de variación en promedio del 46.82%. El resultado de esta variación, es debido a que las semillas fueron colectadas de diversas partes de la planta, y el grado de maduración no era el mismo en todas ellas, por lo que la cantidad de metales translocados resultó ser diferente. De esta forma, el resultado para estas muestras es un promedio de dos lecturas, siendo de 1.2319 ppm de Cd, 1.3875 ppm de Cr, 109.4309 ppm de Fe, 3.5133 ppm de Pb y 52.0750 ppm de Zn. Por otra parte, con el objetivo de evaluar la absorción real de metales por parte de los embriones de *S. didymobotrya*, se restó el valor del testigo a cada tratamiento, obteniendo los resultados que se resumen en la Tabla 7 y que se describen a continuación:

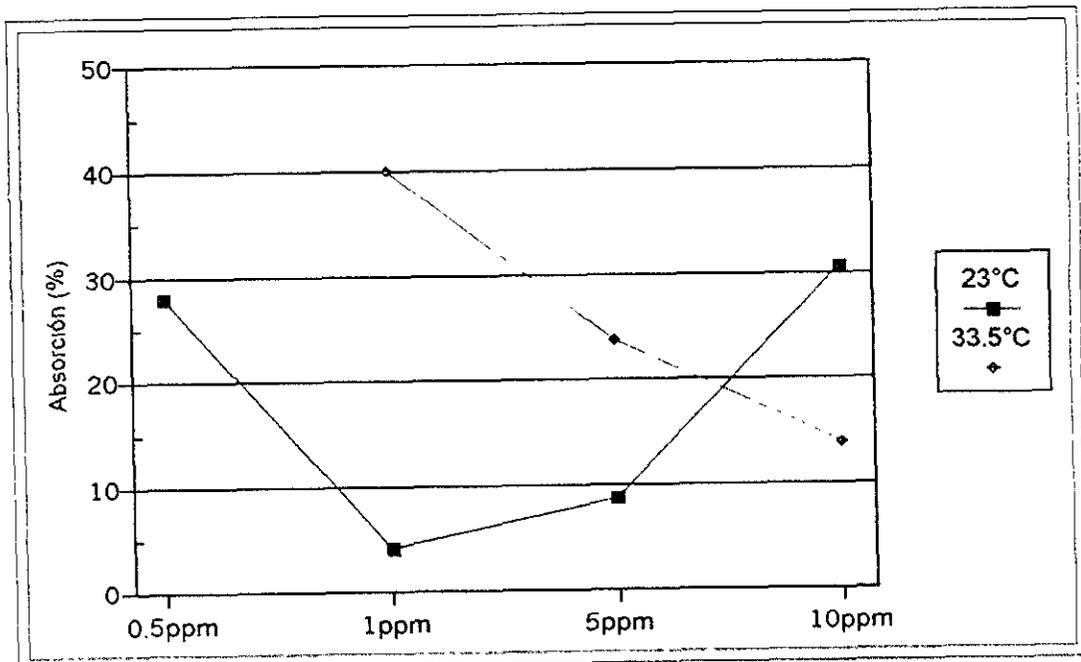
Tabla 7. Absorción de metales pesados por los embriones de *S. didymobotrya* durante su periodo de germinación*

Concentración de la solución	CADMIO		CROMO		HIERRO		PLOMO		CINC	
	ppm	% absorbido	ppm	% absorbido	ppm	% absorbido	ppm	% absorbido	ppm	% absorbido
0.5 ppm a 23.0°C	1.4042	28.0840								
0.5 ppm a 33.5°C	8.1061	162.122								
1 ppm a 23.0°C	4.0848	40.8480								
1 ppm a 33.5°C	4.0057	40.0570								
5 ppm a 23.0°C	4.3346	8.6692	12.3347	24.6694			7.5093	15.0186		
5 ppm a 33.5°C	11.8768	23.7536	12.7875	25.5750			4.6941	9.8882		
10 ppm a 23.0°C	30.5839	30.5839			86.8570	86.8570			1.6250	1.6250
10 ppm a 33.5°C	13.8863	13.8863			92.7152	92.7152			19.8138	19.8138
20 ppm a 23.0°C			36.0215	18.0175						
20 ppm a 33.5°C			65.9736	32.9868			19.2809	9.6404		
50 ppm a 23.0°C			152.9988	30.5997	**	**	34.5450	6.9090	59.0250	11.8050
50 ppm a 33.5°C			200.4375	40.0875	**	**	42.9234	8.5846	59.7062	11.9412
100 ppm a 23.0°C			211.3625	21.1362	**	**	**	**	111.0159	11.1015
100 ppm a 33.5°C			458.7875	45.8787	**	**	**	**	116.2750	11.6275
200 ppm a 23.0°C			444.5897	22.2294	**	**	**	**	596.9250	29.8462
200 ppm a 33.5°C			529.4534	26.4726	**	**	**	**	310.9022	15.5451
500 ppm a 23.0°C					**	**			1455.9000	29.1180
500 ppm a 33.5°C					**	**			957.4250	19.1485

** Muestras no analizadas debido a que durante su germinación hubo proliferación de hongos

CADMIO

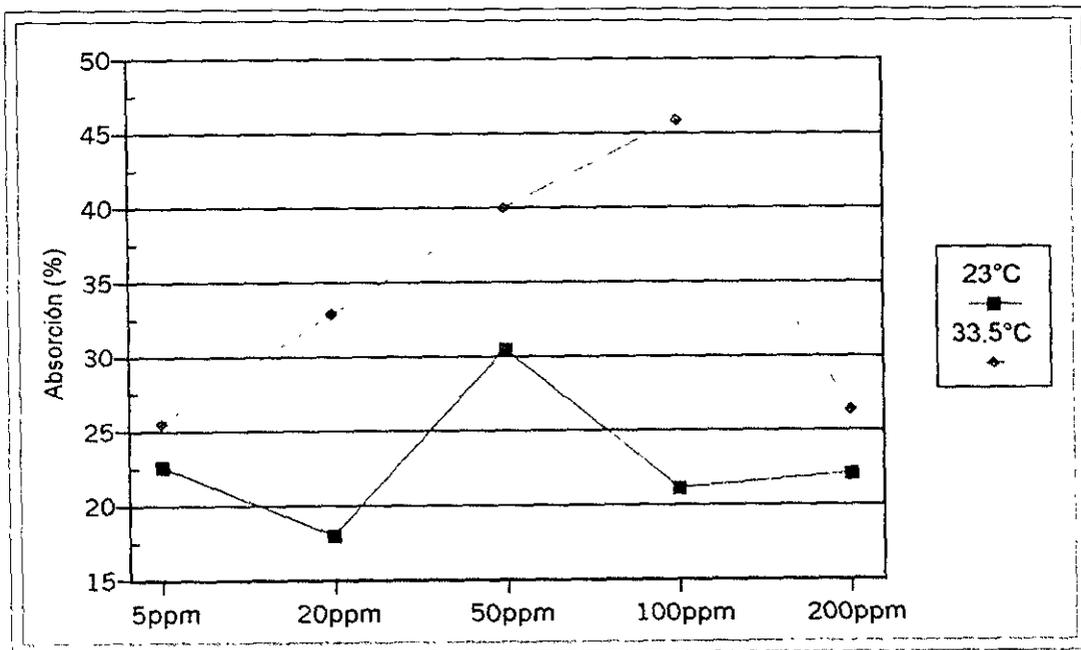
Con respecto a este metal, cabe mencionar, que se descartó del análisis el valor obtenido en la muestra sometida a 0.5 ppm y 33.5°C, ya que debido a una posible contaminación del material de trabajo, se registró una absorción del 162.12%. Por otra parte, como se resume en la Tabla 7 y Gráfica 10, el porcentaje de cadmio absorbido por las semillas de *S. didymobotrya* a 23°C, mostró un comportamiento muy variado, ya que no siguió ningún orden con respecto a los niveles de la solución. No obstante, al incrementar la temperatura a 33.5°C, la absorción tuvo una relación inversamente proporcional a la concentración de cadmio. Asimismo, se observó que hubo mayor absorción a 23°C, lo que permite inferir que el aumento de la temperatura provocó que el metabolismo de los embriones se viera alterado, afectando la absorción de este metal. Esta hipótesis, se confirmó al realizar la prueba estadística ANAVA, donde se encontró que tanto la concentración del metal como la temperatura, fueron factores significativos ($P \leq 0.05$) en la absorción de cadmio.



Gráfica 10. Cadmio absorbido por los embriones de *S. didymobotrya* durante su periodo de germinación

CROMO

Como se muestra en la Tabla 7 y Gráfica 11, el comportamiento de las semillas tratadas con cromo a 23°C, mostró un máximo del 30.6% cuando la concentración fue de 50 ppm y, un mínimo del 18% a 20 ppm. De esta forma, se observó que el punto de saturación fue a 50 ppm, ya que conforme se incrementaron los niveles del metal, la absorción comenzó a decaer. Por otra parte, a 33.5°C la absorción de cromo incrementó proporcionalmente a la concentración, en el intervalo de 5 a 100 ppm, pero al superarse este nivel, los embriones ya no tuvieron la misma capacidad para acumular este metal, por lo que se registró un decremento en la misma. Así, se encontró que las semillas absorbieron más cromo a 33.5°C, por lo que se deduce que al aumentar la temperatura, la incorporación del metal se aceleró. Igualmente, el análisis estadístico de varianza, mostró que la temperatura tuvo un efecto más significativo ($P \leq 0.05$), en el porcentaje de absorción, en comparación con las diferentes concentraciones de cromo empleadas.



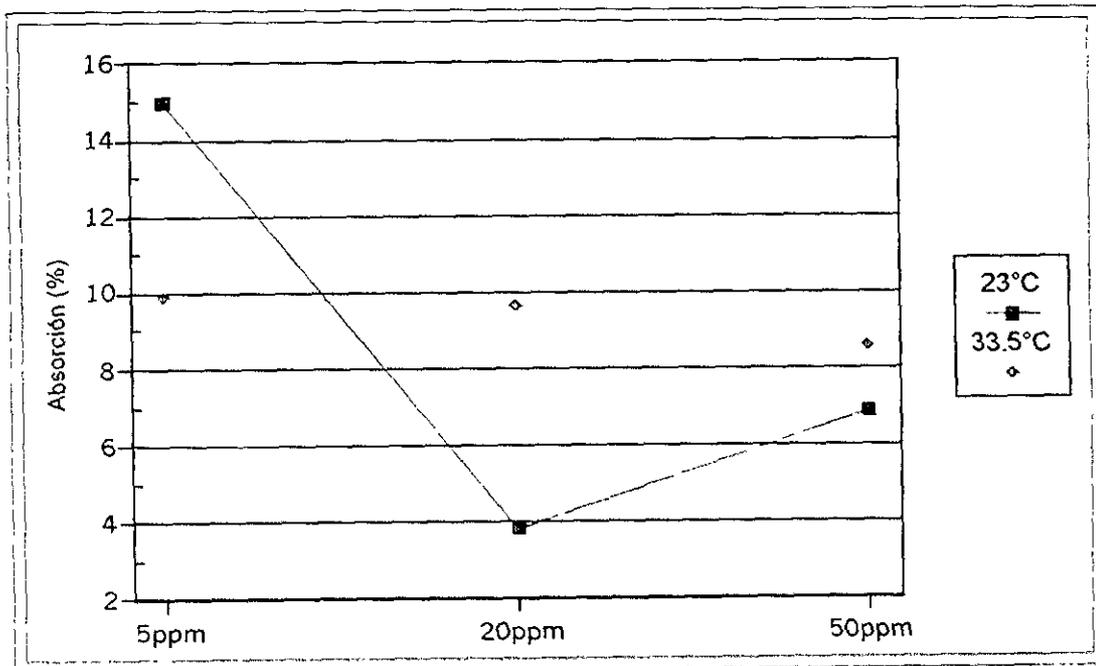
Gráfica 11. Cromo absorbido por los embriones de *S. didymobotrya* durante su periodo de germinación

HIERRO

Para este metal esencial (Markert, 1993), sólo se lograron analizar los lotes tratados con 10 ppm a 23°C y 33.5°C, ya que durante la germinación de las semillas hubo elevada proliferación de hongos en las demás concentraciones trabajadas (50 a 500 ppm). De esta forma, como se observa en la Tabla 7, se registró mayor absorción a 33.5°C, sin embargo, se puede inferir que conforme se eleven los niveles del metal habrá más acumulación a 23°C, dado que en cantidades muy altas de hierro y temperatura de 33.5°C, se espera que el metabolismo de los embriones se altere, provocando una caída en el porcentaje absorbido.

PLOMO

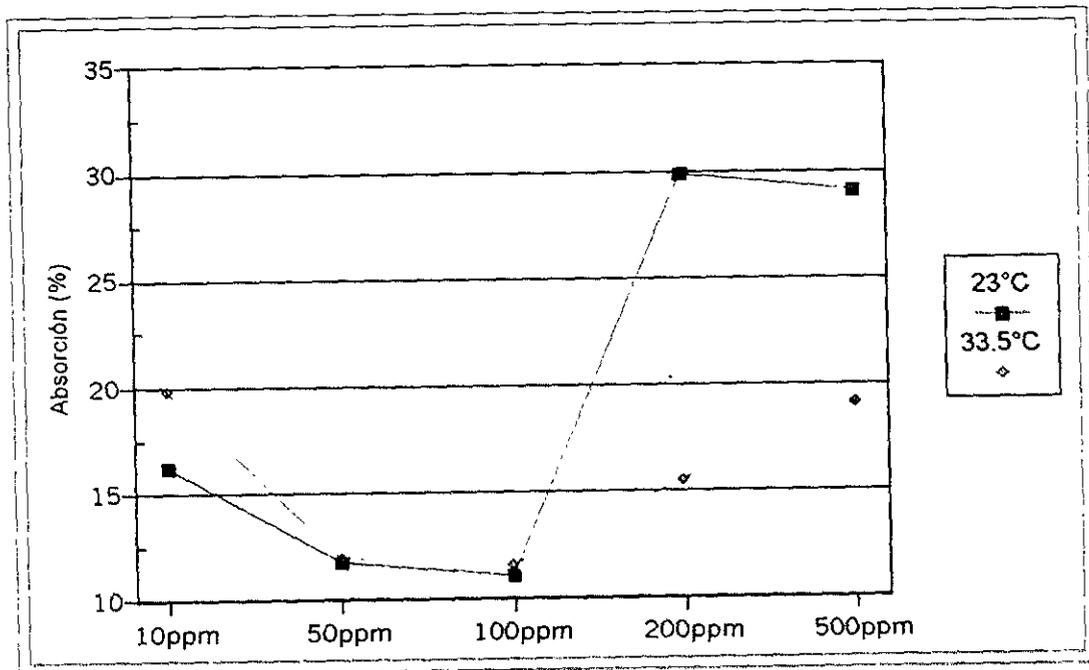
Como se muestra en la Tabla 7 y Gráfica 12, las semillas tratadas con este metal a 23°C, tuvieron un comportamiento muy variable en las diferentes concentraciones empleadas, ya que el máximo porcentaje de absorción se alcanzó a 5 ppm, en tanto que el mínimo se presentó a 20 ppm. Estos resultados permiten inferir, que hay gran variabilidad de absorción entre las semillas, por lo que se manifestaron altibajos en la acumulación de plomo. Por otra parte, a 33.5°C se encontró que el porcentaje de absorción fue mayor que a 23°C y, permaneció casi constante en las muestras analizadas, sin embargo, éste fue disminuyendo suavemente conforme se incrementaron las concentraciones del elemento. Asimismo, como se observa en la Gráfica 13, el análisis de varianza mostró que el efecto del incremento de la temperatura, fue más significativo ($P \leq 0.05$) en el porcentaje de absorción del metal, que el de los diversos niveles de plomo.



Gráfica 12. Plomo absorbido por los embriones de *S. didymobotrya* durante su periodo de germinación

CINC

Como se resume en la Tabla 7 y Gráfica 13, la absorción de este elemento esencial (Markert, 1993) a 23°C, incrementó conforme lo hacían los niveles del metal, alcanzando el punto máximo de 29.9% a 200 ppm y, manteniéndose casi constante a 500 ppm, en tanto que a temperatura de 33.5°C las semillas acumularon más cantidades de cinc a 10 y 500 ppm, siendo el porcentaje absorbido muy similar en ambas concentraciones. Por otra parte, se observó que a 50 y 100 ppm, la absorción fue semejante tanto a 23°C como a 33.5°C, aunque fue un poco mayor en la segunda temperatura. Esto permite inferir que la variación de la concentración y de la temperatura, actuaron de manera sinérgica en la acumulación de este metal pesado, no obstante, el análisis estadístico mostró, que el efecto de la temperatura fue más significativo ($P \leq 0.05$), por lo que la acción de los diferentes niveles de cinc empleados, sobre el porcentaje de absorción pasó a segundo termino.



Gráfica 13. Cinc absorbido por los embriones de *S. didymobotrya* durante su periodo de germinación

Por otra parte, resumiendo lo descrito anteriormente, en la Tabla 8 se observa que al germinar las semillas de *S. didymobotrya*, en diferentes soluciones de metales pesados, estas absorbieron grandes cantidades de los mismos, de tal forma que la absorción de Cadmio en promedio, comparada con la concentración presente de manera natural en el testigo, fue ocho veces mayor, la de Cromo se incrementó hasta ciento veinticuatro veces más, la del Plomo lo hizo cinco veces y la del Cinc fue nueve veces más grande, en tanto que la absorción de Hierro fue menor que el testigo en un 20%, esto debido a que sólo se analizó una muestra y el promedio absorbido, resultó ser más pequeño que el mismo.

Tabla 8. Relación de las diferentes concentraciones de metales pesados absorbidos por los embriones de *S. didymobotrya* durante su periodo de germinación

	Concentración presente en el testigo (ppm) C_T	Concentración promedio absorbida por lo embriones (ppm) C_E	Relación $C_T:C_E$
Cadmio	1.2319	10.1018	1:8
Cromo	1.3875	171.4600	1:124
Hierro	109.4309	86.8600	5:4
Plomo	3.5133	16.5726	1:5
Cinc	52.075	447.8231	1:9

De esta forma, la absorción de metales pesados por parte de los embriones de esta leguminosa, varió conforme lo hizo la temperatura, ya que a 23°C la absorción decreció en el orden $Fe > Cd > Cr > Zn > Pb$, mientras que a 33.5°C lo hizo en el orden de $Fe > Cr > Cd > Zn > Pb$. Igualmente, se registró que el porcentaje de absorción, de los diferentes metales en ambas temperaturas fue similar, siendo un poco mayor a 33.5°C, tal como lo menciona Foth (1992), lo cual ratifica el resultado del análisis de varianza, donde se encontró que la temperatura, fue el factor que afectó significativamente ($P \leq 0.05$) la acumulación de estos elementos.

Asimismo, se observó que las semillas utilizadas tienden a absorber grandes cantidades de hierro, dado que es un metal esencial y lo necesitan en mayor concentración para completar su ciclo de vida. No obstante, estas semillas también absorbieron elevadas cantidades de cromo y cadmio, lo que permite clasificar a *S. didymobotrya*, como una planta acumuladora de metales, ya que de acuerdo a Ross (1994), es capaz de concentrar grandes cantidades de estos en sus diferentes tejidos.

4. CARACTERIZACIÓN DEL SUSTRATO COMERCIAL

El sustrato en el que se trasplantaron las plántulas logradas en los diferentes tratamientos, a nivel de invernadero, se caracterizó con la finalidad de clasificarlo y conocer el valor de sus diferentes parámetros físicos y químicos, que son sumamente importantes para el establecimiento de los vegetales. Cabe señalar, que las muestras colectadas, se analizaron por triplicado, obteniendo un coeficiente de variación en promedio del 5.18%. Los resultados de esta caracterización, se resumen en la Tabla 9 y se describen a continuación:

Tabla 9. Caracterización física y química del sustrato en el que se trasplantaron las plántulas de *S. didymobotrya* a nivel de invernadero

Color Seco/ Húmedo	Conductividad eléctrica (ds.m ⁻¹)	Textura	Densidad aparente (g/cc)	Densidad real (g/cc)	% Espacio poroso	% Retención de humedad	pH	% Materia orgánica
2.5 Y 3/1 Gns muy oscuro 2.5 N Negro	1.1803	Limo arenoso	0.3700	1.4500	74.48	40.75	4.78	47.44

COLOR

Las tablas de Munsell, muestran que en seco fue gris muy oscuro (2.5Y 3/1) y, en húmedo, negro (2.5N). El valor registrado, aunque suele ser muy subjetivo, permite inferir que el contenido de materia orgánica es muy alto al igual que la pérdida de humedad.

CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

De acuerdo al valor encontrado (1.1803 ds.m⁻¹), Miramontes (1978) clasifica a este sustrato como no salino, con muy bajo contenido de sales que permiten el establecimiento de cualquier especie vegetal, según lo mencionado por Fitz (1985). Cabe mencionar que en las lecturas de este parámetro hubo un coeficiente de variación del 7.48%.

TEXTURA

Este parámetro no pudo ser determinado por el método de Bouyoucus, debido a la presencia de elevadas cantidades de materia orgánica, por lo que se hizo un análisis cualitativo al tacto (Ríos, 1985), observando que posee características limo-arenosas, con mínimas cantidades de arcilla, lo que provoca que sea un sustrato con poca compactación y buen drenaje.

DENSIDAD APARENTE Y REAL

En ambos parámetros hubo un coeficiente de variación promedio del 7.80% y se registraron bajos valores (0.3700 g/cc y 1.4500 g/cc, respectivamente), lo que ratifica un alto contenido de materia orgánica y una mínima cantidad de arcilla. Estos resultados indican que es un sustrato bien aireado, con más del 70% de espacio poroso, sin embargo, a pesar de esto de acuerdo a Fitz (1985) y Miramontes (1978), la densidad real está por debajo del ideal para el buen crecimiento vegetal.

RETENCIÓN DE HÚMEDAD

Debido a que este sustrato posee características texturales limo arenosas, se encontró que el 40% del agua depositada queda retenida en el mismo, manteniendo un drenaje constante y permitiendo la aireación de las raíces de los vegetales que se desarrollan en él. De igual forma, el coeficiente de variación para este factor fue del 2.95%.

POTENCIAL DE HIDRÓGENO

De acuerdo al valor encontrado (4.78), con un coeficiente de variación del 0.14%, Miramontes (1978) lo clasifica como muy fuertemente ácido, lo que se confirma con el resultado obtenido en la conductividad eléctrica. Por consiguiente, de acuerdo a Foth (1992), se espera que con este pH, el sustrato tenga deficiencias de fósforo, ya que a medida que desciende este parámetro, el hierro y aluminio solubles aumentan considerablemente, causando la fijación del macronutriente en forma de fosfato de hierro y aluminio.

CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA

Por ser un sustrato comercial, el valor obtenido con un coeficiente de variación del 7.55%, fue mayor del 47%, por lo que Moreno (1970) lo clasifica como extremadamente rico, cuyas principales ventajas son proporcionar los sitios de intercambio catiónico y los nutrientes necesarios para la vida vegetal.

En general, el sustrato analizado es adecuado para el crecimiento de las plantas, ya que es rico en nutrientes, con excepción del fósforo, cuya disponibilidad se ve reducida por el bajo pH. No obstante el mínimo contenido de sales, permite el establecimiento de cualquier especie vegetal. Asimismo, dado que tiene gran porcentaje de espacio poroso, facilita la penetración y aireación radical, ya que la compactación es mínima, por consiguiente, tiene que ser regado con frecuencia, debido a que el agua se pierde rápidamente por evaporación, aunque es capaz de retener la cantidad suficiente para mantener hidratadas las raíces de los vegetales.

5. SEGUIMIENTO DE LAS PLÁNTULAS A NIVEL DE INVERNADERO

Después de llevar a cabo la germinación de las semillas, con diferentes tratamientos pregerminativos y con soluciones de metales pesados (Cd, Cr, Fe, Ni, Pb y Zn), a diversas concentraciones y temperaturas mesófilas de 23°C y 33.5°C, el 25% de las plántulas obtenidas, se trasplantaron en un sustrato comercial y fueron trasladadas al invernadero, con la finalidad de observar el desarrollo de estos organismos. Cabe mencionar que se registró el vigor y talla de los individuos, tomando valores semanales del diámetro del tallo, tamaño de las hojas, cobertura foliar y sobrevivencia. No obstante, para manejar los datos de manera más sencilla y poderlos ejemplificar en gráficas, solo se reportan los resultados finales, los cuales se resumen en el Anexo 4 y se describen a continuación:

CONTROL

La Gráfica 14, muestra el crecimiento vigoroso que tuvieron los individuos que no fueron sometidos a ningún tratamiento. De esta forma, como se resume en el Anexo 4, tanto a 23°C como a 33.5°C presentaron tallos gruesos, con un diámetro promedio de 3.7 cm, fronda turgente de 33.0 cm de cobertura, hojas de color verde intenso cuyo tamaño fue de 3.0 cm y talla que alcanzó los 85.0 cm. Estos resultados denotan, que no hubo variaciones morfológicas por efecto de la temperatura, ya que ambas presentaron características similares entre sí. Asimismo, la sobrevivencia de estos organismos tampoco se vio afectada, dado que a 23°C y 33.5°C se registró el 100% de establecimiento.

ESCALDADO

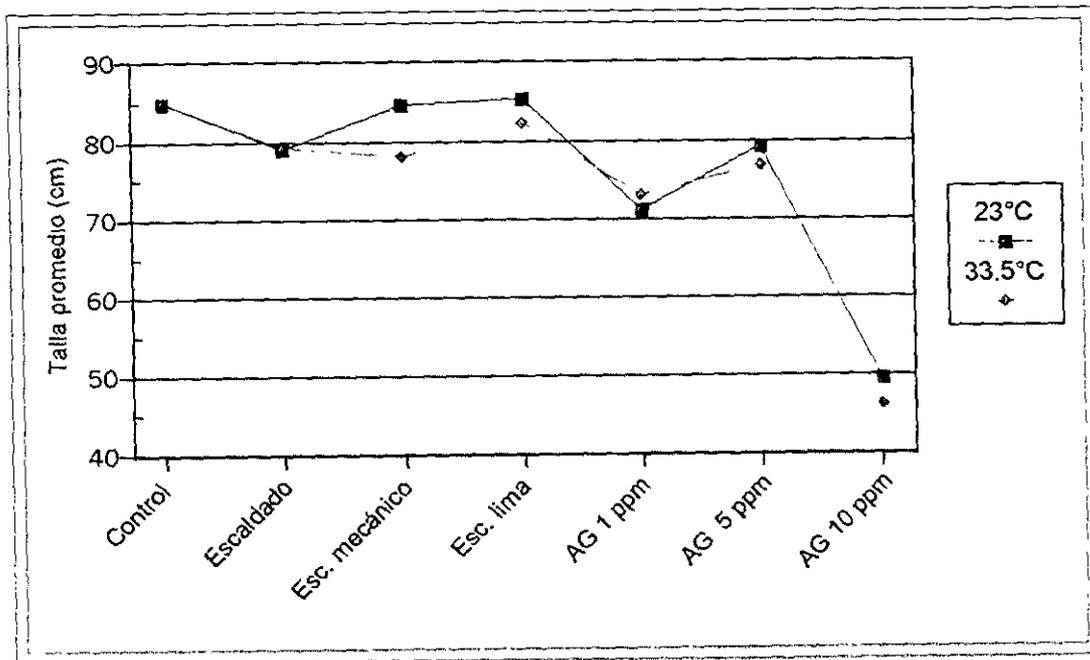
Como se observa en la Gráfica 14 y Anexo 4, las plántulas de este tratamiento a 23°C, mostraron características similares al control, tanto en vigor, diámetro del tallo y cobertura foliar, no obstante, se registró una reducción en la talla promedio del 7%. Igualmente, a 33.5°C se encontraron las mismas variaciones en la morfología de los individuos, ya que sólo hubo una caída en la talla de los mismos del 6.5%. Así, dado que la diferencia entre ambos lotes fue mínima, se puede inferir que la temperatura no afectó severamente el desarrollo de estos organismos. Por consiguiente, se obtuvo el 100% de sobrevivencia, tanto a 23°C como a 33.5°C.

ESCARIFICADO MECANICO Y ESCARIFICADO CON LIMA

La Gráfica 14 y Anexo 4, muestran que los individuos de estos tratamientos pregerminativos, tuvieron pocos cambios en comparación con el control, ya que sus características morfológicas fueron similares a este en ambas temperaturas. Asimismo, cabe señalar que los lotes sometidos al escarificado con lima, alcanzaron una talla promedio mayor que la registrada en el escarificado mecánico (85.3 cm y 84.7 cm, respectivamente), pero ambas se asemejan al obtenido en el control. No obstante, a temperatura de 33.5°C se observó una caída en la talla del 7.4%, en el escarificado mecánico, en tanto que ésta fue del 3% en el escarificado con lima. De esta manera, estos resultados denotan el efecto de la temperatura, sobre el crecimiento de los individuos, sin embargo, este parámetro no logró afectar la sobrevivencia de los mismos, ya que en los dos tratamientos se registró el 100% de sobrevivencia.

ESCARIFICADO CON LIMA Y ÁCIDO GIBERÉLICO

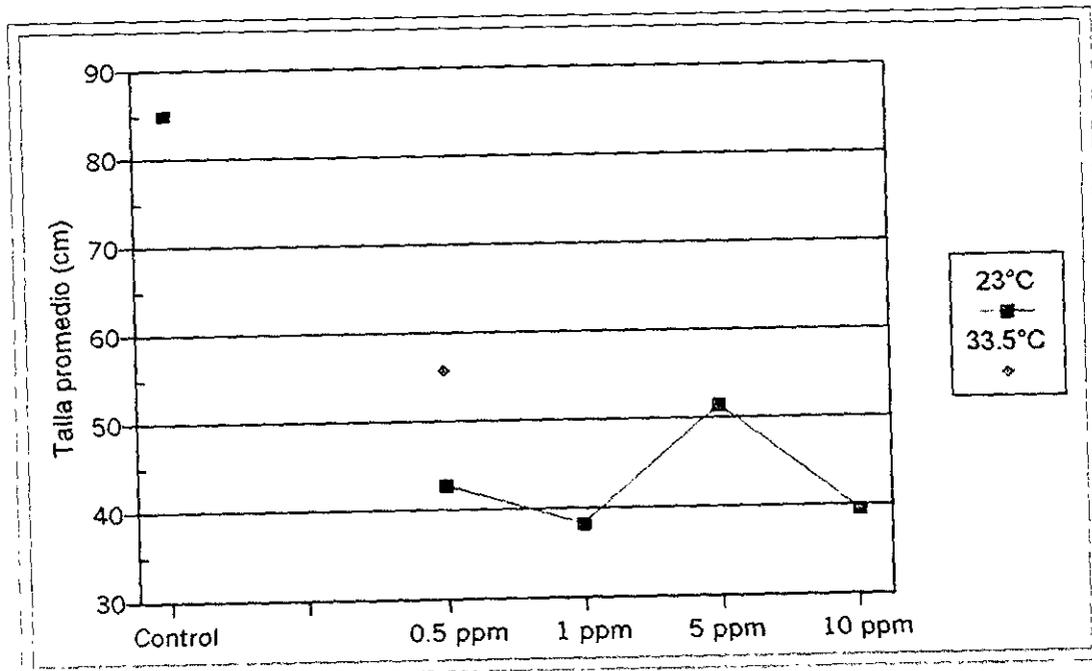
El Anexo 4 resume los cambios morfológicos registrados en estos lotes, tanto a 23°C como a 33.5°C, y la Gráfica 14 muestra la talla promedio de los individuos que lograron establecerse bajo condiciones de invernadero. De esta forma, se encontró que a 23°C las semillas sometidas a 1 y 10 ppm de ácido giberélico (AG₃), produjeron individuos adultos de poco vigor y de talla promedio menor que el control en un 16.5% y un 41%, respectivamente, en tanto que las sometidas a 5 ppm, tuvieron buen vigor y alcanzaron una talla de 79.3 cm. Por otra parte, al incrementarse la temperatura a 33.5°C, las plantas tratadas a 1, 5 y 10 ppm, mostraron tallo y cobertura poco vigorosos, y su talla promedio decayó desde un 9.5% a 5 ppm, hasta un 45.5% a 10 ppm. Estos resultados, permiten inferir que la temperatura y las diferentes concentraciones de ácido giberélico, actuaron de forma sinérgica sobre el desarrollo de estos organismos. Sin embargo, este efecto no fue letal, ya que en todos los lotes se mantuvo el 100% de sobrevivencia durante todo el seguimiento.



Gráfica 14. Efecto de los diferentes tratamientos pregerminativos sobre el crecimiento de los individuos de *S. didymobotrya*

CADMIO

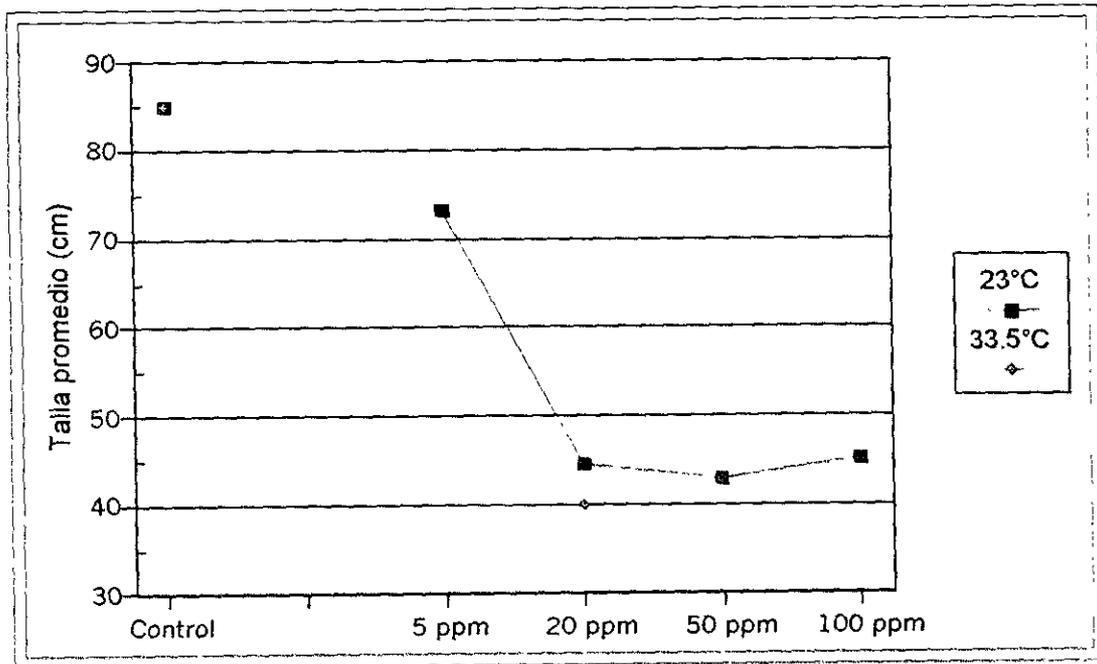
Como se resume en la Gráfica 15 y Anexo 4, las semillas que fueron tratadas con este metal durante su germinación, produjeron individuos adultos poco vigorosos y de lento crecimiento. Así, se observó que en los lotes sometidos a 23°C, la talla disminuyó conforme se incrementaron los niveles del metal, registrándose una máxima decaída del 55% a 1 ppm, en comparación con el control. Asimismo, el diámetro del tallo fue más delgado a esta concentración, al mismo tiempo que disminuyó el tamaño de las hojas y la cobertura foliar. Por otra parte, se encontró que a 33.5°C, los individuos de 1 y 5 ppm de cadmio no lograron desarrollarse, en tanto que a 0.5 y 10 ppm mostraron características morfológicas similares a las del lote a 23°C, ya que en ambas temperaturas a 10 ppm, hubo una reducción en la talla promedio del 53%, en comparación con el control. De esta forma, se registró un 40% de sobrevivencia a 23°C en el intervalo de 0.5 a 10 ppm, mientras que a 33.5°C esta fue sólo del 20% a 0.5 ppm y del 60% a 10 ppm, lo que permite inferir que el incremento de la temperatura aunado a la acumulación de cadmio, provocaron severos daños en estos organismos, letales en algunos casos, tal como lo menciona Farago (1994).



Gráfica 15. Efecto del Cadmio sobre el crecimiento de los individuos de *S. didymobotrya*

CROMO

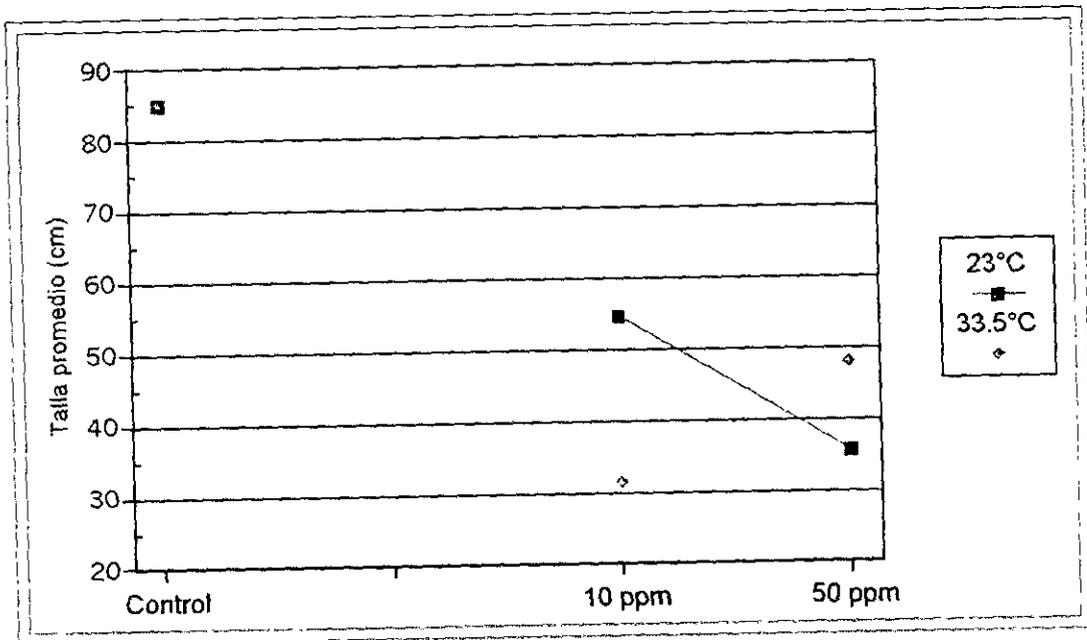
Con respecto a los cambios observados, en los individuos tratados con este metal pesado a 23°C, se registró un crecimiento poco vigoroso en el intervalo de 5 a 100 ppm, no obstante, a 200 ppm estos organismos murieron poco después de ser transplantados. De esta manera, como se observa en la Gráfica 16 y Anexo 4, el lote a 50 ppm fue el que mostró menor talla (43.0 cm) y escasa cobertura foliar de hojas pequeñas con síntomas de necrosis, debidas a la presencia de altas cantidades de este metal, como lo mencionan Fergusson (1991), Sallenave y Fomin (1997), en tanto que los individuos sometidos a 5 ppm, fueron los más vigorosos alcanzando una talla promedio de 73.2 cm. Por otra parte, a temperatura de 33.5°C, sólo lograron sobrevivir al trasplante los individuos de 20 ppm, quienes además de manifestar poca turgencia en tallo y hojas, tuvieron una reducción en la talla del 53%, comparada con el testigo. Así, dado que a 23°C el porcentaje de sobrevivencia disminuyó conforme aumentaron los niveles del metal y, a 33.5°C únicamente se estableció el 10% de los individuos con 200 ppm de cromo, se infiere que la temperatura y el metal, actuaron de forma sinérgica sobre el desarrollo de estos individuos.



Gráfica 16. Efecto del Cromo sobre el crecimiento de los individuos de *S. didymobotrya*

HIERRO

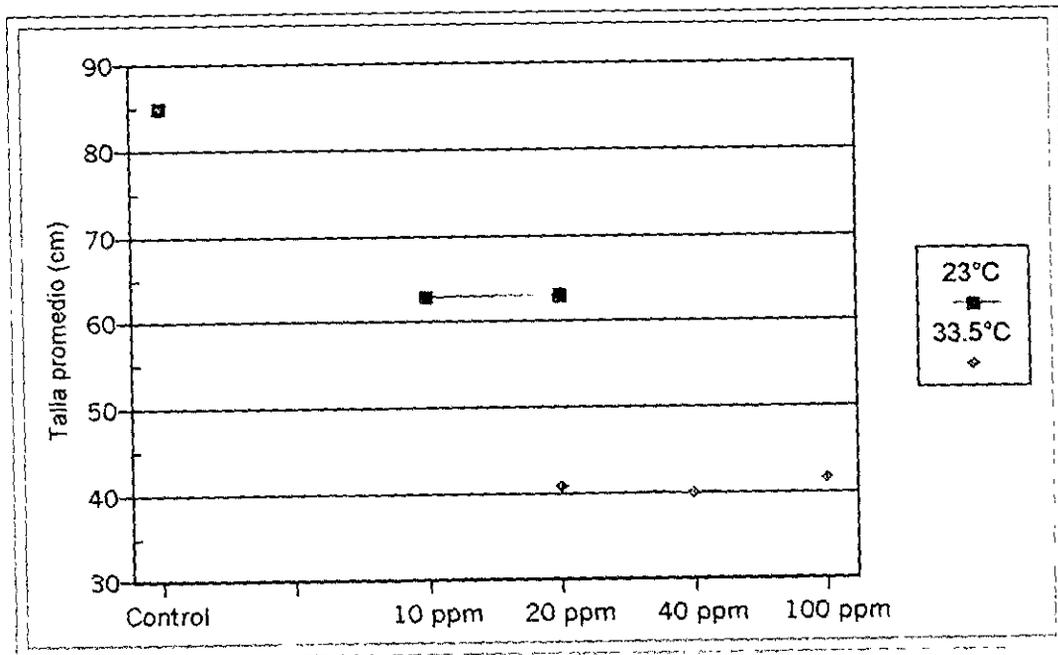
Como se observa en la Gráfica 17 y Anexo 4, el desarrollo de los individuos tratados con hierro a diferentes concentraciones (10 a 100 ppm), mostraron las mismas variaciones morfológicas, tanto a 23°C como a 33.5°C. Así, en el intervalo de 10 a 50 ppm, estos tuvieron poco vigor, talla promedio de 43 cm, escasa cobertura foliar, hojas pequeñas y registraron un 40% de sobrevivencia. No obstante, al incrementarse la concentración de este metal a 100 ppm, los organismos del lote a 23°C y 33.5°C murieron después del trasplante. Estos resultados denotan claramente, que el hierro afectó severamente el desarrollo de los organismos, lo cual se corrobora con el análisis de varianza realizado para el proceso de germinación de las semillas, donde se encontró que el efecto de la concentración fue más significativo ($P \leq 0.05$), que el de la temperatura.



Gráfica 17. Efecto del Hierro sobre el crecimiento de los individuos de *S. didymobotrya*

NIQUEL

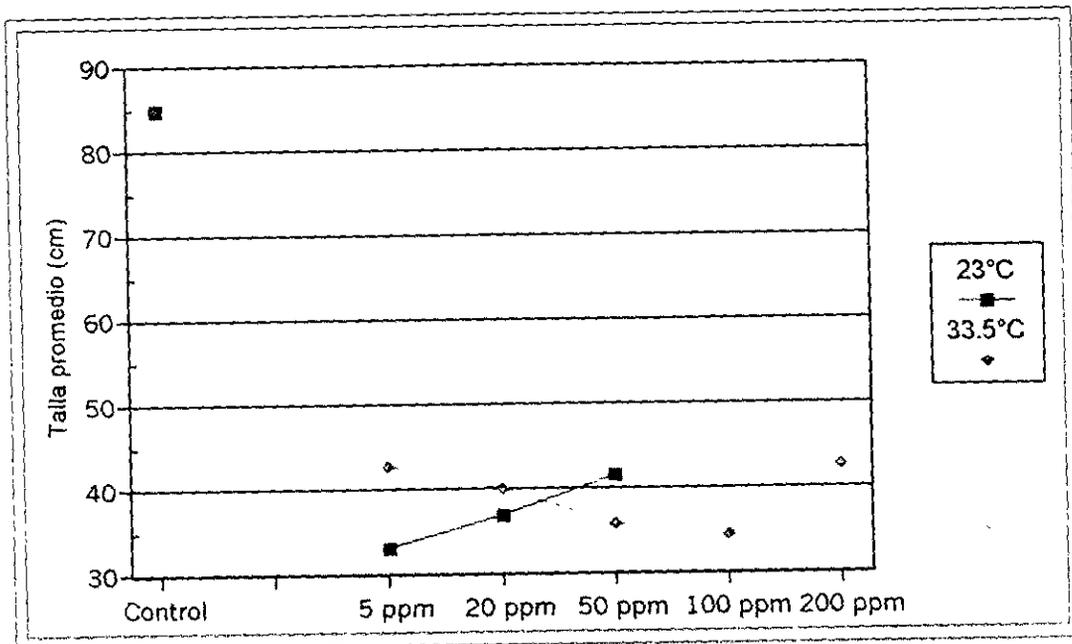
El Anexo 4, resume las características morfológicas que se observaron en los organismos provenientes de semillas tratadas con diferentes concentraciones de níquel a 23°C y 33.5°C, registrando que en la primera temperatura sólo se estableció el 40% de los lotes sometidos a 10 y 20 ppm, las cuales presentaron poco vigor y una talla promedio de 63 cm (ver Gráfica 18). Por otro lado, a 33.5°C se observó que los individuos del lote a 10 ppm, murieron poco tiempo después de ser transplantadas, en tanto que a 20, 40 y 100 ppm, los organismos mostraron muy poco vigor y la talla de los mismos se redujo hasta un 52%, en comparación con el testigo. Asimismo, la sobrevivencia a estas concentraciones, fue disminuyendo conforme aumentaron los niveles, obteniéndose un 40% a 10 ppm, un 20% a 40 ppm y un 10% a 100 ppm de níquel. De esta forma, se encontró que al incrementarse la temperatura, el desarrollo de los individuos se vio más afectado, lo cual permite deducir que el efecto de este parámetro fue significativo ($P \leq 0.05$), y se corrobora con lo encontrado por el análisis de varianza (ANAVA), realizado en la germinación de las semillas expuestas a diferentes cantidades de este metal.



Gráfica 18. Efecto del Níquel sobre el crecimiento de los individuos de *S. didymobotrya*

PLOMO

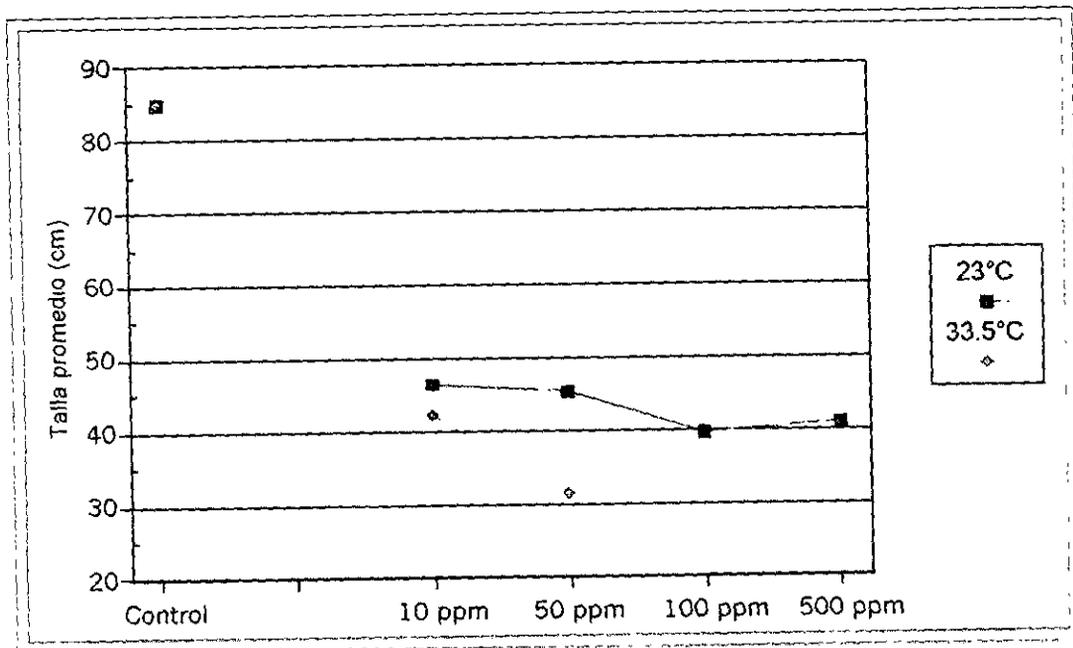
En los individuos expuestos a diferentes concentraciones de plomo, se observó que el vigor de los mismos disminuía conforme incrementaban los niveles del metal, tal como lo mencionan Davis (1989) y Farago (1994). De esta forma, la Gráfica 19 y el Anexo 4, muestran que en el intervalo de 5 a 50 ppm y temperaturas de 23°C, los organismos tuvieron un descenso del 56% en la talla promedio, y la sobrevivencia alcanzó únicamente el 40%. Sin embargo, a 100 y 200 ppm los individuos no lograron sobrevivir al transplante. Por otro lado, a 33.5°C se observó que los individuos más afectados morfológicamente, fueron los del lote a 100 ppm, quienes registraron un descenso del 59% en la talla promedio, comparada con el control. Asimismo, a esta temperatura se mantuvo el 40% de individuos establecidos, en los lotes de 5 a 100 ppm, incrementándose hasta el 60%, cuando los niveles fueron de 200 ppm. Por consiguiente, estos resultados muestran un efecto sinérgico de la temperatura y del metal, sobre el crecimiento de estos individuos, no obstante, cabe mencionar que fue más significativa ($P \leq 0.05$) la acción de la temperatura, de acuerdo a lo obtenido en el análisis de varianza elaborado durante el proceso de germinación de las semillas.



Gráfica 19. Efecto del Plomo sobre el crecimiento de los individuos de *S. didymobotrya*

CINC

De manera general, el crecimiento de los organismos tratados con este metal, se vio limitado en todas las concentraciones utilizadas (10 a 500 ppm), lo que se corrobora con lo encontrado por Moorey y Lieth (1990) y Tirado (1985), en los suelos contaminados con cinc. Así, como se observa en la Gráfica 20 y Anexo 4, los lotes del intervalo de 10 a 100 ppm, tuvieron menor vigor conforme incrementaban los niveles del metal. Por consiguiente, a 100 ppm hubo una reducción del 53%, en la talla promedio de los organismos y en la cobertura foliar, en comparación con el control, aunque la sobrevivencia se mantuvo constante en un 40%, para los expuestos a 10 y 50 ppm, mientras que a 100 ppm esta fue sólo del 20%. No obstante, a 200 ppm los individuos murieron poco después de ser transplantados, en tanto que a 500 ppm, estos mostraron un descenso del 51% en la talla promedio y su sobrevivencia fue del 10%. Por otro lado, se encontró que a 33.5°C, únicamente se establecieron los organismos sometidos a 10 y 50 ppm, quienes además de registrar una talla promedio de 37 cm, tuvieron escasa cobertura foliar con hojas muy pequeñas y tallos delgados. Asimismo, para estas concentraciones se observó una sobrevivencia del 40%, por tanto se puede inferir que la temperatura y el cinc, actuaron de forma sinérgica provocando que el desarrollo de estos individuos se viera alterado.



Gráfica 20. Efecto del Cinc sobre el crecimiento de los individuos de *S. didymobotrya*

METALES EN CONJUNTO (Cd, Cr, Fe, Ni, Pb y Zn)

Como se muestra en la Gráfica 21 y Anexo 4, las semillas que fueron sometidas a la acción sinérgica, de todos los metales pesados en estudio (Cd, Cr, Fe, Ni, Pb y Zn), durante su proceso de germinación, formaron individuos adultos con severas alteraciones morfológicas, tanto a 23°C como a 33.5°C. De esta forma, se registraron los siguientes resultados:

TRATAMIENTO 1: Cd, Cr, Fe, Ni, Pb y Zn (0.5, 5, 10, 10, 5 y 10 ppm)

Es importante comentar, que para estas concentraciones de metales pesados, sólo lograron establecerse el 40% de los organismos tratados a 33.5°C. Estos individuos registraron una talla promedio de 50 cm y, una cobertura foliar poco vigoroso con hojas muy pequeñas.

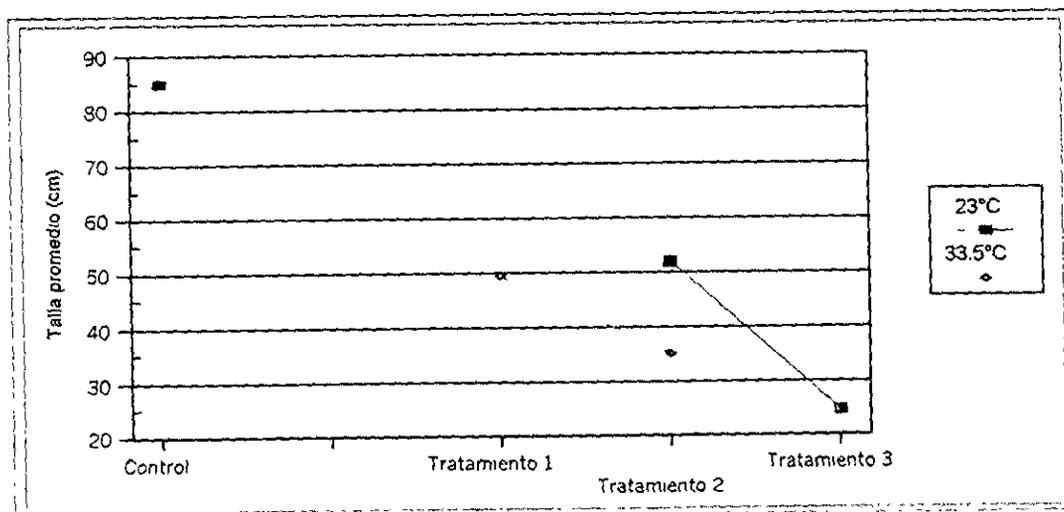
TRATAMIENTO 2: Cd, Cr, Fe, Ni, Pb y Zn (1, 20, 50, 20, 20 y 50 ppm)

Con respecto a los lotes expuestos con estos niveles de metales, se observó que a 23°C los individuos registraron una talla de 52 cm, en tanto que a 33.5°C, sólo alcanzaron los 35 cm. Asimismo, los individuos de ambas temperaturas presentaron escasa cobertura foliar y hojas pequeñas con síntomas de marchitez. Por consiguiente, se observó que a 23°C sobrevivió el 40% de los individuos, mientras que a 33.5°C lo hizo únicamente el 20%.

TRATAMIENTO 3: Cd, Cr, Fe, Ni, Pb y Zn (5, 50, 100, 40, 50 y 100 ppm)

Bajo estas condiciones, se encontró que sólo lograron desarrollarse el 20% de las plántulas que fueron sometidas a 23°C, las cuales mostraron poco vigor, tanto en el tallo como en la fronda, en comparación con el control. Asimismo, sufrieron una disminución en la talla del 70% y, mostraron hojas muy pequeñas con severos síntomas de clorosis y necrosis.

De esta forma, los resultados obtenidos para estos tres tratamientos, reflejan el efecto sinérgico de los metales pesados y la temperatura, siendo mayor el provocado por las diferentes concentraciones de estos elementos, ya que en estos lotes las hojas presentaron marchitez, clorosis y necrosis, síntomas que se deben a la acción conjunta de los mismos, de acuerdo a lo encontrado por Barcelo y Poschenrieder (1989) y Ross (1994).



Gráfica 21. Efecto sinérgico de los metales pesados sobre el crecimiento de *S. didymobotrya*

Así, resumiendo los resultados obtenidos en el seguimiento de los individuos, sometidos a diferentes tratamientos pregerminativos, se encontró que de manera general, el incremento de la temperatura aunado a la presencia de metales durante el proceso de germinación, provocó severos efectos sobre el crecimiento de estos organismos, los cuales van desde una disminución en la talla y vigor hasta la muerte de los mismos. De esta forma, el efecto que tienen los metales sobre el desarrollo de *S. didymobotrya* varió conforme lo hizo la temperatura, ya que a 23°C este decreció en el orden de Cr>Ni>Zn>Fe>Cd>Pb, en tanto que a 33.5°C siguió el orden Cr>Ni>Zn>Cd>Fe>Pb. Por consiguiente, se observó que el cromo, níquel y cinc fueron los que tuvieron mayor acción sobre el desarrollo de esta especie, cuando las semillas fueron expuestas a la acción de estos elementos, de manera individual. Igualmente, se encontró que los daños se hicieron más evidentes, cuando los metales pesados actuaron de forma sinérgica a 33.5°C. Por tanto, los efectos fueron más significativos ($P \leq 0.05$) cuando la temperatura se elevó a 33.5°C.

Por otra parte, es importante comentar que después de los trece meses que duro el seguimiento, se sacrificaron aleatoriamente algunos organismos, con el objetivo de observar la presencia de nódulos, encontrando que en ninguno de los tratamientos hubo presencia de estos, a diferencia de lo que reporta Sánchez (1980) para este género. La ausencia de nodulación, se debió a que el sustrato comercial en el que se transplantaron los organismos, presentó alto contenido de materia orgánica y pH ácido, por tanto la disponibilidad de nutrimentos es adecuada y los individuos no se vieron en la necesidad de establecer simbiosis con las bacterias fijadoras de nitrógeno.

6. CARACTERIZACIÓN DEL SUSTRATO DEL PARQUE RECREATIVO CUITLÁHUAC

Debido a la gran importancia que tiene el sustrato para el establecimiento de los organismos de *S. didymobotrya*, se caracterizó el que se encuentra sobre la columna de basura del hoy llamado Parque Cuitláhuac, con la finalidad de conocer el valor de sus diferentes parámetros físicos y químicos, dado que estos influirán directamente en el crecimiento y desarrollo de los mismos. Así, se tomaron muestras de una serie de 20 puntos de monitoreo, cuya ubicación se muestra en el Plano 1 y Anexo 5, lugares donde fueron introducidos los organismos de esta leguminosa. Cabe mencionar que el análisis de cada parámetro, se realizó por duplicado con un coeficiente de variación en promedio del 3.50%. De esta forma, los resultados obtenidos se resumen en la Tabla 10 y se describen a continuación:

COLOR

De acuerdo a la Tablas Munsell, los tonos observados van desde grises tendientes a marrón (2.5Y 6/2) hasta los marrones oscuros (10YR 3/3), cuya variación se puede inferir que es debido al diverso origen del material de relleno que proviene principalmente de obras de construcción y material de excavación

CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

El intervalo obtenido para este parámetro, con un coeficiente de variación del 4.43%, fluctúa del 0.3796 ds.m^{-1} al 14.6500 ds.m^{-1} , lo cual de acuerdo a Miramontes (1979) van desde sustratos no salinos hasta los extremadamente salinos. Sin embargo, es importante comentar que los valores más altos fueron de las muestras 11, 12 y 14, por lo que según Fitz (1985) no son sustratos aptos para las plantas, mientras que los más bajos resultaron ser de las muestras 3 a la 8, que por clasificarse como no salinos permiten el establecimiento de cualquier especie vegetal.

TEXTURA

Según el análisis granulométrico, la clasificación textural para los diferentes sitios de muestreo va desde los arcillosos, pasando por los migajones arcillo arenosos, hasta las arenas migajonosas, siendo estas últimas la más predominante y las más adecuada para el crecimiento vegetal, ya que las raíces pueden crecer libremente debido a la poca compactación que hay. No obstante, este tipo de sustrato facilita la lixiviación de los diferentes nutrimentos y del agua, ocasionando severas deficiencias de los mismos, sin mencionar que facilita el lavado de los contaminantes presentes en el sitio. Por otro lado, en aquellos sitios en donde predomina la arcilla la compactación es mayor por lo que el crecimiento radical se ve obstaculizado, al igual que la lixiviación, sin embargo, hay más sitios de adsorción de contaminantes.

DENSIDAD APARENTE Y REAL

Con respecto a estos resultados, los valores obtenidos, con un coeficiente de variación en promedio del 8.08%, tuvieron un mínimo de 0.7963 g/cc y 1.2940 g/cc y un máximo de 1.0641 g/cc y 2.0610 g/cc, respectivamente, registrándose los más altos en la densidad real para las texturas arcillosas. A pesar de esto, según Fitz (1985) estos intervalos son óptimos para el desarrollo radical, mientras que de acuerdo a Miramontes (1978) la densidad real está por debajo del ideal para el crecimiento vegetal.

RETENCIÓN DE HÚMEDAD

En este parámetro hubo un coeficiente de variación de 2.67% y una considerable diferencia del 22% entre los diferentes puntos de monitoreo, ya que el valor más pequeño fue del 36% para texturas arenosas, en tanto que el más alto fue del 58% para las arcillosas y arcillo arenosas debido a la elevada compactación que hay en estas, las cuales además tienden a ser poco drenadas.

CONTENIDO DE PEDREGOSIDAD

Debido al origen del material de cubierta, que como se menciona anteriormente provienen generalmente de obras de construcción y excavaciones, los valores registrados van desde el 27% hasta el 60%. Cabe destacar que este factor dificulta el crecimiento de las plantas, ya que las piedras encontradas no son sólo terrones sólidos de sustrato, sino también porciones de ladrillos y azulejos con elevadas cantidades de cemento y cal, además de grandes trozos de plástico y material textil, que actúan como barreras físicas impidiendo la elongación radical y la obtención de nutrimentos por parte de los vegetales.

POTENCIAL DE HIDRÓGENO

Para este parámetro, con coeficiente de variación del 0.17%, el intervalo registrado va del 7.49 al 9.13 y, de acuerdo a Miramontes (1978) y Moreno (1970) se clasifican como sustratos desde ligeramente alcalinos hasta fuertemente alcalinos, con grandes cantidades de sales solubles de sodio, potasio, magnesio y calcio (Ríos, 1985). El aporte de estas sales, provienen tanto del suelo natural como de los diferentes residuos sólidos que allí se depositaron, además de las que se encuentran presentes en el material de construcción empleado en la cubierta del sitio, las cuales tienden a subir por capilaridad en tiempo de sequía.

CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA

En este caso fue determinado tanto por vía húmeda como por combustión seca, registrando un coeficiente de variación promedio del 2.14% y una diferencia del 68% entre ambos métodos. Esta diferencia se debe a la presencia de grandes cantidades de carbono inorgánico, proveniente del material de relleno, que al ser incinerados por la segunda técnica, también fueron cuantificadas junto con el carbono orgánico, que se encuentra disponible para los individuos que fueron introducidos en el sitio. De esta forma, por vía húmeda y por vía seca se observaron valores que van del 11.59 al 16.88% y del 79.40 al 86.00%, respectivamente. De acuerdo a estos resultados, Miramontes (1978) y Moreno (1970) clasifican a este sustrato como extremadamente rico, aunque con los valores registrados de pH y conductividad eléctrica, la disponibilidad de nutrimentos hacia los vegetales es mínima, ya que generalmente hay deficiencias de fósforo y boro, según lo encontrado por Foth (1992).

De esta manera y en base a los resultados mencionados anteriormente, se observó que el sustrato analizado es totalmente heterogéneo, debido al origen del material de relleno, que además de influir en los diferentes parámetros físicos y químicos, actúa como barrera física limitando el establecimiento y desarrollo de los vegetales. Asimismo, los individuos que fueron introducidas en este sitio, tienen que vencer muchos obstáculos para establecerse, ya que el elevado contenido de materia orgánica y de arcilla en algunos puntos de monitoreo, provoca que hayan más sitios de adsorción de contaminantes, que al estar en contacto directo con las raíces de las mismas, se pueden hacer disponibles en el momento en que estas acidifiquen el pH del sustrato. De igual forma, dado que la mayoría de los puntos de monitoreo, presentan texturas arenosas, la retención de humedad disminuye al mismo tiempo que incrementa el espacio poroso del sustrato, lo que provoca que estos organismos sufran constantemente deficiencia de humedad, con la ventaja de que sus raíces se pueden desplazar con relativa facilidad a través de los poros en busca de la misma.

Tabla 10. Caracterización física y química del sustrato proveniente de los diferentes puntos de monitoreo de parque Recreativo Cuicláhuac

Punto No	Color Seco/Húmedo	Conductividad eléctrica (ds.m ⁻¹)	Textura (% de partículas)	Densidad aparente (g/cc)	Densidad real (g/cc)	% retención de humedad	% pedregosidad	pH	% M.O (Via húmeda)	% M.O (Via seca)
1	2 5Y 4/2 Marrón grisáceo 2 5Y 3/2 Marrón grisáceo muy oscuro	0.6936	Arena migajonosa (Arcilla=1.44, Limo=16.56 Arena=82.00)	1.0480	1.8638	40	37.41	7.76	12.75	179.41
2	2 5Y 6/2 Gris ligeramente marrón	0.5736	Arena migajonosa (Arcilla=2.16, Limo=17.28 Arena=80.56)	0.9240	1.4214	46	41.38	7.80	16.80	80.85
3	10YR 3/1 Gris muy oscuro 2 5Y 6/2 Gris ligeramente marrón	0.3796	Arena migajonosa (Arcilla=0.72, Limo=17.28 Arena=82.00)	0.9454	1.7047	47	44.43	7.84	13.45	81.19
4	10YR 3/1 Gris muy oscuro 10YR 6/3 Marrón pálido 10YR 3/2 Marrón oscuro	0.4985	Arena migajonosa (Arcilla=0.72, Limo=19.46 Arena=79.84)	0.9198	1.5796	51	27.24	7.49	14.50	80.34
5	2 5Y 6/2 Gris ligeramente marrón	0.4589	Arena migajonosa (Arcilla=1.44, Limo=18.72 Arena=79.84)	0.9330	1.2940	43	37.80	7.87	15.55	80.58
6	10YR 3/1 Gris muy oscuro 10YR 6/3 Marrón pálido 10YR 3/2 Marrón oscuro	0.4230	Arcilla arenosa (Arcilla=42.14, Limo=7.65 Arena=50.20)	0.9578	1.3313	45	53.47	8.06	15.42	80.66
7	10YR 6/2 Gris ligeramente marrón	0.4570	Arena migajonosa (Arcilla=2.54, Limo=23.32 Arena=74.14)	0.9410	1.3526	43	44.12	8.04	14.08	82.96
8	10YR 3/1 Gris muy oscuro 2 5Y 6/2 Gris ligeramente marrón	0.4730	Arena migajonosa (Arcilla=1.50, Limo=19.88 Arena=78.62)	0.9586	1.4689	45	53.06	8.11	16.36	80.91
9	10YR 3/1 Gris muy oscuro 10YR 5/3 Marrón 10YR 3/3 Marrón muy oscuro	0.5790	Migajón Arcillo arenoso (Arcilla=30.52, Limo=15.25 Arena=54.23)	1.0115	1.6450	39	43.51	8.40	15.56	82.87
10	10YR 5/2 Marrón grisáceo 10YR 3/2 Marrón grisáceo muy oscuro	0.6280	Migajón Arcillo arenoso (Arcilla=33.14, Limo=19.21 Arena=52.35)	0.9770	1.4212	46	56.16	8.15	15.43	86.00

Caracterización física y química del sustrato proveniente de los diferentes puntos de monitoreo del Parque Recreativo Cuixtlahuac (Continuación)

Punto No	Color Seco/Húmedo	Conductividad eléctrica (ds.m ⁻¹)	Textura (% de partículas)	Densidad aparente (g/cc)	Densidad real (g/cc)	% retención de humedad	% pedregosidad	pH	% M.O (Via húmeda)	% M.O (Via seca)
11	10YR 5/2 Marrón grisáceo 10YR 3/2 Marrón grisáceo muy oscuro	14.6500	Arcilloso (Arcilla=58.26, Limo=15.32 Arena=26.442)	1.0641	2.0610	40	53.14	8.64	11.75	81.13
12	10YR 5/3 Marrón 10YR 2/2 Marrón muy oscuro	12.7000	Arcilloso (Arcilla=68.70, Limo=25.14 Arena=6.16)	1.0390	2.0010	48	56.27	9.12	13.74	84.63
13	2.5Y 6/2 Gris ligeramente marrón	1.8701	Arcillo arenoso (Arcilla=44.26, Limo=13.15 Arena=42.59)	0.8377	1.7961	54	51.91	8.02	16.88	79.40
14	10YR 3/1 Gris muy oscuro 2.5Y 6/2 Gris ligeramente marrón	10.2800	Arena migajonosa (Arcilla=2.36, Limo=17.64 Arena=80.00)	0.9973	1.4690	45	51.13	8.54	16.58	84.83
15	10YR 3/1 Gris muy oscuro 2.5Y 6/2 Gris ligeramente marrón	0.6059	Arena migajonosa (Arcilla=1.62, Limo=19.24 Arena=79.14)	0.8819	1.7653	43	40.67	8.30	11.75	81.49
16	10YR 3/1 Gris muy oscuro 10YR 5/2 Marrón grisáceo 10YR 3/2 Marrón grisáceo muy oscuro	0.7718	Arena migajonosa (Arcilla=0.96, Limo=16.91 Arena=82.13)	0.7963	1.4563	46	47.99	8.04	13.78	80.80
17	10YR 6/3 Marrón pálido 10YR 3/2 Marrón oscuro	0.7259	Arena migajonosa (Arcilla=1.11, Limo=20.53 Arena=78.36)	1.0264	1.5420	39	59.08	8.83	14.89	83.99
18	10YR 5/3 Marrón 10YR 2/2 Marrón muy oscuro	0.6511	Arena migajonosa (Arcilla=2.12, Limo=24.73 Arena=73.15)	1.0284	1.8990	36	37.86	8.55	14.98	80.35
19	10YR 5/2 Marrón grisáceo 10YR 3/2 Marrón grisáceo muy oscuro	1.1931	Arena migajonosa (Arcilla=1.01, Limo=21.36 Arena=52.35)	1.0539	1.9714	43	47.52	9.13	16.15	85.80
20	10YR 3/3 Marrón oscuro 10YR 2/2 Marrón muy oscuro	5.1400	Arena migajonosa (Arcilla=2.00, Limo=22.72 Arena=75.28)	1.0029	1.8406	37	53.58	8.17	11.59	82.23

7. SEGUIMIENTO DE LAS PLANTAS INTRODUCIDAS EN EL SUSTRATO DEL PARQUE RECREATIVO CUITLÁHUAC

Con la finalidad de evaluar, el desarrollo y establecimiento de *S. didymobotrya* en ambientes impactados, se introdujeron veinte organismos de esta especie, en los diferentes puntos de monitoreo de la zona de estudio (ver Plano 1 y anexo 5). Para esto, se tomaron los individuos que contaban con buen vigor, talla mínima de 30 cm y pertenecientes al tratamiento de escarificado con lima a 23°C. Asimismo, cabe mencionar que estos individuos se transplantaron en marzo de 1999, dado que según Hartmann y Kester (1982), este es el mes más óptimo para realizar el proceso. El seguimiento tuvo una duración de 10 meses, tiempo durante el cual se hicieron constantes observaciones del vigor, talla y cobertura foliar, registrando como resultados los que se muestran en la Gráfica 22 y que se describen a continuación:

PUNTO No. 1

El organismo que se introdujo en este sitio, presentó muy buen vigor en su desarrollo durante todo el periodo de estudio. Su tallo fue turgente y grueso con diámetro de 3.8 cm, hojas verdes cuyo tamaño promedio fue de 3.2 cm, fronda de 46 cm y talla de 66 cm. En esta planta la inflorescencia se manifestó en junio y maduró hasta el mes de julio.

PUNTO No. 2

Con respecto a esta planta, se observó que fue la que tuvo mayor vitalidad, en comparación con los otros 19 organismos, ya que mostró tallo turgente con diámetro de 4.3 cm, hojas de color verde intenso con tamaños que fluctuaron entre los 3.5 cm y los 4.2 cm. Su fronda fue vigorosa con una cobertura de 58 cm y su talla alcanzó los 86 cm. Además su inflorescencia apareció a fines de mayo, y logró florecer a principios del mes de junio. Asimismo, es importante comentar, que su vigor fue constante a pesar de que hubo continuo ataque por orugas, las cuales consumían principalmente la flor.

PUNTO No. 3

Las características de este organismo fueron similares a las de los puntos 1 y 2, ya que su vigor fue muy bueno. Así, su tallo turgente logró un diámetro de 4.0 cm, sus hojas verdes tuvieron tamaños en promedio de 3.0 cm, su fronda fue vigorosa con una cobertura de 46 cm y su talla registró los 71 cm. La inflorescencia de este individuo se manifestó en junio y floreció hasta el mes de julio.

PUNTO No. 4

En esta planta se observaron variaciones muy pequeñas con respecto a los casos anteriores, mostrando así un tallo vigoroso cuyo diámetro alcanzó los 3.8 cm, en tanto que las hojas de color verde intenso, midieron en promedio 3.5 cm y la cobertura foliar y talla registraron los 53 y 70 cm, respectivamente. No obstante, a pesar de su buen vigor, en este individuo no se logró la floración, ya que durante su seguimiento no hubo presencia de inflorescencia.

PUNTO No. 5

En general, el desarrollo de este organismo fue vigoroso, ya que su tallo turgente logró un diámetro de 4.0 cm y sus hojas tuvieron un tamaño promedio de 3.6 cm. Asimismo, su fronda mantuvo una cobertura foliar de 53 cm, en tanto que su talla sólo alcanzó los 63 cm durante todo su seguimiento. De igual forma, la inflorescencia apareció a fines de mayo y maduró en el mes de junio, aunque se registró la presencia de orugas que se alimentaban de la misma.

PUNTO No. 6

Con respecto al individuo introducido en este punto, se observó que durante los dos primeros meses después del trasplante su crecimiento fue vigoroso, sin embargo, conforme transcurrió el tiempo este decayó, por lo que su tallo tuvo un diámetro de 3.5 cm, sus hojas alcanzaron un tamaño promedio de 3.0 cm y aunque su cobertura foliar registró los 43 cm, su talla únicamente logró los 50 cm. A pesar de esto, su inflorescencia apareció a fines de junio y maduró hasta el mes de julio, sin que hubiera infestación de orugas.

PUNTO No. 7

El desarrollo de esta planta fue menos vigoroso, en comparación con los que fueron introducidos en los puntos anteriores, dado que en ella se observó un tallo con diámetro de 3.4 cm, hojas con tamaños de 3.0 cm, cobertura foliar de 46 cm y talla de 45 cm. Por consiguiente, debido a su poca turgencia, no se logró la inflorescencia durante todo su seguimiento y, se registró una elevada infestación de hormigas distribuidas en el tallo y hojas del organismo.

PUNTO No. 8

Al igual que en el punto 7, este organismo mostró poco vigor. Su tallo logró un diámetro de 3.2 cm y sus hojas fueron medianas, con tamaños en promedio de 2.9 cm, mientras que su cobertura foliar y talla alcanzaron sólo los 37 y 45 cm, respectivamente. Por consiguiente, tampoco hubo inflorescencia durante todo su seguimiento.

PUNTO No. 9

El vigor de este individuo fue decayendo conforme transcurrió el tiempo, logrando al final del seguimiento una talla de sólo 40 cm. De igual forma, su tallo aunque turgente, tuvo un diámetro de 2.9 cm, en tanto que sus hojas midieron en promedio 2.3 cm y su escasa cobertura foliar alcanzó los 37 cm, a pesar de esto, logró formarse la inflorescencia a fines del mes de junio, la cual maduró durante el mes de agosto.

PUNTO No. 10

Para la planta introducida en este punto, se registró un crecimiento poco vigoroso, ya que su tallo con diámetro de 2.6 cm tuvo poca turgencia, mientras que sus hojas alcanzaron un tamaño promedio de 2.6 cm. Igualmente, mostró una cobertura foliar de 40 cm y una talla de 44 cm. En este caso, también apareció la inflorescencia en junio y, la maduración ocurrió en el mes de agosto, aunque hubo gran infestación de orugas.

PUNTO No. 11

El organismo que se desarrolló en este punto de monitoreo, mostró poco vigor durante el tiempo que duró el seguimiento. Así, su tallo tuvo un diámetro de 2.6 cm y sus hojas midieron en promedio 2.3 cm, en tanto que su fronda alcanzó los 40 cm de cobertura y su talla fue de 57 cm. También, es importante comentar, que las hojas de este individuo mostraron síntomas de deficiencia de humedad, ya que estaban muy marchitas a causa de este fenómeno. A pesar de esto, la inflorescencia apareció en junio y floreció en el mes de agosto.

PUNTO No. 12

La planta que se introdujo en este punto de muestreo, tuvo crecimiento poco vigoroso, registrando así un tallo cuyo diámetro alcanzó sólo los 2.0 cm, hojas pequeñas con tamaño promedio de 2.0 cm y, cobertura foliar y talla de 40 y 50 cm, respectivamente. También, se observó severo marchitamiento de las hojas que además tenían síntomas de clorosis, por tanto este organismo no logró formar la inflorescencia, a diferencia del caso anterior donde hubo presencia de la misma.

PUNTO No. 13

El desarrollo de este individuo fue más vigoroso, en comparación con los puntos anteriores, dado que su tallo tuvo mayor turgencia y un diámetro de 3.0 cm, sus hojas mostraron un tamaño promedio de 2.8 cm y su cobertura foliar fue de 46 cm, en tanto que su talla sólo alcanzó los 46 cm. Por tanto, la inflorescencia apareció en junio y su maduración se registró en el mes de agosto, periodo durante el cual hubo mayor infestación de hormigas.

PUNTO No. 14

Con respecto a la planta introducida en este punto, se encontró que su desarrollo disminuía en vigor conforme transcurría en tiempo, logrando al final de su seguimiento una talla de sólo 35 cm. Igualmente, su tallo poco turgente mostró un diámetro de 2.0 cm, tamaño similar al de sus hojas, en tanto que su cobertura foliar fue únicamente de 33 cm. A pesar de ello y, aunque hubo severa infestación de hormigas, este organismo produjo su inflorescencia a fines de junio y floreció en el mes de agosto.

PUNTO No. 15

En este organismo se observó poco vigor en su crecimiento, ya que su tallo tuvo un diámetro de 2.6 cm y sus hojas registraron un tamaño promedio de 2.1 cm, en tanto que su cobertura foliar y talla, fueron de sólo 42 cm, para ambas. Además, al igual que las otras plantas, su inflorescencia apareció en junio y maduró en el mes de agosto.

PUNTO No. 16

Las características morfológicas que este individuo presentó como adulto fueron más vigorosas, registrando así un tallo turgente con diámetro de 3.0 cm, hojas con tamaño promedio de 3.2 cm y cobertura foliar de 45 cm, en tanto que su tallo logró los 53 cm. Del mismo modo, su inflorescencia se produjo en mayo y floreció en el mes de junio.

PUNTO No. 17

El vigor de esta planta, fue similar a la introducida en el punto 16, ya que su tallo también logró un diámetro de 3.5 cm y sus hojas tuvieron un promedio de 3.0 cm, por lo que su cobertura foliar fue más turgente y alcanzó los 50 cm, al igual que su talla. Asimismo, se produjo la inflorescencia a fines de mayo y, maduró durante el mes de junio.

PUNTO No. 18

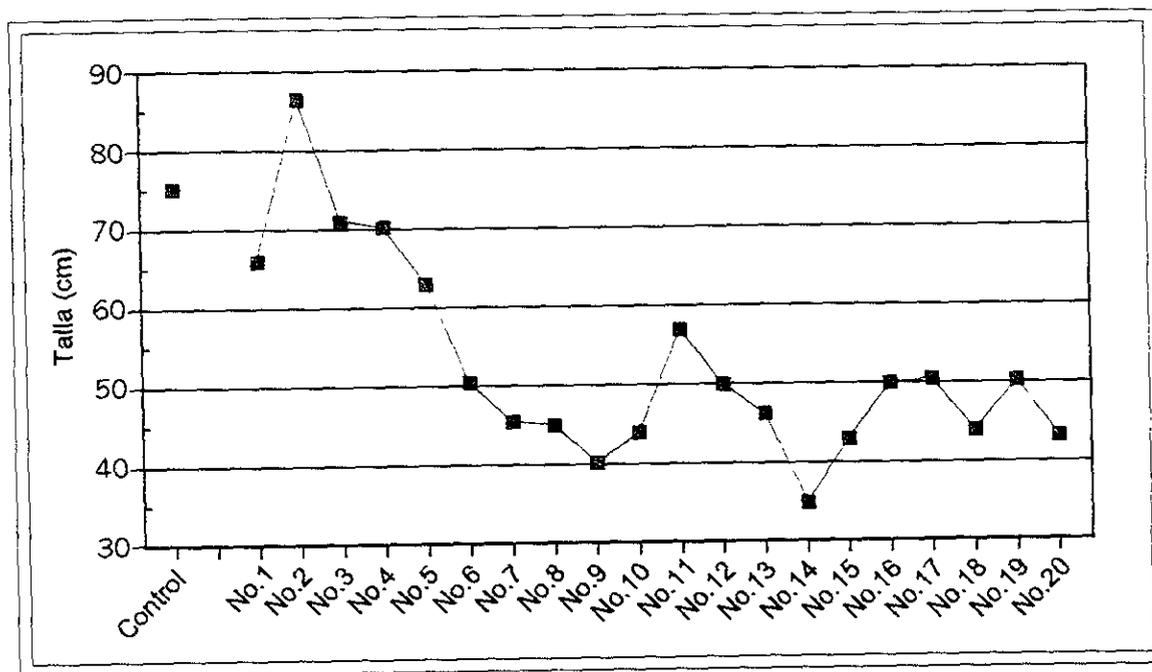
Para esta planta se registró un desarrollo poco vigoroso, dado que el tallo tuvo un diámetro de 2.8 cm en tanto que sus hojas, poco turgentes, midieron en promedio 2.2 cm y produjeron una fronda de escaso vigor que alcanzó sólo los 35 cm de cobertura. Igualmente, se registró una talla de 44 cm y hubo infestación tanto de orugas como de hormigas, además de que este individuo no produjo inflorescencia durante todo su seguimiento.

PUNTO No. 19

Respecto al organismo introducido en este punto de monitoreo, se observó un tallo turgente con diámetro de 3.2 cm y hojas medianas, cuyo tamaño promedio fue de 2.8 cm, en tanto que su cobertura foliar y talla alcanzaron los 42 y 50 cm, respectivamente. Asimismo, la inflorescencia de esta planta apareció durante el mes de junio y logró florecer a principios de agosto.

PUNTO No. 20

Al igual que el caso anterior, este individuo mostró regular vigor, dado que su tallo turgente tuvo 3.6 cm de diámetro, hojas con tamaño promedio de 2.7 cm y fronda cuyo cobertura sobrepasó los 36 cm, mientras que su talla fue sólo de 43 cm. La inflorescencia, de buen vigor, apareció en junio y maduró en el mes de agosto.



Gráfica 22. Crecimiento de los individuos de *S. didymobotrya* introducidos en los diferentes puntos de monitoreo del ex-tiradero de Sta. Cruz Meyehualco

De esta forma, haciendo un análisis general, se observó que si bien hubo un 100% de sobrevivencia, el establecimiento y desarrollo de *S. didymobotrya*, dependió tanto de la capacidad de adaptación de los individuos, como de los diferentes parámetros físicos, químicos y biológicos del sustrato de la zona de estudio, dado que como se describió anteriormente, la vitalidad de los mismos fue totalmente heterogénea al igual que lo fue la caracterización del mismo.

Así, las plantas de esta especie, mostraron poco vigor en aquellos puntos clasificados como fuertemente alcalinos y fuertemente salinos (Miramontes, 1978; Moreno, 1970), lo cual se ratifica con lo mencionado por Fitz (1985), mostrando además de tallos muy delgados, severos síntomas de marchitamiento y clorosis, debido a que la incorporación de agua y elementos esenciales se ven alterados por la presencia de elevadas concentraciones de sales, como lo comentan Rendig y Howard (1989). Del mismo modo, en estos puntos se registró textura arcillosa, por lo que los sitios de adsorción tanto de nutrimentos como de contaminantes incrementan el potencial tóxico del sustrato, al igual que la probabilidad de que se solubilicen y sean incorporados por las plantas.

Por otra parte, los individuos que presentaron buen vigor fueron los que se introdujeron en los puntos del 1 al 5, donde la alcalinidad osciló entre ligera y media, la salinidad resultó ser mínima y la textura fue arena migajonosa (Miramontes, 1978; Moreno, 1970; Ríos, 1985), por tanto a estos organismos se les tenía que proporcionar agua de manera más constante, debido a que el sustrato se drenaba fácilmente y la elevada pérdida de humedad, provocaba deficiencia de humedad en las mismas. Por consiguiente, la lixiviación de agua, nutrimentos y contaminantes, es mayor en estos puntos en comparación con aquellos sustratos cuya textura fue arcillosa, lo que provocó que las plantas aquí introducidas, tuvieran mejor aireación pero también mayor escasez de elementos esenciales para su desarrollo, tal como lo menciona Farago (1994).

Con base a lo analizado anteriormente, se puede decir que las condiciones desfavorables que existen en este sitio de disposición final causaron un pobre desarrollo en los individuos de *S. didymobotrya*, lo que se corrobora con lo mencionado por Davis (1989) y Gilman, et al., (1981). También, se observó que los parámetros del sustrato que influyen en el establecimiento y desarrollo de esta especie fueron el pH, la conductividad eléctrica y la textura, ya que a mayor valor de los dos primeros hay menor crecimiento, en tanto que con texturas arenosas los organismos presentan *stress* hídrico.

Asimismo, es importante señalar, que todos los individuos introducidos en la zona de estudio mostraron menor talla y floración precoz, en comparación con los que se desarrollaron bajo condiciones de invernadero, ya que su talla se vio reducida desde un 5% hasta un 53%, a excepción del que fue transplantado en el punto de monitoreo número dos, donde la misma alcanzó los 86 cm. Con respecto a la floración, se observó que después de dos meses de haber sido introducidos, la inflorescencia apareció en aquellos organismos que presentaban buen vigor, en tanto que los que contaban con poca vitalidad ésta se logró hasta los tres meses. Por tanto, dado que las plantas que crecieron en el invernadero no formaron inflorescencia durante todo el experimento, se infiere que este fenómeno puede atribuirse a la toxicidad por contaminantes, o bien a la deficiencia de nutrimentos, lo cual provocó un marcado *stress* vegetal tanto físico como fisiológico, ocasionando que la planta respondiera con esta adaptación, cuya principal finalidad es perpetuar su especie.

Por otro lado, para evaluar el efecto que tienen los diferentes parámetros del sustrato, tanto físicos como químicos, sobre la nodulación de esta leguminosa, se sacrificaron aleatoriamente cinco organismos, con la finalidad de observar sus raíces y la formación de nódulos en las mismas. Así, se registró que en ningún caso hubo presencia de tal fenómeno, debido a que las elevadas temperaturas y concentraciones de sales, que se registran en este lugar, aunadas a la baja disponibilidad de oxígeno y humedad, inhiben esta asociación simbiótica, alterando de este modo la fijación de nitrógeno y la disponibilidad de este nutrimento esencial para la vida de cualquier vegetal, tal como lo mencionan Dowling y Broughton (1986), Garcidueñas (1979) y Zhang, et al. (1995).

CONCLUSIONES

Las semilla de *Senna didymobotrya*, utilizadas en está investigación, presentaron las siguientes características:

- Latencia morfológica, debido a una testa dura y gruesa
- 100% de viabilidad, cuando no son depredadas
- 2% de germinación en un período de tres meses, bajo condiciones naturales

Al evaluar el efecto de las temperaturas psicrófilas, mesófilas y termófilas, y la presencia de metales pesados, sobre el proceso de germinación de estás semillas, se observó lo siguiente:

- 100% de germinación en un período de seis días, cuando fueron escarificadas con lima e incubadas a 23°C
- 98% de germinación en un período de seis días, cuando fueron escarificadas con lima e incubadas a 33.5°C
- Las temperaturas de 0°C y 55°C, inhibieron totalmente la germinación
- El Fe y el Cr, fueron los metales que más afectaron la germinación de las semillas
- Fue más severa la acción sinérgica de los metales pesados en conjunto, en comparación con la presencia de un sólo elemento
- El Fe, resultó ser el metal que más absorbieron los embriones, durante el proceso de germinación
- La temperatura de 33.5°C, tuvo un efecto significativo ($P \leq 0.05$) en la germinación de las semillas y, en la absorción de metales pesados

Durante el seguimiento de los individuos de esta especie, expuestos a diferentes tratamientos, se registró que:

- El Cr tuvo mayor efecto negativo sobre el desarrollo de los organismos
- El desarrollo de los individuos se alteró significativamente ($P \leq 0.05$), cuando los metales actuaron de forma sinérgica
- Las plantas obtenidas de semillas tratadas a 33.5°C, mostraron menor talla y poco vigor en el tallo y fronda, con respecto a las sometidas a 23°C

Al analizar el desarrollo de los individuos de *S. didymobotrya*, introducidos en el Parque Recreativo Cuitiáhuac, se concluye lo siguiente:

- Hubo un 100% de establecimiento
- El establecimiento de esta especie esta asegurado, si hay un adecuado suministro de humedad
- Está leguminosa, es resistente a elevadas concentraciones de salinidad y altas temperaturas
- El vigor y talla de estos organismos, se vio alterado por los diferentes parámetros físicos y químicos del sustrato, siendo los más importantes el potencial de hidrógeno, la salinidad y la textura
- La temperatura, salinidad, disponibilidad de oxígeno y humedad, resultaron ser los factores que más influyeron negativamente en la nodulación de esta especie.

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- Albaiges, J. Casado, F. y Ventura, F. 1986. **Organic indicators of groundwater pollution by a sanitary landfill**, *Wat. Res.*, **20**, (9): 1153-1159.
- Allen, E. H., Huang, P.C., Bailey, W.G. y Bowers, R. A. 1995. **Metal especiación y contaminación of soil**, Lewis-Publishers, London, p. 358.
- Bagchi, A. 1990. **Desing construction y monitoring of sanitary landfill**, Wiley-Interscience, New York, p.378.
- Bailey, H.L. 1991, **Manual of cultivated plants: Most commonly grown in the continental United States y Cánada**, Mc.Millan Publishing, New York, p. 586.
- Barcelo, J. y Poschenrieder, Ch. 1989. **Estrés vegetal inducido por metales pesados**, *Investigación y Ciencia*, (154): 55-63.
- Beeman, R.E. y Sufita, J.M. 1987, **Microbial ecology of a shallow unconfined ground water aquifer polluted by municipal landfill leachate**, *Microb. Ecol.*, **14**, (1): 39-54.
- Beckwith, R.S. 1986. **The estimation of Cu, Fe, Zn y Mn in single digests of small plant samples by atomic absorption spectrophotometry**, *Commonwealth Scientific y Industrial Research*, **18**: 23-28
- Bewley, J.D. y Black, M. 1994. **Seeds physiology of development y germination**, 2a ed., Plenum Press, New York, p. 439.
- Centro de Estudios del Territorio Nacional (CETENAL). 1978. **Carta topográfica**, Serie CETENAL, Escala 1:50 000, México.
- Chan, G.Y., Wong, M.W. y Whitton, B.A. 1991. **Efects of landfill gas on subtropical woody plants**, *Environ. Manage*, **15**, (3): 411-431.
- Chapman, Q.H. 1979. **Métodos de análisis para suelos, plantas y aguas**, Trillas, México, D.F., p.195.
- Christensen, H.T., Cassu, R. y Stegmann, R. 1989. **Sanitary landfilling: Process technology y environmental impact**, Academic Press, London, p. 296.
- Contín, A. 1984. **Investigación de suelos: Métodos de laboratorio y procedimientos para recoger muestras**, Trillas, México, D.F., p. 90.
- Cureton, P M., Groenevelt, P. M. y Mc.Bride, R.A. 1991. **Landfill leachate recirculation: Effects on vegetation vigor y clay superface cover infiltration**, *J. Environ. Qual.*, **20**, (1): 17-24.
- Davis, B.N.K. 1989. **Habitat creation for butterflies on a landfill site**, *Entomologist*, **108**, (1-2): 109-122.

- Demetracopoulos, C.A., Korfiatis, P.G., Boudrimos, L.E. y Nawy, G.E. 1986. **Unsaturated flow through solid waste landfills: Model y sensitivity analysis**, *Water Resources Bulletin*, **22**, (4): 601-609.
- Díaz, F.L., Savage, M.G., Eggerth, L. y Golueke, G. 1993. **Composting y recycling: Municipal solid waste**, Lewis-Publishers, Florida, p.240.
- Dowling, D.N. y Broughton, W.J. 1986. **Competition for nodulation of legumes**, *Ann. Rev. Microbiol.*, (40): 131-157.
- Echeverría, L. 1986. **La contaminación en México**, Fondo de Cultura Económica, México, D.F., p. 386.
- Ederra, I. A. 1996. **Botánica ambiental aplicada: Las plantas y el equilibrio ecológico de nuestra tierra**, Edición experimental, EUNSA, Navarra, España, p. 205.
- Estadísticas del Medio Ambiente, 1998. **Informe de la situación general en materia de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente: 1995-1996**, INEGI, México, D.F., p. 168.
- Farago, E.M. 1994. **Plants and the chemical elements: Biochemistry, uptake, tolerance y toxicity**, VCH, New York, p. 285.
- Fergusson, E.J. 1991. **The heavy element: Chemistry environmental impact y health effects**, New Zealand, p. 480.
- Fitz, P.E. 1985. **Suelos: Su formación, clasificación y distribución**, CECSA, México, D.F., p. 430.
- Foth, H. D. 1992. **Fundamentos de la ciencia del suelo**, Continental, México, D.F., p. 424.
- Galvan, V.A., López, V.L. y García A.M. 1995. **Caracterización del extiradero de Santa Cruz Meyehualco y su efecto en la vegetación utilizada en la forestación**, *Boletín de Investigación, Educación y Nexos*, **2**, (2): 17-20.
- Gandy, A. y Gandy E. 1980. **Microbiological for environmental y engeniery**, Mc.Graw-Hill, New York, p. 602.
- Garcidueñas, R.M. 1979. **Principios de fisiología vegetal**, UNAM, México, D.F., p. 234.
- Gaucher, G. 1971. **Tratado de edafología agrícola: El suelo y sus características agronómicas**, Omega, Barcelona, p. 647.
- Gilman, F.E., Leone, A.I. y Flower, B.F. 1981. **The adaptability of 19 woody species in vegetating a former sanitary landfill**, *Forest. Sci.*, **27**, (1): 13-18.
- González, G.F. y Jiménez, M.F. 1999. **Parque Cuitláhuac**, *Boletín de la Ciudad de México*.
- Guía Roji. 1994. **Ciudad de México: Área Metropolitana y alrededores**.
- Harkov, R., Gianti, S.t., Bazzell, J.W. y LaRegina, J.E. 1985. **Monitoring volatile organic compounds at hazardous y sanitary landfills in Ney Jersey**, *J. Environ. Sci. Health*, **20A**, (5):491-501.

- Hartmann, H.T. y Kester, D.E. 1982. **Propagación de plantas: Principios y prácticas**, CECSA, México, D.F., p.458.
- Hill, A.T. 1984. **Hormonas reguladoras del crecimiento vegetal**, Cuadernos de Biología, Omega, Barcelona, p.74.
- Hook, D.D. y Crawford, R.H. 1978. **Plant life in anaerobic environments**, Arbor Science Publishers, Michigan, p.563.
- INEGI, 1998. **Cuaderno Estadístico del Distrito Federal: Delegación Iztapalapa**, , México, p. 98.
- INEGI, 1999. **Estadísticas del Medio Ambiente del Distrito Federal y Zona Metropolitana**, México, D.F., p.218.
- Infante, S. y Lara, Z.G. 1997. **Métodos estadísticos: Un enfoque interdisciplinario**, Trillas, México, D.F., p.641.
- Jackson, Y. 1982. **Análisis químico del suelo**, Omega, Barcelona, p. 198.
- Johnson, R. 1990. **Estadística elemental**, Iberoamérica, México, D.F., p. 592.
- Jones, G.H. 1992. **Plants y microclimate: A quantitative approach to environmental plant physiology**, 2a ed., Cambridge University Press, New York, p. 413.
- Laquidara, M.J., Leuschner, A.P. y Wise, D.L. 1986. **Procedure for determining potencial gas quantities in an existing sanitary landfill**, *Wat. Sci. Tech.*, **18**, (12): 151-162.
- Leal, M., Chávez, V. y Lorrail, L. 1996. **Temas ambientales: Zona Metropolitana de la Ciudad de México**, UNAM, México, D.F , p. 267.
- Liptak, B.G., 1974. **Environmental enginers handbook**, Chilton Book Co, Vol.3 Land Pollution, p. 378.
- Lock, J.M. 1989. **Legumes of Africa: A check-list**, Royal Botanic Gardens Kew, U.K., p.619.
- López, A. 1991. **Reellenos sanitarios: Una alternativa más**, *Ecológicas II*, **2**, (2): 1-19.
- López, J.R. 1990. **El diagnostico de suelos y plantas: Métodos de campo y laboratorio**, 4a ed., Mundi-Prensa, España, p. 363.
- Lopez, V.F. 1978. **Incidencia de los vertidos de residuos sólidos urbanos en la contaminación de las aguas subterráneas del Área Metropolitana de Madrid**, *Boletín Informativo del Medio Ambiente*, **8**, (1): 71-79.
- Markert, B. 1993. **Plants as biomonitors: Indicators for heavy metals in the terrestrial enviroment**, VCH, New York, p. 644.
- Marschner, H. 1995. **Mineral nutrition of higher plants**, Academic Press, London, p. 245.
- Miramontes, L.H. 1978. **Interpretación agronómica de datos de análisis físicos y químicos de suelos y plantas**, Subdirección de Agrología, SARH, México, D.F , p. 123.

- Moorey, A.H. y Lieth, H. 1990. **Ecological response to environmental stress**, Kluwer Academic, New York, p.423.
- Moreno, D.R. 1970. **Tablas de clasificación para parámetros químicos**, Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, SARH, México, D.F., p. 165.
- Munsell, 1975. **Soil color charts**, Macbeth Division of Kollmorgen Corporation, Baltimore.
- Nathanson, A.J. 1997. **Basic environmental technology: Water supply waste management y pollution control**, 2a. ed., Prentice-Hall, New Jersey, p. 415.
- Odum, P. E. 1986. **Ecología**, Continental, México, D.F., p. 295.
- Öpik, H. 1983. **La respiración de las plantas superiores**, Cuadernos de Biología, Omega, Barcelona, p. 66.
- Palmisano, A.C., Maruscik, A.D. y Schwab, S.B. 1993. **Enumeration of fermentative y hidrolitic micro-organisms from three sanitary landfills**, *J. General Microbiology*, **139**, (2): 387-391.
- Patterson, D.B. y Graham, D. 1987. **The biochemistry of plants**, Vol.12, Academic Press, New York, p. 358.
- Pfeffer, T.J. 1992. **Solid waste management engineering**, Prentice-Hall, New Jersey, p.328.
- Pulido, H.E., Tapia, Ch.B. y Muñoz, L. 1995. **Educación ambiental**, Patria, México, D.F., p. 184.
- Ray, T.B. 1995. **Environmental engineering**, PWS Publishing Company, New York, p. 348.
- Reimers, R.S., Dekerman, P.S. y Abdelghani, A.A. 1986. **Long-term assessment of non-hazardous oilfield waste pits**, *Biocycle*, **27**, (7): 44-48.
- Rendig, V.V. y Howard, M.T. 1989. **Principles of soil interrelationships**, Mc.Graw-Hill, New York, p.250.
- Restrepo, I.P. 1985. **La basura: Consumo y desperdicio**, Centro de Ecodesarrollo, México, D.F., p. 365.
- Richardson, M. 1979. **Translocación en las plantas**, Omega, Barcelona, p. 73.
- Rios, G.R. 1985. **Material didáctico de laboratorio integral de Biología IV: Prácticas del módulo de suelo, séptimo semestre**, FES Zaragoza, México, D.F., p. 163.
- Robinson, D.H. y Maris, J.P. 1983. **The treatment of leachates from domestic wastes in landfills**, *Water Rev.*, **17**, (11): 1537-1548.
- Ross, M.S. 1994. **Toxic metals in soil-plant systems**, John-Wiley & Sons, New York, p.451.
- Rzedowski, J.M. 1979. **Flora fanerogámica del Valle de México**, Continental, Vol.2, México, D.F., p. 283.
- Salisbury, B.F. y Ross, W.C. 1994. **Fisiología vegetal**, Iberoamericana, México, D.F., p.326.

- Sallenave, R. y Fomin, A. 1997. **Some advantages of the duckweed test to assess the toxicity of environmental samples**, *Acta Hydrochimica et Hydrobiologica*, **25**, (3): 135-140.
- Salomons, W. y Stigliani, W.M. 1995. **Biogeochemistry of pollutants in soil and sediments**, Springer-Verlag, Berlin, p. 352
- Salvato, J.A. 1982. **Environmental engineering and sanitation**, John-Wiley & Sons, New York, p. 289.
- Sánchez, S.O. 1980. **La flora del Valle de México**, Herrera, México, D.F., p. 376.
- Schultz, B. y Kjeldsen, P. 1986. **Screening of organic matter in leachates from sanitary landfills using gas chromatography combined with mass spectrometry**, *Wat. Res.*, **20**, (8): 965-970.
- Sutcliffe, J. 1979. **Las plantas y la temperatura**, Cuadernos de Biología, Omega, Barcelona, p.63.
- Tena, G. 1995. **La basura: Un recurso desperdiciado**, *Ciencia y desarrollo*, **19**, (121): 88-90.
- Tirado, N.D. 1985. **Contaminación de las aguas superficiales por metales pesados y sus efectos en suelos y cultivos**, *Rev. Inf. Univ. Queretaro*, (12): 108-120.
- Tong, T. y Wong, M.H. 1984. **Bioassay tests of landfill leachate using *Brassica chinensis* and *Cynodon dactylon***, *Conserv. recycling*, **7**, (2): 283-294.
- Trejo, V.R. 1987. **La disposición de desechos sólidos urbanos**, *Ciencia y Desarrollo*, **13**, (74): 79-89.
- Turk, A., Turk, J. y Wittes, J. 1981. **Tratado de Ecología**, Interamericana, México, D.F., p. 520.
- Viscaino, M.F. 1975. **La contaminación de México**, Fondo de Cultura Económica, México, D.F., p. 514.
- Villee, A. C. 1996. **Biología**, McGraw-Hill, 8va. ed., México, D.F., p.944.
- Weberling, F. y Schwantes, H.O. 1987. **Botánica sistemática**, Omega, Barcelona, España, p.423.
- Zhang, J., Liang, J. y Wong, M.H. 1995. **The effect of high CO₂ concentrations in simulated landfill gas on the growth and nodule activity of *Leucaena leucocephala***, *Plant Cell Physiol.*, **36**, (8): 1431-1438.

ANEXOS

ANEXO 1

TRATAMIENTOS PREGERMINATIVOS (Hartmann y Kester, 1982)

- 1) Escaldado: Recomendado para semillas con cubiertas extremadamente duras. Las semillas se sumergen en agua hirviendo de 15-30 segundos, si el escaldado se prolonga por más de un minuto, puede morir el embrión.
- 2) Remojo en agua: Este procedimiento ablanda la cubierta y lava a los posibles inhibidores que se encuentren en ella. Las semillas se ponen a remojar en agua fría de 12 a 24 horas, o bien hasta que se vean hinchadas.
- 3) Estratificación: Consiste en colocar las semillas en capas o estratos húmedos, a temperaturas altas o bajas usando un sustrato que puede ser arena, vermiculita, musgo o aserrín. El periodo de estratificación puede ir desde una semana hasta cuatro meses según la especie.
- 4) Hidrólisis: Se utiliza para semillas con cubiertas muy duras. Las semillas secas se colocan en recipientes de vidrio y se cubren con ácido sulfúrico concentrado, durante segundos o minutos, dependiendo del grosor de la cubierta. después las semillas se escurren y lavan.
- 5) Escarificación mecánica: Con un conjunto de piedras pequeñas se simula el desgaste que sufriría la testa al estar en contacto con los diferentes factores climáticos, del tal forma que se rompa o adelgace la cubierta seminal, o bien se le hace una incisión a la altura del micrópilo con la finalidad de que el agua penetre hacia el interior de la semilla y el embrión active su mecanismo de germinación.
- 6) Acido giberélico: Se emplea una solución de ácido giberélico de 1 a 100 ppm, en donde se sumergen las semillas durante un periodo de 12 a 24 horas.
- 7) Nitrato de potasio: Se emplea una solución de nitrato de potasio al 1% durante 24 horas, lo cual hace que la testa se remoje.

ANEXO 2

CAMBIOS MORFOLÓGICOS OBSERVADOS EN LAS RAÍCES DE LAS SEMILLAS GERMINADAS
CON DIFERENTES TRATAMIENTOS

Tratamiento Pregerminativo	Vigor	Color	Tamaño Promedio (cm)	Incremento en la elongación de la raíz con respecto al testigo (%)
Control a 23.0°C	Bueno	Blanco con tonos amarillo-verdosos hacia la zona de la cofia	2.12	0
Control a 33.5°C	Poco	Marrón claro	1.84	0
Escaldado a 23.0°C	Bueno	Blanco con tonos amarillo-verdosos hacia la zona de la cofia	2.13	0
Escaldado a 33.5°	Poco	Marrón claro	1.86	0
Escarificado mecánico a 23.0°C	Bueno	Blanco con tonos amarillo-verdosos hacia la zona de la cofia	2.11	0
Escarificado mecánico a 33.5°C	Poco	Marrón claro	1.82	0
Escarificado con lima a 23.0°C	Bueno	Blanco con tonos amarillo-verdosos hacia la zona de la cofia	2.10	0
Escarificado con lima a 33.5°C	Poco	Marrón claro	1.81	0
Esc. Lima y ácido giberélico (1 ppm) a 23.0°C	Bueno	Blanco con tonos amarillo-verdosos hacia la zona de la cofia	2.63	24
Esc. Lima y ácido giberélico (1 ppm) a 33.5°C	Poco	Marrón claro	2.06	12
Esc. Lima y ácido giberélico (5 ppm) a 23.0°C	Bueno	Blanco con tonos amarillo-verdosos hacia la zona de la cofia	2.62	24
Esc. Lima y ácido giberélico (5 ppm) a 33.5°C	Poco	Marrón claro	2.05	12
Esc. Lima y ácido giberélico (10 ppm) a 23.0°C	Bueno	Blanco con tonos amarillo-verdosos hacia la zona de la cofia	2.62	24
Esc. Lima y ácido giberélico (10 ppm) a 33.5°C	Poco	Marrón claro	2.06	12

**CAMBIOS MORFOLÓGICOS OBSERVADOS EN LAS RAÍCES DE LAS SEMILLAS GERMINADAS
CON DIFERENTES TRATAMIENTOS (Continuación)**

Tratamiento Pregerminativo	Vigor	Color	Tamaño Promedio (cm)	Disminución en la elongación de la raíz con respecto al testigo (%)
Testigo a 23°C	Bueno	Blanco con tonos amarillo verdosos hacia la zona de la cofia	2.12	0
Testigo a 33.5°C	Poco	Marrón claro	1.84	0
Cd (0.5ppm) a 23.0°C	Bueno	Blanco con tonos amarillo verdosos hacia la zona de la cofia	1.80	15.0
Cd (0.5ppm) a 33.5°C	Poco	Marrón claro	1.60	13.0
Cd (1ppm) a 23.0°C	Bueno	Blanco con tonos amarillo verdosos hacia la zona de la cofia	1.78	16.0
Cd (1ppm) a 33.5°C	Poco	Marrón claro	1.58	14.0
Cd (5ppm) a 23.0°C	Bueno	Blanco con tonos amarillo verdosos hacia la zona de la cofia	1.78	16.0
Cd (5ppm) a 33.5°C	Poco	Marrón claro	1.55	15.5
Cd (10ppm) a 23.0°C	Bueno	Blanco con tonos amarillo verdosos hacia la zona de la cofia	1.40	34.0
Cd (10ppm) a 33.5°C	Poco	Marrón claro	1.62	12.0
Cr (5ppm) a 23.0°C	Bueno	Blanco con tonos amarillo verdosos hacia la zona de la cofia	1.62	23.5
Cr (5ppm) a 33.5°C	Poco	Marrón claro	0.99	46.0
Cr (20ppm) a 23.0°C	Bueno	Blanco con tonos amarillo verdosos hacia la zona de la cofia	1.60	24.5
Cr (20ppm) a 33.5°C	Poco	Marrón claro	1.00	45.5
Cr (50ppm) a 23.0°C	Bueno	Blanco con tonos amarillo verdosos hacia la zona de la cofia	1.60	24.5
Cr (100ppm) a 23.0°C	Bueno	Blanco con tonos amarillo verdosos hacia la zona de la cofia	1.58	25.5
Cr (100ppm) a 33.5°C	Poco	Marrón claro	1.00	45.5
Cr (200ppm) a 23.0°C	Bueno	Blanco con tonos amarillo verdosos hacia la zona de la cofia	1.31	38.0
Fe (10ppm) a 23.0°C	Bueno	Blanco con tonos amarillo verdosos hacia la zona de la cofia	1.59	25.0
Fe (10ppm) a 33.5°C	Poco	Marrón claro	1.32	28.0
Fe (50ppm) a 23.0°C	Bueno	Blanco con tonos amarillo verdosos hacia la zona de la cofia	1.59	25.0
Fe (50ppm) a 33.5°C	Poco	Marrón claro	1.30	29.0

**CAMBIOS MORFOLÓGICOS OBSERVADOS EN LAS RAÍCES DE LAS SEMILLAS GERMINADAS
CON DIFERENTES TRATAMIENTOS (Continuación)**

Tratamiento Pregerminativo	Vigor	Color	Tamaño Promedio (cm)	Disminución en la elongación de la raíz con respecto al testigo (%)
Fe (100ppm) a 23.0°C	Poco	Blanco con tonos amarillo verdosos hacia la zona de la cofia	1.48	29.0
Fe (100ppm) a 33.5°C	Poco	Marrón claro	1.11	44.0
Ni (10ppm) a 23.0°C	Bueno	Blanco con tonos amarillo verdosos hacia la zona de la cofia	1.60	24.5
Ni (10ppm) a 33.5°C	Poco	Marrón claro	1.24	32.5
Ni (20ppm) a 23.0°C	Bueno	Blanco con tonos amarillo verdosos hacia la zona de la cofia	1.60	24.5
Ni (20ppm) a 33.5°C	Poco	Marrón claro	1.25	32.0
Ni (40ppm) a 23.0°C	Bueno	Marrón claro	1.80	15.0
Ni (40ppm) a 33.5°C	Poco	Marrón claro	1.24	32.5
Ni (100ppm) a 23.0°C	Bueno	Marrón claro	1.80	15
Ni (100ppm) a 33.5°C	Poco	Marrón claro	1.24	34.5
Pb (5ppm) a 23.0°C	Bueno	Blanco con tonos amarillo verdosos hacia la zona de la cofia	1.58	25.5
Pb (5ppm) a 33.5°C	Poco	Marrón claro	1.22	33.5
Pb (20ppm) a 23.0°C	Bueno	Blanco con tonos amarillo verdosos hacia la zona de la cofia	1.56	26.5
Pb (20ppm) a 33.5°C	Poco	Marrón claro	1.20	34.5
Pb (50ppm) a 23.0°C	Regular	Marrón claro	1.25	41.0
Pb (50ppm) a 33.5°C	Poco	Marrón	1.20	34.5
Pb (100ppm) a 23.0°C	Poco	Marrón	1.23	42.0
Pb (100ppm) a 33.5°C	Poco	Marrón oscuro	1.18	44.0
Pb (200ppm) a 23.0°C	Poco	Marrón	1.24	41.5
Pb (200ppm) a 33.5°C	Poco	Marrón oscuro	1.15	37.5
Zn (10ppm) a 23.0°C	Bueno	Blanco con tonos amarillo verdosos hacia la zona de la cofia	1.60	24.5
Zn (10ppm) a 33.5°C	Poco	Marrón claro	1.20	34.5
Zn (50ppm) a 23.0°C	Bueno	Blanco con tonos amarillo verdosos hacia la zona de la cofia	1.60	24.5
Zn (50ppm) a 33.5°C	Poco	Marrón claro	1.21	34.0
Zn (100ppm) a 23.0°C	Bueno	Blanco con tonos amarillo verdosos hacia la zona de la cofia	1.58	25.5
Zn (100ppm) a 33.5°C	Poco	Marron claro	1.20	34.5

**CAMBIOS MORFOLÓGICOS OBSERVADOS EN LAS RAÍCES DE LAS SEMILLAS GERMINADAS
CON DIFERENTES TRATAMIENTOS (Continuación)**

Tratamiento Pregerminativo	Vigor	Color	Tamaño Promedio (cm)	Disminución en la elongación de la raíz con respecto al testigo (%)
Zn (200ppm) a 23.0°C	Bueno	Blanco con tonos amarillo verdosos hacia la zona de la cofia	1.59	25.0
Zn (200ppm) a 33.5°C	Poco	Marrón claro	1.18	44.0
Zn (500ppm) a 23.0°C	Bueno	Blanco con tonos amarillo verdosos hacia la zona de la cofia	1.60	24.5
TRATAMIENTO 1: Cd, Cr, Fe, Ni, Pb y Zn (0.5, 5, 10, 10, 5 y 10ppm) a 23.0°C	Bueno	Blanco con tonos amarillo verdosos hacia la zona de la cofia	1.70	20.0
TRATAMIENTO 1: Cd, Cr, Fe, Ni, Pb y Zn (0.5, 5, 10, 10, 5 y 10ppm) a 33.5°C	Poco	Marrón claro	1.60	13.0
TRATAMIENTO 2: Cd, Cr, Fe, Ni, Pb y Zn (1, 20, 50, 20,20 y 50ppm) a 23.0°C	Bueno	Blanco con tonos amarillo verdosos hacia la zona de la cofia	1.70	20.0
TRATAMIENTO 2: Cd, Cr, Fe, Ni, Pb y Zn (1, 20, 50, 20,20 y 50ppm) a 33.5°C	Poco	Marrón oscuro	1.40	24.0
TRATAMIENTO 3: Cd, Cr, Fe, Ni, Pb y Zn (5, 50, 100, 40, 50 y 100ppm) a 23.0°C	Poco	Marrón oscuro	1.46	31.0
TRATAMIENTO 3: Cd, Cr, Fe, Ni, Pb y Zn (5, 50, 100, 40, 50 y 100ppm) a 33.5°C	Poco	Marrón oscuro	1.35	26.5

ANEXO 3

CONDICIONES DE TRABAJO PARA CADA METAL

ESPECTROFOTOMETRO DE ABSORCIÓN ATÓMICA DE FLAMA VARIAN ESPECTRA AA 200

	CADMIO	CROMO	HIERRO	PLOMO	CINCO
Longitud de onda (nm)	228.8	357.9	248.3	217.0	213.9
Ancho de la Banda Espectral (nm)	0.5	0.2	0.2	1.0	1.0
Corriente de la Lámpara (mA)	4.0	7.0	5.0	10.0	5.0
Calibración Algorítmica	Nuevo Método Racional				
Flama	Aire/Acetileno	Aire/Acetileno	Aire/Acetileno	Aire/Acetileno	Aire/Acetileno
Oxidante	Aire	Aire	Aire	Aire	Aire
Combustible	Acetileno	Acetileno	Acetileno	Acetileno	Acetileno

ANEXO 4

CAMBIOS MORFOLÓGICOS OBSERVADOS EN LAS PLÁNTULAS OBTENIDAS A PARTIR DE DIFERENTES TRATAMIENTOS PREGERMINATIVOS

Tratamiento	Vigor	Tallo		Fronda		Hojas		Talla		Sobrevivencia (%)
		Díámetro promedio (cm)	Reducción con respecto al control (%)	Cobertura promedio (cm)	Reducción con respecto al control (%)	Tamaño promedio (cm)	Reducción con respecto al control (%)	Tamaño promedio (cm)	Reducción con respecto al control (%)	
Control a 23°C	Bueno	3.70	-	33.00	-	3.00	-	85.00	-	100
Control a 33.5°C	Bueno	3.80	-	32.50	-	3.00	-	85.00	-	100
Escaldado a 23°C	Bueno	3.70	0	33.50	0	2.90	1.00	79.00	7.0	100
Escaldado a 33.5°C	Bueno	3.68	0	33.00	0	3.00	0	79.30	6.5	100
Escanificado mecánico a 23°C	Bueno	3.70	0	33.04	0	3.00	0	84.7	0.5	100
Escanificado mecánico a 33.5°C	Bueno	3.69	0	33.00	0	2.90	1.00	78.00	7.5	100
Escanificado con lima a 23°C	Bueno	3.72	0	33.11	0	3.20	0	85.30	0	100
Escanificado con lima a 33.5°C	Bueno	3.71	0	32.85	0	3.00	0	82.40	3.0	100
Esc. Lima y AG ₃ 1ppm a 23°C	Bueno	2.99	19.0	22.77	31	2.07	31.0	71.08	16.5	100
Esc. Lima y AG ₃ 1ppm a 33.5°C	Bueno	2.29	38.0	25.08	24	2.07	31.0	72.96	14.0	100
Esc. Lima y AG ₃ 5ppm a 23°C	Bueno	3.70	0	32.70	0	3.00	0	79.28	6.5	100
Esc. Lima y AG ₃ 5ppm a 33.5°C	Bueno	2.37	36.0	26.07	21	2.07	31.0	76.88	9.5	100
Esc. Lima y AG ₃ 10ppm a 23°C	Bueno	1.80	51.0	24.75	25	1.98	34.0	49.54	41.5	100
Esc. Lima y AG ₃ 10ppm a 33.5°C	Bueno	1.70	54.0	23.43	29	1.74	42.0	46.35	45.5	100

**CAMBIOS MORFOLÓGICOS OBSERVADOS EN LAS PLANTULAS OBTENIDAS A PARTIR DE DIFERENTES TRATAMIENTOS
PREGERMINATIVOS (CONTINUACIÓN)**

Tratamiento	Vigor	Tallo		Fronda		Hojas		Talla		Sobrevivencia (%)
		Diámetro promedio (cm)	Reducción con respecto al control (%)	Cobertura promedio (cm)	Reducción con respecto al control (%)	Tamaño promedio (cm)	Reducción con respecto al control (%)	Tamaño promedio (cm)	Reducción con respecto al control (%)	
Cd 0.5ppm a 23.0°C	Poco	3.10	16.0	26.7	19.0	2.64	12.0	42.85	49.5	40
Cd 0.5ppm a 33.5°C	Poco	2.40	35.0	24.5	34.0	1.77	41.0	55.80	34.5	20
Cd 1ppm a 23.0°C	Poco	2.25	39.0	16.0	52.0	1.71	43.0	38.30	55.0	40
Cd 1ppm a 33.5°C										
Cd 5ppm a 23.0°C	Poco	2.40	35.0	17.5	47.0	2.00	33.0	51.65	39.0	40
Cd 5ppm a 33.5°C										
Cd 10ppm a 23.0°C	Poco	2.40	35.0	17.7	47.0	2.04	33.0	39.65	53.0	40
Cd 10ppm a 33.5°C	Poco	2.40	35.0	21.8	34.0	1.70	41.0	39.65	53.0	60
Cr 5ppm a 23.0°C	Poco	3.14	15.0	23.0	30.0	2.35	22.0	73.24	14.0	60
Cr 5ppm a 33.5°C										
Cr 20ppm a 23.0°C	Poco	2.36	36.0	16.8	49.0	1.90	36.0	44.50	47.5	40
Cr 20ppm a 33.5°C	Poco	1.48	60.0	14.5	56.0	1.70	43.0	39.95	53.0	10
Cr 50ppm a 23.0°C	Poco	2.36	36.0	16.5	50.0	2.00	36.0	43.00	49.5	40
Cr 100ppm a 23.0°C	Poco	2.36	36.0	16.8	49.0	1.85	36.0	45.15	47.0	20
Cr 100ppm a 33.5°C										
Cr 200ppm a 23.0°C										
Fe 10ppm a 23.0°C	Poco	2.77	25.0	20.0	40.0	1.75	35.0	54.70	35.5	40
Fe 10ppm a 33.5°C	Poco	1.88	49.0	13.2	60.0	1.30	50.0	31.54	63.0	40
Fe 50ppm a 23.0°C	Poco	2.44	34.0	15.2	54.0	1.30	57.0	35.75	58.0	40
Fe 50ppm a 33.5°C	Poco	1.88	49.0	13.4	60.0	1.52	50.0	48.20	43.0	40
Fe 100ppm a 23.0°C										
Fe 100ppm a 33.5°C										

**CAMBIOS MORFOLÓGICOS OBSERVADOS EN LAS PLÁNTULAS OBTENIDAS A PARTIR DE DIFERENTES TRATAMIENTOS
PREGERMINATIVOS (CONTINUACIÓN)**

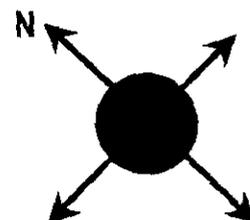
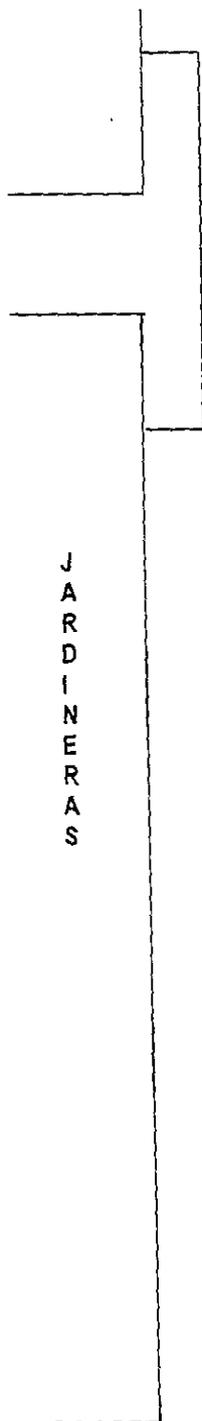
Tratamiento	Vigor	Tallo		Fronda		Hojas		Talla		Sobrevivencia (%)
		Díametro promedio (cm)	Reducción con respecto al control (%)	Cobertura promedio (cm)	Reducción con respecto al control (%)	Tamaño promedio (cm)	Reducción con respecto al control (%)	Tamaño promedio (cm)	Reducción con respecto al control (%)	
Ni 10ppm a 23.0°C	Poco	3.18	14.0	23.7	28.0	2.35	22.0	62.92	26.0	40
Ni 10ppm a 33.5°C					No sobrevivieron al trasplante					
Ni 20ppm a 23.0°C	Poco	3.03	18.0	21.8	34.0	2.40	20.0	63.14	22.5	40
Ni 20ppm a 33.5°C	Poco	2.36	36.0	16.5	50.0	2.00	36.0	40.82	52.0	40
Ni 40ppm a 23.0°C					No sobrevivieron al trasplante					
Ni 40ppm a 33.5°C	Poco	2.36	36.0	16.7	50.0	1.96	36.0	40.00	53.0	20
Ni 100ppm a 23.0°C					No sobrevivieron al trasplante					
Ni 100ppm a 33.5°C	Poco	2.14	42.0	19.8	40.0	2.10	34.0	41.69	51.0	10
Pb 5ppm a 23.0°C	Poco	2.29	38.0	18.8	43.0	2.30	23.0	33.15	61.0	40
Pb 5ppm a 33.5°C	Poco	2.44	34.0	19.9	40.0	2.25	25.0	42.75	49.5	40
Pb 20ppm a 23.0°C	Poco	2.29	38.0	19.0	43.0	2.31	23.0	37.05	56.5	40
Pb 20ppm a 33.5°C	Poco	2.14	42.0	16.8	49.0	1.86	38.0	40.20	52.5	40
Pb 50ppm a 23.0°C	Poco	2.29	38.0	18.7	43.0	2.29	23.0	41.65	51.0	40
Pb 50ppm a 33.5°C	Poco	2.14	42.0	15.8	52.0	1.70	44.0	35.87	58.0	40
Pb 100ppm a 23.0°C					No sobrevivieron al trasplante					
Pb 100ppm a 33.5°C	Poco	2.03	45.0	15.5	53.0	1.50	49.0	34.60	59.0	40
Pb 200ppm a 23.0°C					No sobrevivieron al trasplante					
Pb 200ppm a 33.5°C	Poco	2.04	45.0	13.2	60.0	1.53	48.0	42.85	49.5	60
Zn 10ppm a 23.0°C	Poco	2.33	37.0	17.0	49.0	1.86	38.0	46.26	45.5	40
Zn 10ppm a 33.5°C	Poco	2.18	41.0	16.5	50.0	1.45	52.0	42.14	50.5	40
Zn 50ppm a 23.0°C	Poco	2.36	36.0	16.8	49.0	1.65	45.0	45.36	46.5	40
Zn 50ppm a 33.5°C	Poco	2.20	41.0	12.2	63.0	1.27	58.0	31.45	63.0	40
Zn 100ppm a 23.0°C	Poco	2.41	37.0	15.5	53.0	1.55	48.0	39.62	53.0	20
Zn 100ppm a 33.5°C					No sobrevivieron al trasplante					

**CAMBIOS MORFOLÓGICOS OBSERVADOS EN LAS PLÁNTULAS OBTENIDAS A PARTIR DE DIFERENTES TRATAMIENTOS
PREGERMINATIVOS (CONTINUACIÓN)**

Tratamiento	Vigor	Tallo		Fronda		Hojas		Talla		Sobrevivencia (%)
		Diámetro promedio (cm)	Reducción con respecto al control (%)	Cobertura promedio (cm)	Reducción con respecto al control (%)	Tamaño promedio (cm)	Reducción con respecto al control (%)	Tamaño promedio (cm)	Reducción con respecto al control (%)	
Zn 200ppm a 23.0°C		No sobrevivieron al trasplante								
Zn 200ppm a 33.5°C		No sobrevivieron al trasplante								
Zn 500ppm a 23.0°C	Poco	2.26	39.0	14.8	55.0	39.0	1.50	40.99	51.5	10
TRATAMIENTO 1 Cd, Cr, Fe, Ni, Pb y Zn (0.5, 5, 10, 10, 5 y 10ppm) a 23.0°C		No sobrevivieron al trasplante								
TRATAMIENTO 1 Cd, Cr, Fe, Ni, Pb y Zn (0.5, 5, 10, 10, 5 y 10ppm) a 33.5°C	Poco	2.48	34.0	18.5	44.0	1.75	42.0	49.32	42.0	40
TRATAMIENTO 2 Cd, Cr, Fe, Ni, Pb y Zn (1, 20, 50, 20, 20 y 50ppm) a 23.0°C	Poco	2.60	30.0	12.5	62.0	1.50	50.0	52.17	38.5	40
TRATAMIENTO 2 Cd, Cr, Fe, Ni, Pb y Zn (1, 20, 50, 20, 20 y 50ppm) a 33.5°C	Poco	2.50	32.0	13.2	60.0	1.40	54.0	35.14	58.5	20
TRATAMIENTO 3 Cd, Cr, Fe, Ni, Pb y Zn (5, 50, 100, 40, 50 y 100ppm, respectivamente) a 23.0°C	Poco	2.19	43.0	12.7	62.0	1.30	56.0	24.86	70.5	20
TRATAMIENTO 3 Cd, Cr, Fe, Ni, Pb y Zn (5, 50, 100, 40, 50 y 100ppm) a 33.5°C		No sobrevivieron al trasplante								

ANEXO 5

LOCALIZACIÓN DE LOS ORGANISMOS INTRODUCIDOS EN EL EX-TIRADERO DE STA. CRUZ MEYEHUALCO



SIMBOLOGIA	
★★★★★	Excelente vigor
★★★★	Muy buen vigor
★★★	Buen Vigor
★★	Poco Vigor
★	Escaso vigor

10	★★	11	★★★
9	★★	12	★★★
8	★★	13	★★
7	★★	14	★
6	★★★	15	★★
5	★★★★	16	★★★
4	★★★★	17	★★★
3	★★★★	18	★★
2	★★★★★	19	★★★
1	★★★★	20	★★