

1
2 ej



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
ZARAGOZA

"EVALUACION DE LOS EFECTOS PROVOCADOS POR
CADMIO EN Eucaliptus sp. Y Fraxinus sp.,
BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO"

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

ALFARO MALDONADO FAUSTINO
CONTRERAS GARDUÑO ADRIANA
RAMIREZ CARDONA MARTHA



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



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 está 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.

I N D I C E

	Página
RESUMEN	2
INTRODUCCION	4
ANTECEDENTES	4
CONTAMINACION POR CADMIO EN HOMBRE Y ANIMALES.	8
CONTAMINACION DE SUELO POR CADMIO	14
CONTAMINACION DE PLANTAS POR CADMIO	18
CARACTERISTICAS DE LOS GENEROS ESTUDIADOS	28
JUSTIFICACION	36
HIPOTESIS	38
OBJETIVO GENERAL	39
OBJETIVOS PARTICULARES	40
METODO	41
RESULTADOS	45
TABLAS	46
GRAFICAS	56
ANALISIS DE RESULTADOS	94
CONCLUSIONES	117
BIBLIOGRAFIA	119
APENDICE	127

RESUMEN

En este estudio se evaluaron los efectos provocados por el cadmio tanto en las propiedades del suelo como en las diferentes partes de la planta (raíz, tallo y hoja) de las especies Fraxinus sp. y Eucaliptus sp.

Para la determinación de las modificaciones que provoca el metal se utilizaron 25 plantas de cada especie, las cuales fueron enumeradas y agrupadas en lotes de 5 de acuerdo al diseño de bloques al azar, las concentraciones a las que fueron expuestas son: 0 ppm, 50 ppm, 75 ppm, 100 ppm y 150 ppm, durante un año y una vez concluido éste se determinaron los parámetros físicos y químicos así como el grado de acumulación del metal en el suelo, obteniéndose el promedio de 5 ensayos o muestreos.

En forma directa, se observó que los efectos provocados por el cadmio en Eucaliptus sp. y Fraxinus sp. fueron: Modificación en la altura de las plantas, las cuales en un principio aceleraron su crecimiento y después lo inhibieron asimismo se observó en las hojas clorosis, pigmentación café rojiza, enroscamiento, necrosis, defoliación, debilitamiento

del tallo, en el suelo de análisis se presentó la mayor acumulación de cadmio afectando a todos sus parámetros a excepción del color y la textura.

El análisis foliar con respecto al contenido de cadmio en las plantas indica que las partes vegetales que absorbieron mayor cantidad de cadmio fue para Fraxinus sp. en raíz y tallo en el tratamiento de 150 ppm, en tanto que para hoja fue el de 50 ppm; con relación a Eucalyptus sp. en raíz fue el de 75 ppm, en tallo el de 150 ppm y en hoja el tratamiento de 50 ppm.

Los resultados demuestran que hay diferencias en los efectos provocados por el cadmio en Fraxinus sp. y Eucalyptus sp. lo que establece que el mayor o menor efecto del cadmio depende de la especie.

I N T R O D U C C I O N

ANTECEDENTES

Los problemas relacionados con el deterioro ambiental, originados principalmente por el acelerado incremento demográfico y el desarrollo tecnológico han despertado las mayores preocupaciones (I.M.R.N., 1972).

Uno de los aspectos del deterioro ambiental es la contaminación del medio en el que vive el hombre y es el que ha recibido mayor atención, debido a que rompe con el equilibrio ecológico de la naturaleza y produce consecuencias dañinas en el propio ser humano (I.M.R.N., Op. Cit.).

Se entiende por contaminación la presencia en el ambiente de uno o más contaminantes o cualquier combinación de ellos que perjudiquen o molesten la vida, la salud o el bienestar humano, la flora o la fauna o degraden la calidad del aire, del agua, de la tierra, de los recursos de la nación en general o de los particulares; por otro lado, es

toda materia o sustancia o sus combinaciones, compuestos o derivados químicos y biológicos tales como humos, polvos, gases, cenizas, bacterias, residuos y desperdicios o cualquier otro que al incorporarse o adicionarse al aire, agua o tierra, puede afectar o modificar sus características naturales o las del ambiente, así como toda forma de energía como calor, radioactividad y ruidos que al operar sobre o en el aire, agua o tierra los altere (I.M.R.N. Op.Cit.).

Existe una amplia variedad de contaminantes entre los que se incluyen, gases oxidantes, partículas, pesticidas, materiales radioactivos en la atmósfera, productos químicos en el agua y en el suelo. También se ha reconocido el impacto de las precipitaciones ácidas a las que se atribuyen daños severos a los ecosistemas (Bauer, 1986).

Actualmente los metales pesados son una fuente importante debido a que son componentes de los productos de tipo industrial (Stocker, 1981).

La presencia de estos se manifiesta como una intoxicación del organismo dependiendo del uso, tiempo de exposición

tamaño y distribución del organismo al metal. Todo va en función de la concentración en que se encuentren, en que forma de la vía de entrada y de la toxicidad del metal (Villalobos, Op.Cit).

Entre los metales que son tóxicos para el organismo animal y vegetal están: mercurio, plomo, zinc, níquel, cobalto, aluminio, bario, boro, cromo, cobre, uranio, bismuto, estaño, antimonio, cadmio y muchos otros.

El cadmio, a pesar de que no es un elemento abundante está distribuido extensamente en los minerales de la tierra y a través del desgaste debido a las condiciones atmosféricas y de la erosión. Ha sido un contaminante del ambiente desde principios de la vida (Villalobos, Op.Cit).

Las principales fuentes de contaminación por cadmio van desde la galvanoplastia, la utilización de los fertilizantes, la quema de plásticos, las baterías de níquel-cadmio (el cadmio utilizado en el electrodo negativo de la batería) hasta los motores de aceite y goma de caucho, pasando por el humo de los cigarrillos, la disolución de objetos de fierro galvanizados (Hodges, 1977), los desechos plásticos de cloruro de polivinilo y las pinturas en las que se utiliza el -

cadmio como estabilizador así como las que contienen pigmentos de cadmio, como las refinerías de zinc o de otros metales y las corrientes de aire y de agua que salen de dichas factorías pueden ocasionar problemas localizados, pero estas fuentes no influyen en la cantidad que se encuentra generalmente en los alimentos (Galindo, 1979).

CONTAMINACION POR CADMIO EN EL HOMBRE Y EN ANIMALES.

El cadmio no es indispensable para el organismo humano, sin embargo, la obtención de cadmio se realiza principalmente por la cadena alimenticia y es alrededor de 40 μ /día (Portillo, Op.Cit.), la cual aumenta en los lugares donde existen fábricas que arrojan cadmio a la atmósfera.

El cadmio está presente únicamente en cantidades diminutas al nacer el ser humano, pero sus concentraciones aumentan como una función de la edad. Aparte de las exposiciones industriales, el aumento del cadmio en el organismo es por la carga del medio ambiente. Las concentraciones observadas en el aire, como resultado de la contaminación generalizada oscilan alrededor de 0.001 μ g/m³, lo que origina una aspiración máxima de 0.02 μ g/día en las grandes ciudades, sin embargo, pueden hallarse concentraciones cercanas a 0.03 μ g/m³ y en las áreas industrializadas, en que hay factorías que desprenden cadmio se pueden hallar concentraciones aún mayores, aunque la dosis absorbida será insignificante comparada con la obtenida por los alimentos (Galindo, Op.Cit.).

En el aspecto toxicológico la breve inhalación de va-

pores o polvos que contienen cadmio y sus compuestos, provoca cambios severos en los pulmones, como el emfisema pulmonar pero primeramente afecta el tracto respiratorio (Berman, - 1980).

La retención de cadmio por aerosoles en el sistema respiratorio depende del tamaño de las partículas. El promedio estimativo es 25% de la cantidad presente en el aire. De la cantidad depositada en los pulmones, sólo parte (aproximadamente el 60%) es tomado dentro de la corriente sanguínea, el resto es eliminado.

La absorción de cadmio en el tracto gastrointestinal dentro de la corriente sanguínea es alrededor de 2% en animales y de 3 a 8% en humanos. Esto puede incrementarse notwithstanding, con bajo calcio y dieta proteínica baja. Las concentraciones más altas de cadmio son obtenidas en el hígado y riñones y estos órganos pueden jugar el papel dominante en la larga acumulación del cadmio.

La vida media biológica del cadmio en riñones humanos es de 10 años. En humanos no expuestos a un grado significativo el contenido de cadmio en riñones sube con la edad de 40 a 50 años. Esto es debido al enlace de cadmio a una pro-

teína, los cuales forman un complejo conocido con el nombre de "metalotionina", la cual es una forma no tóxica de cadmio y puede eliminarse fácilmente por vía urinaria (Otha, 1986). Las metalotioninas son extremadamente ricas en grupos sulfhidrilos y es inducida por exceso de cadmio en el tejido, son un ejemplo de una proteína producida por un animal para protegerse contra el cadmio, ésta proteína contiene de manera provisional grandes cantidades de zinc, como de cadmio y a veces de mercurio y recientemente se ha demostrado que las metalotioninas juegan un papel protector en el secuestro del cadmio y que pequeñas cantidades de cadmio producen inmunidad para dosis de cadmio que pudieran haber sido tóxicas. Se presume que esto se efectúa por inducción de la síntesis de una proteína ligadora de cadmio similar a las metalotioninas, las cuales pueden ligar grandes dosis de cadmio (Galindo, Op. Cit.).

Por otro lado hay un límite para el almacenamiento renal de cadmio (200-400 μg de Cd/g de corteza renal, peso húmedo), alrededor del cual el daño renal previene la acumulación más amplia del metal y resulta en una disminución de los niveles de cadmio en el riñón.

La excreción de cadmio es usualmente baja. Si el cad-

mio es administrado por herencia, el riñon es el principal organo excretor. En el ser humano con una carga en el cuerpo de 10-60 mg de cadmio, la concentración en la orina puede ser alrededor de 0.5 a 2.0 mg/l. La excreción urinaria se incrementa con el daño renal, además que el nivel de cadmio urinario en humanos es influenciado por ambos, la carga de cadmio en el cuerpo y el grado de deterioro del riñon (Piotrowski, 1980).

El cadmio en la sangre refleja exposiciones comunes, pero el cadmio en la orina puede reflejarse en el cuerpo cuando la exposición es baja. Los niveles son menores que 1 µg en la sangre. El cadmio es un inhibidor de enzimas sulhidrilos, también tiene afinidad con otros ligandos en células tales como hidróxilos, carboxilos, fosfatilos, cisteinilos e histidinilos formando parte de las cadenas de proteínas y porfirinas. Puede romper caminos de fosforilación oxidativa. El cadmio interactúa o compete con otros metales por ejemplo, en estudios de animales se encontró que los niveles de éste elemento pueden reducir el cobre y cambiar la distribución de cobre en los tejidos. En animales alimentados con cadmio puede desarrollar un hueso con médula hiperplástica y una anemia microcítica hipocrónica similar a la que es inducida por deficiencias de fierro a través de la com-

petencia por sitios en los enlaces proteínicos en la mucosa intestinal (Berman, Op. Cit.).

Por otra parte, los abastecimientos de agua en los países industrializados contienen menos de 10 μg de Cd/lit., pero en algunos casos se han hallado concentraciones mayores. El límite superior provisional fijado en las normas internacionales para aguas potables, es de 10 $\mu\text{g}/\text{l}$. Suponiendo un consumo diario de 2.5 litros, resultaría una ingestión máxima de 25 μg por persona por día. Puede haber también una disolución de cadmio en las tuberías galvanizadas o de otra parte del sistema de conducción de agua.

Hay alimentos particularmente los crustáceos y los moluscos que tienen concentraciones elevadas de cadmio y también de zinc, las cuales son todavía mayores cuando aquellos proceden de estuarios contaminados por cadmio o zinc. Análogamente, éste metal puede pasar a los alimentos desde las aguas contaminadas utilizadas para riego en los cultivos (Galindo, Op. Cit.).

El cadmio al igual que el plomo esterilizan rápidamente a los animales porque es tóxico para los testículos y las células espermáticas. El cadmio y sus compuestos lle-

gan a producir tumores malignos en los ratones pero no se ha comprobado que ello sean carcinogénicos en los humanos (Stocker, Op. Cit.).

- CONTAMINACION DE SUELOS POR CADMIO.

La composición química de la roca madre determina el contenido de cadmio en suelo, así la abundancia del cadmio en rocas sedimentarias y magmáticas no excede alrededor de 0.3 ppm. En el suelo la cantidad de cadmio se encuentra entre 0.07 y 1.1 ppm (Pendias, 1986), pero esta es mayor en áreas industriales y agrícolas debido a que el cadmio se encuentra como contaminante de fertilizantes fosfatados, ya que generalmente se encuentra de 1 a 2 ppm en fosfatos tricálcicos y de 50 a 170 ppm en superfosfatos por lo que es común encontrarlas en la mayoría de las plantas (Tirado, - 1975).

El cadmio es afín al zinc y se halla asociado a éste en la naturaleza, pero parece tener una mayor afinidad por el azufre. La relación a la cual se encuentra el Cd - Zn va desde 1:100 a 1:12000 en la mayoría de los minerales y suelos, absorbiéndose del suelo por la planta. El zinc reduce la absorción del cadmio en ambos sistemas radicular y foliar. Chaney y Hornick (citados por Pendias Op. Cit.) sugieren que cuando la relación Cd/Zn, en tejidos de plantas es limitado al 1%, el contenido de cadmio es restringido por abajo de 5 ppm, bajando los niveles fitotóxicos.

También el cadmio presenta interacciones con otros metales pesados tales como Mn, Ni y Cu. Las interacciones de Cd-P son exhibidas en los efectos del P en la toma del Cadmio por las plantas. Ambos contenidos se incrementan bajo el tratamiento de P.

La relación Cadmio-Calcio parece ser cruzada por el vínculo de la variación del pH del suelo. Esto puede ser evitado, sin embargo, los cationes de Ca^{+2} son capaces de reemplazar al Cd^{+2} en el mecanismo de transporte y así la absorción de cadmio por las plantas puede ser inhibido por el exceso de iones Ca^{+2} . El mecanismo de traslocación de cadmio está influenciado por el suministro de otros nutrientes tales como K, N y Al (Pendias, Op. Cit.).

En el suelo el cadmio se intercambia libremente con los ácidos existentes, estando de esta manera disponible para ser absorbido por las plantas. Sin embargo, el contenido de cadmio en el suelo no es agotado por los vegetales en forma significativa.

Por otra parte es muy importante considerar los factores físicos y químicos del suelo que afectan la bioaprovechabilidad del cadmio por los vegetales, como el pH del

suelo, la capacidad de intercambio catiónico, el contenido de materia orgánica, la textura del suelo, etc. Este interés surge del hecho de que para cada metal, la tasa constante de absorción está directamente relacionada con la naturaleza del sustrato (Aringhieri, et. al., 1985).

Aunque los suelos agrícolas contienen 0.1 y 4.7 ppm de cadmio, los suelos de las áreas industriales tienen mayor acumulación de cadmio siendo de 100 ppm. Por esta razón el cadmio contenido por los suelos y la naturaleza de las reacciones envuelven el objetivo de dichos estudios (Mahler, 1982).

Existe buena evidencia de que el cadmio absorbido en suelos está relacionado con el contenido de materia orgánica y que la fracción de ácidos húmicos de los suelos retiene alrededor del 50% de cadmio en formas intercambiables y 50% en complejos coordinados. Además los resultados de Lagerweff y Brower 1972, muestran que el tipo de catión intercambiable afecta marcadamente el comportamiento de absorción del ión cadmio en un sistema agua-suelo (Mahler, Op. Cit.).

Recientes estudios indican que la absorción de los

metales pesados en suelos no sólo se restringe a la formación de complejos superficiales, sino también por formarse en el interior de los minerales (Bruemer, 1986).

Esta contaminación del suelo es originada por:

- Los desechos sólidos provenientes de la industria donde el 50% de las materias primas son desechadas al medio ambiente y de estas el 15% contienen sustancias nocivas o tóxicas.
- Los sólidos suspendidos de los tratamientos de aguas residuales, tanto domésticas como industriales se descargan al suelo.
- La descarga de gran cantidad de polvo y desecho de las minas y plantas fundidoras entre otras,
- la utilización de productos químicos para la agricultura como fertilizantes (N, P, K) y agentes reguladores del crecimiento (enzimas) de las plantas.

El problema de la contaminación del suelo se agudizará más a medida que aumente la población, con el peligro de que millones de hectáreas productivas se conviertan en zonas infértiles debido a la destrucción de los sistemas ecológicos (Portillo, 1980).

CONTAMINACION DE PLANTAS POR CADMIO.

Si bien el cadmio es considerado por ser un elemento no esencial de las plantas, éste es altamente absorbido por ambos sistemas el radicular y el foliar. no obstante el suelo y las plantas son factores específicos que afectan la asimilación del cadmio por las plantas. Los vegetales no poseen mecanismos de excreción para el cadmio, así que cualquier efecto lo presenta una vez absorbido.

El valor medio del rango de contenido de cadmio en granos de cereales esta entre 0.013 a 0.22 ppm, el rango en hierbas 0.07 a 0.27 ppm, y el rango en legumbres es de 0.08 a 0.28 ppm (Pendientes, Op. Cit.).

Las plantas pueden absorber cadmio disuelto en la solución del suelo en una relación de 22 a 1 sobre el plomo y el cobre. Factores como: El tipo de suelo, especie de la planta y estado del elemento, tienen influencia en la cantidad incorporada en la planta (Galindo, Op. Cit.). La raíz acumula gran cantidad de cadmio, más que las partes superiores de las plantas, por lo tanto de esta manera se restringe el movimiento del catión a través de las cadenas alimenticias (Villalobos, Op. Cit.).

Los daños inducidos por la contaminación en las plantas se presenta más claramente en las hojas en las que frecuentemente se observa: Clorosis, pigmentaciones, necrosis, y/o alteraciones en el desarrollo.

Ocasionalmente se observan daños característicos en frutos, con frecuencia un contaminante puede causar efectos manifestandose en diferentes tipos de síntomas de acuerdo con la especie vegetal afectada (Bauer, Op.Cit.).

John y Cols (1976 ,citado por Tirado Op.Cit), revelaron que la asimilación del cadmio fue inversamente proporcional al suministro de potasio, aluminio, calcio, zinc y fósforo. El cadmio afecta el balance interno del fósforo, hierro, magnesio y aluminio en las plantas (Tirado, Op.Cit.).

Hanrmser (1976 ,citado por Tirado Op.Cit), mostró que la absorción específica de cadmio por las plantas se efectúa a concentraciones bajas en la solución del suelo. Este metal también forma complejos con los iones OH^- y Cl^- , esto fue demostrado por Hohme y Kroomtje (1973 citado por Tirado Op.Cit.), lo que contribuye a su movilización en el suelo (Tirado, Op.Cit.).

Kitagishi y Yamane (Citado, por Pendias, Op. Cit.), reportaron los resultados de sus experimentos indicando que la relativa absorción del cadmio por los brotes de arroz fue el máximo dentro del rango de pH de 4,5 a 5.5. Bingham et. al. (Citado por Pendias, Op. Cit.), también establece que el contenido de cadmio en granos de arroz es altamente dependiente del pH del suelo y es más alto a un pH de 5.5. Sin embargo, hay resultados contradictorios que señalan que el cadmio es más móvil en suelos alcalinos debido a la formación de complejos o metaloquelantes, la planta absorbe el cadmio, pero puede ser independiente del pH. Kitagishi y Yamane describen que cuando el potencial redox del suelo decrece a casi -0.14 V, la proporción de cadmio soluble decrece, correspondiendo a la reducción del sulfato a sulfuro. Esto está bien ilustrado en la baja absorción del cadmio por el arroz espigado en suelos sumergidos que en suelos drenados.

Aunque las características del suelo o la del pH pueden causar deficiencias en la absorción del cadmio por la raíz, el cadmio del suelo es siempre fácilmente aprovechable por las plantas. Tiffin (Citado por Pendias, Op. Cit.), dice que la concentración de cadmio en el xilema de tomate es de 1.5 a 3.5 μg , éste sugiere que el cadmio, como otros metales

pesados, pueden ser fácilmente transportados dentro de la planta en la forma de complejos metaloorgánicos.

Los mecanismos de transporte de larga distancia del Cd^{+2} no están presentes pero el cadmio puede ser más probablemente transportado por un mecanismo de transporte, similar al del zinc. Cunningham et. al. (citado por Pendias, Op. Cit.), reportan que el incremento de Cd^{+2} tratado progresivamente sobrepasa la proporción de cadmio en la translocación de las partes espigadas de hojas jóvenes que el cadmio localizado en raíz, y en menor cantidad en los nodos de los tallos, pecíolos y mayor en venas de las hojas, se puede decir que aunque las raíces de varias especies de plantas pueden tomar grandes cantidades de cadmio, la translocación del mismo a través de la planta puede ser restringido, ya que el cadmio es fácilmente retenido principalmente en los sitios de intercambio de compuestos activados localizados en las paredes celulares.

La más importante característica bioquímica de los iones de cadmio, es su fuerte afinidad por los grupos sulfhidrilos de varios compuestos. El cadmio en adición también muestra una afinidad por una parte con la cadena proteínica y por otra con los grupos fosfato.

Dabin et. al. y Braunde et al. (citado por Pendias, Op. Cit.), reportaron que el cadmio esta probablemente concentrado en las fracciones proteínicas de las plantas. Este factor es muy importante en los problemas de producción alimentaria.

Roucoux y Dabin (citados por Pendias, Op. Cit.), reportaron que el cadmio específicamente induce la síntesis de cistefna y metionina en soya, dependiendo del grado de resistencia de la planta a los incrementos en los niveles de cadmio. Este es conocido por ser un elemento tóxico a la planta y la causa básica de su toxicidad depende de su distribución enzimática.

Cunningham et. al. y Baszynski et. al. (citados por Pendias, Op. Cit.), reportaron la inhibición de la formación de pigmentos de antocianina y clorofila en plantas que fueron tratadas con cadmio.

En general los síntomas inducidos por los niveles contenidos de cadmio en plantas son: retardación en el crecimiento y deterioro radicular, clorosis de las hojas y coloración café-rojizo en los márgenes de las hojas o venas. La fitotoxicidad del cadmio, interfiere más allá que el me-

tabolismo normal que algunos micronutrientes, mostrando efectos inhibitorios en fotosíntesis, disturbios en la transpiración y fijación del CO_2 y cambios en la permeabilidad de la membrana celular. Se conoce también que el cadmio inhibe la transformación del DNA en los microorganismos y también interfiere en la simbiosis entre los microorganismos y las plantas como fuente para la incrementación en la predisposición de la planta por la invasión de hongos (Pendias, Op. Cit.).

Por otro lado, Huang (1974, citado por Borgges, 1981), observó algunas respuestas fisiológicas en las plantas de semillas de soya tratadas con cadmio, como es la depresión de la actividad fotosintética y la inhibición de la enzima nitrogenasa, incrementándose la actividad de la enzima hidrolítica y la peroxidasa, asimismo, se ha observado que el cadmio causa daños en la raíz, lo cual da por resultado la producción reducida de yemas, con la consiguiente reducción en el peso seco de las raíces y nódulos de las plantas de semillas de soya tratadas con cadmio.

Los síntomas visuales de toxicidad del cadmio en la soya son similares a los reportados por Borgges, (1978), los cuales se observaron dos días después de iniciada la apli-

cación de cadmio (CdCl_2) y los síntomas desarrollados están localizados como puntos café-rojizo cerca de la base del pecíolo en las hojas unifoliadas y continuas a lo largo de las venas en la parte más baja de las hojas. Subsecuentemente, las hojas jóvenes trifoliadas muestran similares síntomas además de un rizado. Eventualmente las hojas jóvenes empiezan a clorotizarse hasta la abscisa (Borgges, Op. Cit.).

Los estudios realizados con Hordeum vulgare, en los suelos calcáreos corregidos con arcilla con una tasa variable de cadmio y plomo, fueron agregados al frijol para evaluar los efectos en las cosechas, crecimiento y en los tejidos de las plantas, muestran que el cadmio y el plomo actúan sinérgicamente y que además ciertas cantidades de $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ reduce la fitotoxicidad del cadmio inmovilizándolo (Luwarker, 1986).

Asimismo, se han reportado efectos antagónicos y una acumulación específica de cadmio en algunos lugares de las plantas como es el caso de la planta de tabaco (Nicotiana tabacum y Nicotiana glauca), en donde los resultados muestran una mayor acumulación de cadmio en las hojas más maduras y en las raíces jóvenes (Wagner, 1986).

Se han observado efectos antagónicos y sinérgicos con el plomo y el zinc, respectivamente, y del plomo únicamente sobre el cadmio. Los estudios muestran que el plomo y el zinc disminuyen su cantidad al aumentar las concentraciones de cadmio (Singh, 1987).

Otros estudios han demostrado que el daño por metales pesados tales como el plomo, cadmio y el zinc es mayor en las plantas con hojas que en aquellas que se encuentran en lugares donde circulan gran cantidad de vehículos (Turkan, 1986).

Se han observado más recientemente que el principal efecto de las plantas tratadas con cadmio, es la disminución de la actividad de la nitrogenasa, disminuyendo hasta en un 92%, esto se detectó en Rhizobium phaseoli (en simbiosis con plantas de frijol) (Gutierrez, 1987).

Otras investigaciones realizadas sobre la acumulación de cadmio en tabaco, han sugerido que en el tabaco las raíces controlan la cantidad de cadmio traslocado al tallo y por lo tanto la cantidad de metal acumulado en las hojas (Wagner, 1988).

Hatch, realizó un estudio sobre el efecto que tiene el pH en la acumulación del cadmio en 4 especies de plantas - (Dactylis glometata L., Lactuca sativa L., Lodium perenne L., Rorippa nasturtium aquaticum L.), concluye que la absorción del cadmio en las cuatro especies fue marcadamente mayor - por la acidificación, por el incremento de la competencia - con el ión hidrógeno. Esto explica porque las plantas crecen en suelos con menor cantidad de cadmio con bajo pH por el - incremento de la solubilidad (Hatch, 1988).

Singh, condujo un experimento en un microinvernadero - para determinar el efecto del nitrógeno (0,50, 100 y 150 $\mu\text{g N/Kg}$) y (0,5, 10, 25 y 50 $\mu\text{g Cd/Kg}$) con un crecimiento y concentración controlada de la entrada de cadmio y nitrógeno - en lechuga por 70 días. La aplicación del nitrógeno incre - mentó significativamente el rendimiento fresco y la materia seca. La concentración de nitrógeno en la entrada de estos - parámetros fueron significativamente decrecientes con la aplicación de cadmio en todos los niveles de nitrógeno. Este incremento de la entrada de cadmio esta relacionada con el incremento en la aprovechabilidad del cadmio en el suelo. La aplicación del nitrógeno en 100 $\mu\text{g N/Kg}$ incrementa la entrada de cadmio, sin embargo, se redujo la entrada de cadmio

con 150 μg N/Kg en todos los niveles de cadmio.

Por efecto de la dilución del cadmio, la planta reduce la traslocación del metal de las raíces al tallo o la competencia en los sitios de absorción de las raíces y los niveles más altos que el nitrógeno parecen ser los mecanismos responsables de la supresión del cadmio que entra (Singh, - 1987).

CARACTERISTICAS DE LAS ESPECIES UTILIZADAS EN EL ESTUDIO
(Fraxinus sp. y Eucaliptus sp.).

Los eucaliptos fueron introducidos en México a mediados del siglo XIX y pertenecen al género Eucaliptus y a la familia de las Mirtáceas (Martínez, 1979). Se sabe que las especies de éste género, devuelven gran cantidad de oxígeno al aire, por lo que constituyen una de las masas arbóreas más importantes para el ambiente (De La Lama, 1982).

El Eucaliptus resulta importante porque tiene un crecimiento precoz lo que permite periodos de corte muy rápido (entre 10 y 20 años). En general son árboles grandes y de rápido crecimiento, muchos con la corteza exfoliable, las hojas son largas y angostas, los árboles olorosos y con flores de numerosos estambres y semillas muy pequeñas.

Varias especies se usan para la reforestación porque es un género adaptable a condiciones rigurosas del clima, debido a que soportan la escasez de agua, las heladas y los suelos con alto contenido de sales, es fácil de retoñar y poseen una alta resistencia al fuego por la dureza y resistencia de su corteza.

La gran parte de las especies del género Eucaliptus son de gran rusticidad y plasticidad en suelos pobres, secos, encharcados, etc., con la consiguiente posibilidad de ser utilizados en terrenos marginales, lo que permite conseguir cambios del paisaje. Los mejores terrenos son suelos limosos y profundos, pero crece en cualquier suelo arenoso o limoso con subsuelo permanentemente húmedo. Es resistente a los suelos alcalinos y crece también en suelos con una producción de carbonatos asimilables demasiado elevada. Crece en condiciones sumamente adversas, pero principalmente en regiones de escasa precipitación, siempre y cuando cuente con agua subterránea, y con altas temperaturas estivales. Es capaz de resistir fuertes heladas en el invierno (los forestales coinciden en fijar como límite inferior de temperatura invernal la de $-6^{\circ}\text{C}.$), con esto se obtienen las masas forestales en muy pocos años (4 a 5 años), en que los árboles han alcanzado de 3 a 6 metros de altura (Gpo. de reforestadores 1984).

Llegan a alcanzar una altura hasta de 60 metros y una extensión de la copa de 20 metros. Tienen raíz pivotante corta, laterales largas y gruesas pero no tienen suficiente resistencia mecánica, soportan algunos cortes si se desea reducir la copa y puede recurrirse a enérgicos desmoches para quitar ramas muertas afectadas por nevadas u otros daños.

Las cualidades ornamentales de muchas especies del género permiten formar parques en muy poco tiempo. Las grandes poblaciones de eucaliptos, como se ha comprobado durante 40 años aumentan la pluviosidad con el consiguiente mejoramiento del clima de la región en que se encuentran.

Varias especies por su resistencia a los vientos fuertes ó salinos, son utilizados para la confección de pantallas protectoras de cultivos en costas.

A estas cualidades debemos añadir las siguientes de carácter utilitario industrial: numerosas especies proporcionan una excelente celulosa y análogamente gran número de ellas contienen valiosos aceites esenciales en sus hojas. También las hay con notable proporción de tamaño en su corteza, aunque en México no tenga la demanda que en Australia tiene.

La madera se emplea debidamente desecada, en la fabricación de muebles, para leña, postes, pasta para papel, barreras rompevientos y hay especies cuya madera es inputrescible enterrada (muy útil en los durmientes del ferrocarril) y otras que permiten la confección de pilotes sumergidos en agua. La mayor parte de las especies del género tienen un

nero tienen un gran interés agrícola y sobre todo energético y químico como superbioromasas.

Los inconvenientes que presentan los Eucaliptos son mínimos y perfectamente subsanables o tolerables, sin que además lleguen a afectar negativamente al equilibrio ecológico y biológico del país en relación con sus enormes desventajas (De La Lama, Op.Cit.).

Hablando específicamente de la sensibilidad a contaminantes de plántulas de (Eucalyptus globulus), se han encontrado posibles daños por ozono detectados mediante la observación de síntomas en plantas de Eucalyptus globulus, de aproximadamente 2 años de edad, ubicadas en las áreas de reforestación al sur de la ciudad de México. Hernández, Krupa, Pratt y Bauer, a principios de 1980, realizaron una fumigación sobre plántulas de 92 días, a una concentración de ozono de 0.40 ppm, durante 2 y 4 horas. Las plántulas de los dos tratamientos exhibieron 72 horas después los daños típicos inducidos por ozono, en las plántulas expuestas durante 2 horas a fumigación se observaron puntos de color blanco, mientras que en aquellas fumigadas durante 4 horas se apreció la formación de lesiones blanquesinas entre las nervaduras, estos daños se observaron exclusivamente en el

haz de las hojas de edad intermedia. La intensidad del daño varió ligeramente al considerar las plantas en forma individual y pudo relacionarse con el tiempo de exposición (Bauer, Op.Cit.).

En cuanto al género Fraxinus, la especie más ampliamente distribuida es Fraxinus americana. Los fresnos son árboles de sombra y adorno, pero también son aserrables para ebanistería. Este género prefiere suelos arcilloso-calizos, frescos y bien drenados, es poco exigente en cuanto a clima. La altura de los árboles llega a alcanzar hasta 30 metros, la extensión de la copa de 25 metros, es abierto en la parte superior, es denso con muchas ramas gruesas ascendentes y laterales que se localizan a más de 6 metros del suelo, las hojas son triangulares, caducifolias, color verde claro en primavera y verde oscuro en otoño, gruesas y con nervaduras bien marcadas. La raíz es pivotante, gruesa y profunda, laterales gruesas y largas y admite podas ligeras, para conformación (Gpo. de reforestadores, Op.Cit.).

El fresno es muy utilizado en la reforestación de zonas urbanas, debido a su rápido crecimiento, tolerante a altas temperaturas (28° C) derivadas de la circulación de vehículos y muy probablemente como bioindicador de la contaminación es utilizado, aunque a este respecto TENDEL, in-

investigó la distribución de los nutrientes y elementos traza, en los anillos anuales de los árboles de pino, como indicadores de los cambios ambientales. Los elementos pueden ser divididos en 2 grupos:

- a) Los elementos con decremento de concentración de las capas más antiguas a las más jóvenes son: Ca, Mg, Mn, Zn, Al, Pb y Cd.
- b) Los elementos con incremento en la concentración son K, P, S, Fe, Cu y N.

Estos cambios en la entrada de elementos ocurridos en ambas localidades son casi paralelos y pueden ser el resultado de dos tendencias superpuestas: de una forma, parece indicar el incremento de emisión de contaminantes de acuerdo al incremento del depósito de varios elementos. De otra forma, el bióxido de azufre causa acidificación progresiva del suelo y la biósfera, seguido del lavado de elementos. El desarrollo industrial especialmente la emisión de bióxido de azufre parece ser la causa de al menos parte de estos efectos. De acuerdo a sus interpretaciones, el azufre parece ser el elemento clave para ambas tendencias (Tendel, 1988).

En éste género no existe elongación de tallos duran-

te el invierno, los patrones de crecimiento caen dentro de dos categorías; determinadas e indeterminadas. En el tipo determinado, las yemas crecen hacia afuera en la primavera y las yemas se expanden hasta que todos los primordios están diferenciados. Entonces se forma una yema terminal con nuevos primordios que se levantan continuamente hasta el verano. En el siguiente año el ciclo se repite, la cantidad de elongación está directamente relacionada con la cantidad de primordios en las yemas.

El otro tipo de crecimiento de altura fue descrito por Critchfield (1960) y no se limita al número de primordios antes del invierno, sino que incluye parte de esta estación, aparentemente la fotosíntesis da lugar a la expansión de hojas y a la formación de yemas terminales, posteriormente se establece una inhibición, después de que las yemas han sufrido una elongación; esta inhibición en parte es producida por el invierno y por la otra por un estímulo ambiental (Gill, 1971).

Los árboles de Fraxinus sp. son oriundos de zonas templadas, boreales y poseen hojas compuestas, por lo común opuestas con nervaduras coreáceas. Las flores se encuentran en racimos densos amentiformes, siendo sus semillas aladas,

se distinguen facilmente de las aladas de otros árboles por una mayor amplitud. La madera de estos árboles es resistente y elástica y se emplea para fabricar palos de beisbol y otros artículos deportivos. Existen diversas especies de Fraxinus tales como: Fraxinus excelsior, Fraxinus americana Fraxinus pubescens, etc. Pertenecientes a la familia de las oleáceas y al orden de las ligustrales, es un árbol de tronco grueso que se destaca del resto por su consistencia; del género Fraxinus sp. resalta el fresno florido o del maná Fraxinus ornus especie de la que se extrae el maná oficialis la cual es una sustancia gomosa y sacarina que exsuda el Fresno al ser picado por el insecto Cicada orni, de la familia de los cicadidos y se solidifica al contacto con el aire, este es usado como laxante (Gill, Op. Cit.).

J U S T I F I C A C I O N

El problema de la contaminación crece a un ritmo acelerado, y en particular la contaminación por metales pesados. Una de las alternativas que se emplea con mayor frecuencia para combatirla, es el de la reforestación y la restauración de áreas verdes.

La presente investigación tiene como fin evaluar los efectos de la contaminación por cadmio sobre los géneros de árboles Eucaliptus sp. y Fraxinus sp., utilizados frecuentemente para rehabilitar áreas deforestadas, parques y jardines.

Se eligieron estos géneros por ser de rápido crecimiento, amplia cobertura y que requieren cuidados mínimos, aún cuando su crecimiento y desarrollo es afectado por los diferentes niveles de concentración de los metales pesados (en especial del cadmio; por lo que es necesario éste tipo de estudios pues los vegetales están expuestos a sufrir daños por estos elementos.

Además es importante determinar los efectos que el cadmio tiene en el suelo para entender mejor el movimiento

del metal y los efectos que provoca éste, tanto en el suelo como en la planta, así como sus implicaciones físicas y químicas y de esta forma poder predecir el comportamiento en áreas contaminadas.

Este trabajo, apoyándose en estudios similares realizados en la ENEP-ZARAGOZA, pretende además de servir como herramienta de apoyo; contribuir a un mayor conocimiento de la sintomatología, que presentan los vegetales al ser afectados por el cadmio.

HIPOTESIS

A MAYOR CONCENTRACION DE CADMIO, SE OBSERVARAN MAYORES EFECTOS EN Fraxinus sp. Y Eucaliptus sp., POR LO TANTO SE ESPERA QUE LAS PLANTAS CON DOSIS DE 150 PPM SEAN LAS MAS AFECTADAS.

OBJETIVO GENERAL

EVALUAR LOS EFECTOS PROVOCADOS POR EL CADMIO EN Fraxinus sp. Y Eucalyptus sp, ADEMAS DE LA DISTRIBUCION Y GRADO DE ACUMULACION DE ESTE METAL EN LOS DIVERSOS TEJIDOS DE LOS DOS GENEROS Y EL EFECTO SIMULTANEO QUE TIENE SOBRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO.

OBJETIVOS PARTICULARES

- DETERMINAR LAS PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS DEL AL INICIO Y TERMINO DEL EXPERIMENTO.
- EVALUAR LOS EFECTOS PROVOCADOS POR LA ADICION DE CADMIO EN EL DESARROLLO Y CRECIMIENTO DE LOS DOS GENEROS.
- DETERMINAR LA CANTIDAD DE CADMIO EN RAIZ, TALLO Y HOJA EN Fraxinus sp. Y Eucaliptus sp. AL FINAL DEL ESTUDIO.

M E T O D O

La fase experimental del trabajo fue dividida en:

I) de invernadero y II) de laboratorio.

El trabajo de invernadero consistió en plantar 26 arboles de Fraxinus sp y de Eucaliptus sp., utilizando para cada planta una bolsa de plástico negro con aproximadamente 3 kilos de una mezcla de 3/4 de tierra negra y 1/4 de tierra de hoja (relación 3:1). Al mismo tiempo se tomó de esta mezcla 2 kilogramos de muestra, misma que se sometió al análisis de laboratorio.

El diseño del experimento y la asignación de las plantas fue por bloque al azar.

Para determinar el efecto del cadmio en las plantas de Fraxinus sp y Eucaliptus sp., se adicionaron diferentes concentraciones de cloruro de cadmio ($CdCl_2$), como se puede observar en la figura 1.

Las plantas fueron regadas cada tercer día y cada

GENEROS	No. DE LA PLANTA	CONCENTRACION	CONCEN. FINAL
<u>FRAXINUS</u> sp.	15, 18, 19, 20, 22, 23	0 ppm	0 ppm
	1, 2, 17, 16, 26	50 ppm	250 ppm
	8, 9, 13, 14, 24	75 ppm	525 ppm
	3, 11, 12, 7, 25	100 ppm	700 ppm
	4, 5, 6, 10, 21	150 ppm	1050 ppm
<u>EUCALIPTUS</u> sp.	7 13 15 20 24 25	0 ppm	0 ppm
	4 9 18 22 23	50 ppm	250 ppm
	2 5 10 11 19	75 ppm	525 ppm
	3 6 14 16 26	100 ppm	700 ppm
	1 8 12 17 21	150 ppm	1050 ppm

FIGURA: 1. DISEÑO EXPERIMENTAL.- SE INDICA EL GENERO, EL No. CORRESPONDIENTE A CADA UNA DE LAS PLANTAS, LA CONCENTRACION Y CONCENTRACION FINAL DE CADMIO A LA QUE FUERON EXPUESTAS.

quinze días se midió su altura (tabla 1 y 2), además se registraron los síntomas en estas (tabla 7).

La sal de $CdCl_2$ se aplicó aproximadamente cada mes, (tablas 1 y 2), este tratamiento duro un año, trascurrido el cual se extrajeron las plantas del suelo a fin de obtener las distintas partes (raíz, tallo y hoja) que fueron sometidas a análisis, a la vez que se tomó una muestra del suelo de cada especie y cada concentración para realizar el análisis de laboratorio y poder evaluar los cambios producidos por la adición de cloruro de cadmio.

El trabajo de laboratorio consistió en la determinación de los parámetros físicos y químicos y la cuantificación del cadmio tanto en el suelo como en las partes constitutivas de las plantas de acuerdo a los siguientes métodos:

PARAMETROS FISICOS

- color por comparación con las tablas Munsell (1).
- densidad aparente y real (1)
- textura por Bouyoucus (1)

PARAMETROS QUIMICOS

- pH potencial y activo por el método potenciométrico (2).
- capacidad de intercambio catiónico total (2).
- conductividad eléctrica (2).
- materia orgánica por el método de Walkley y Black modificado por Allison (2).
- carbonatos y bicarbonatos por titulación con ácido sulfúrico (3).
- cloruros por titulación con cloruro de plata (3).
- calcio y magnesio (2).
- fósforo por espectrofotometría (3).
- nitrógeno por Kjendall (3).
- sodio y potasio por flamometría (4).
- cadmio por absorción atómica (5), ver anexo.

NOTA:

- (1) Citado por (Tamhane,1978).
- (2) Citado por (Ortega,1978).
- (3) Citado por (Jackson,1976).
- (4) Citado por (Chapman,1979).
- (5) Citado por (A.P.H.A.,1976).

R E S U L T A D O S

T A B L A S

FECHAS TRATAMIENTOS	NÚMERO DE PLANTAS	21-01-86	07-02-86	07-03-86	17-03-86	09-04-86	05-04-86	09-05-86	22-05-86	27-05-86	09-06-86	07-07-86	23-07-86	14-08-86	25-08-86	11-09-86	29-09-86	14-10-86	17-11-86	09-01-87	09-01-87	
FESTIGO	D 18 21	24 24 24	25 25 25	24 24 24	P R L C	41 25 43	S C G	42 46.3 49.5	T E B E	C U B	43 41 43	43 41 43	O U W	43 41 43	S E T	43 41 43	S E T	43 41 43	43 41 43	43 41 43	43	
PROMEDIO	1 2 3	24.0 24.0 24.0	25.0 25.0 25.0	24.0 24.0 24.0	A	42.7 25.0 42.7	D	46.0 25.0 46.0	R	A	42.3 41.0 43.7	42.3 41.0 43.7	A	42.3 41.0 43.7	42.3 41.0 43.7	42.3 41.0 43.7	M	42.7 41.0 43.7	42.7 41.0 43.7	42.7 41.0 43.7	42.7	
50 ppm	1 2 3	20 20 20	20 20 20	20 20 20	A	22.5 22.5 22.5	Z	22.5 22.5 22.5	A	A	27 27 27	27 27 27	A	27 27 27	27 27 27	27 27 27	A	27 27 27	27 27 27	27 27 27	27	
PROMEDIO	1 2 3	20.0 20.0 20.0	20.0 20.0 20.0	20.0 20.0 20.0	A	22.5 22.5 22.5	Z	22.5 22.5 22.5	A	A	27.0 27.0 27.0	27.0 27.0 27.0	A	27.0 27.0 27.0	27.0 27.0 27.0	27.0 27.0 27.0	A	27.0 27.0 27.0	27.0 27.0 27.0	27.0 27.0 27.0	27.0	
75 ppm	1 2 3	22.2 22.2 22.2	24.8 24.8 24.8	24.3 24.3 24.3	S P L J	21.4 15.3 15.3	L P I	22.8 22.5 22.5	L P L J	L P L J	10.7 71 71	10.7 71 71	A P I	25.1 25.1 25.1	10.7 71 71	10.7 71 71	A P L J	22.8 22.5 22.5	22.8 22.5 22.5	22.8 22.5 22.5	22.8 22.5 22.5	22.8
PROMEDIO	1 2 3	22.2 22.2 22.2	24.8 24.8 24.8	24.3 24.3 24.3	A	21.4 15.3 15.3	L	22.8 22.5 22.5	L	L	10.7 71 71	10.7 71 71	A	25.1 25.1 25.1	10.7 71 71	10.7 71 71	A	22.8 22.5 22.5	22.8 22.5 22.5	22.8 22.5 22.5	22.8 22.5 22.5	22.8
100 ppm	1 2 3	20.2 20.2 20.2	22.4 22.4 22.4	21.0 21.0 21.0	L C O N	16.7 21 21	A C O N	40.0 22.5 22.5	C C O N	C C O N	41.2 22.5 22.5	41.2 22.5 22.5	A	43.8 22.5 22.5	41.2 22.5 22.5	41.2 22.5 22.5	A	45.2 22.5 22.5	45.2 22.5 22.5	45.2 22.5 22.5	45.2 22.5 22.5	45.2
PROMEDIO	1 2 3	20.2 20.2 20.2	22.4 22.4 22.4	21.0 21.0 21.0	A	16.7 21 21	A	40.0 22.5 22.5	C	C	41.2 22.5 22.5	41.2 22.5 22.5	A	43.8 22.5 22.5	41.2 22.5 22.5	41.2 22.5 22.5	A	45.2 22.5 22.5	45.2 22.5 22.5	45.2 22.5 22.5	45.2 22.5 22.5	45.2
150 ppm	1 2 3	21.6 21.6 21.6	18.3 18.3 18.3	18.2 18.2 18.2	L C O N	15.3 21 21	A C O N	48.0 22.5 22.5	C C O N	C C O N	52.3 22.5 22.5	52.3 22.5 22.5	A	57.5 22.5 22.5	52.3 22.5 22.5	52.3 22.5 22.5	A	55.5 22.5 22.5	55.5 22.5 22.5	55.5 22.5 22.5	55.5 22.5 22.5	55.5
PROMEDIO	1 2 3	21.6 21.6 21.6	18.3 18.3 18.3	18.2 18.2 18.2	A	15.3 21 21	A	48.0 22.5 22.5	C	C	52.3 22.5 22.5	52.3 22.5 22.5	A	57.5 22.5 22.5	52.3 22.5 22.5	52.3 22.5 22.5	A	55.5 22.5 22.5	55.5 22.5 22.5	55.5 22.5 22.5	55.5 22.5 22.5	55.5

TABLA 1. PROMEDIO DE ALTURAS (cm) Y FECHAS DE APLICACIÓN DE CADMIO DE BRAZINAS SP

FECHAS TRATAMIENTOS	NUMERO DE PLANTAS	09 05 85	27 05 85	19 06 85	07 07 85	23 07 85	14 08 85	25 08 85	11 09 85	29 09 85	14 10 85	31 10 85	17 11 85	03 12 85	03 12 85	09 01 87	22 01 87	24 02 87	24 02 87
TESTIGO	10 10 10 10	108 108 108 108	R R R R	111 111 111 111	114 114 114 114	S S S S	118 118 118 118	T T T T	122 122 122 122	U U U U	128.2 128.2 128.2 128.2	CU CU CU CU	135 135 135 135	135 135 135 135	EV EV EV EV	140 140 140 140	S S S S	141 141 141 141	141 141 141 141
PROMEDIO		87.9	R	96.4	100.0	D	111.0	R	116.2	A	125.8	A	131	124		125.5	M	135	135
50 ppm	1 1 1 1	113 113 113 113	A A A A	117 117 117 117	121 121 121 121	L L L L	126.4 126.4 126.4 126.4	L L L L	131 131 131 131		138 138 138 138		146 146 146 146	146 146 146 146		151 151 151 151	A A A A	151 151 151 151	151 151 151 151
PROMEDIO		98.6		105.6	108.4		112		115.5		126		136	122		145		151	151
75 ppm	1 1 1 1	111 111 111 111	B B B B	114 114 114 114	118 118 118 118	P P P P	120.5 120.5 120.5 120.5	B B B B	125 125 125 125		132.5 132.5 132.5 132.5		140 140 140 140	140 140 140 140		145 145 145 145	A A A A	145 145 145 145	145 145 145 145
PROMEDIO		82.8	A	114.6	123	A	126		130.6		133.5		140.5	137.5		145		145	145
100 ppm	1 1 1 1	111 111 111 111	C C C C	114 114 114 114	117 117 117 117	T T T T	121 121 121 121	C C C C	125 125 125 125		132.5 132.5 132.5 132.5		140 140 140 140	140 140 140 140		145 145 145 145	A A A A	145 145 145 145	145 145 145 145
PROMEDIO		84.4		104.5	103.2		109.5		118.3		125.5		134.5	137.5		145		145	145
150 ppm	1 1 1 1	111 111 111 111	D D D D	114 114 114 114	117 117 117 117	T T T T	121 121 121 121	D D D D	125 125 125 125		132.5 132.5 132.5 132.5		140 140 140 140	140 140 140 140		145 145 145 145	A A A A	145 145 145 145	145 145 145 145
PROMEDIO		70.0		81.5	88.9		89.2		90.5		92.0		92.5	97.0		93.5		92.4	92.4

TABLA 2. PROMEDIO DE ALTURAS (cm.) Y FECHAS DE APLICACION DE CADMIO DE EUCALIPTUS sp.

PROPiedades FRAGMENTOS	COLOR en SECO	COLOR HUMEDO	DESARROLLO APARENTE g/cm ³	DESARROLLO REAL g/cm ³	pH-SAT AGUA	pH-SAT PCT	pH-11 AGUA	pH-11 PCT	TEXTURA en O/O	CLASE TEXTURAL	MO. O/O	CICT modifio	Ca modifio	Mg modifio	CONDUCT. modifio	HCO ₃ ⁻ modifio	CLORO modifio	N ₂ %	P ppm	S %	Na ppm	
1	15 YR 6/2	15 YR 2/0	103	222	6.5	5.8	6.7	5.6	7.2	6.6	80.32	6.75	25.25	2.54	3.95	2.2	0.433	1.74	0.025	1.6	0.225	153
1/4	10 YR 8/2	10 YR 2/1	5720	1.91	6.4	5.8	6.3	5.7	10.42	26.57	87.05	9.12	29.00	2.06	0.68	15.23	5.92x10 ⁻³	5.28x10 ⁻³	0.70	0.58	0.77	240
50ppm	10 YR 3/2	10 YR 2/1	680	1.80	6.0	6	6.9	5.8	8.6	22.85	68.35	12.4	29.50	2.05	0.62	13.67	4.75x10 ⁻³	4.29x10 ⁻³	0.60	0.77	2.20	4.51
75ppm	10 YR 3/2	10 YR 2/1	6.88	2.04	6.4	6	6.8	5.8	6.57	18.05	73.37	13.57	27.10	2.11	0.72	13.92	4.62x10 ⁻³	4.60x10 ⁻³	0.67	0.76	2.27	4.22
100ppm	10 YR 3/2	10 YR 2/1	682	1.85	6.4	5.8	6.9	6	8.92	22.28	68.8	11.81	26.60	2.69	0.60	16.70	4.67x10 ⁻³	5.20x10 ⁻³	0.58	0.60	1.61	5.70
150ppm	10 YR 3/2	10 YR 2/1	6.86	1.80	6.5	6	7	5.8	8.35	20.53	71.12	11.67	27.50	1.92	0.70	11.23	4.24x10 ⁻³	4.26x10 ⁻³	0.58	0.68	2.14	4.57

TABLA 13. RESULTADOS PROMEDIO DE ERABALUZ M. (FINALES) PARA CADA PARAMETRO.

PROPIEDADES TRATAMIENTOS	COLOR en SECO	COLOR HUMEDO	ENSAYO DIFRENTE	ENSAYO REAL	pH SAT AGUA	pH SAT KCl	pH 11 AGUA	pH 11 KCl	TEXTURA ARCILLA	TEXTURA LIMO	en % ARENA	CLASE TEXTURAL	M.O. %/n	C.I.C.T. mas/10g	Ca mas/10g	Mg mas/10g	CONDUCT. microhm/cm	HCO ₃ mas/10g	CLORO mas/10g	N ₂ %	P ppm	K ppm	Na ppm	
η	25 YR 4/2	25 YR 2/0	U3	212	6.5	5.8	6.7	5.6	7.2	6.48	80.32	FRANCO ARENOSO	6.25	35.25	2.56	3.95	7.2	0.433	1.74	0.06	1.6	0.225	1.55	
η	25 YR 2/2	25 YR 2/0	UR3	198	6.3	5.9	6.4	6.0	6.42	3.32	66.76	FRANCO ARENOSO	7.55	27.3	3.53	1.9	10.56	1.30 × 10 ³	2.0 × 10 ³	0.36	0.15	2.540	3.39	
50ppm	25 YR 1/2	25 YR 2/0	UR3	196	6.4	5.9	6.4	5.9	7.68	14.65	57.58	FRANCO ARENOSO	13.01	31.5	3.5	1.8	7.76	8.21 × 10 ³	2.31 × 10 ³	0.24	0.18	0.285	3.50	
75ppm	25 YR 2/2	25 YR 2/0	UR4	195	6.3	5.9	6.6	5.9	5.65	39.68	55.54	FRANCO ARENOSO	14.4	15.12	4.2	2.0	13.3	6.70 × 10 ³	2.0 × 10 ³	0.71	0.82	0.223	3.25	
100ppm	25 YR 1/2	25 YR 2/0	UR6	198	6.3	5.9	6.5	5.9	7.57	24	58.6	FRANCO ARENOSO	9.67	15.0	3.29	1.6	15.18	6.70 × 10 ³	2.07 × 10 ³	0.47	0.16	0.538	3.05	
150ppm	25 YR 1/2	25 YR 2/0	UR7	197	6.1	5.8	6.4	5.8	7.01	38.47	54.52	FRANCO ARENOSO	8.16	14.7	3.4	1.6	13.54	7.0 × 10 ³	2.43 × 10 ³	0.40	0.17	0.520	3.21	

TABLA 4. RESULTADOS PROMEDIO DE ECUALIZADOS, 40 (FINALES) PARA CADA PARAMETRO.

PROPIEDADES TRATAMIENTOS	CADMIO en ppm.							
	<u>FRAXINUS sp.</u>				<u>EUCALIPTUS sp.</u>			
T _i	S	R	T	H	S	R	T	H
		0	0	0	1.02	0	0	0
T _f	4.92	1.75	2.85	3.09	3.21	3.51	3.28	3.62
50 ppm	6.37	6.55	4.38	5.47	9.06	10.01	3.28	4.52
75 ppm	7.28	6.61	3.91	2.96	6.99	10.58	6.26	3.37
100 ppm	6.48	6.13	4.42	3.13	5.47	4.74	2.78	3.37
150 ppm	9.37	7.99	6.9	3.55	10.99	2.52	7.33	3.21

NOTA: S=SUELO, R=RAIZ, T=TALLO, H=HOJA

TABLA: 5. RESULTADOS PROMEDIO DE LAS DOS
(FINALES) PARA CADMIO,

NUTRIENTES	REQUERIMIENTOS EN EL SUELO	CONTENIDOS EN EL SUELO AL INICIO DEL ESTUDIO
CONDUCTIVIDAD	1.4 a 2.2 mmho/cm.	2.2 mmhos/cm.
CLORUROS	0.04 a 0.25 meq/100g.	1.74 meq/100 g.
SODIO	0.0 a 3.6 meq/100 g.	12.7 meq/100 g.
POTASIO	2.9 a 5.4 meq/100 g.	0.2875 meq/100 g.
NITROGENO	0.95 a 2.95 meq/100 g.	0.049 meq/100 g.
FOSFORO	6.0 a 8.5 ppm	1.6 ppm
CALCIO	0.7 a 1.3 meq/100 g.	2.56 meq/100 g.
MAGNESIO	0.35 a 0.86 meq/100g.	3.95 meq/100 g.

TABLA: 6. REQUERIMIENTOS NECESARIOS PARA UN SUELO (LOPEZ, 1985)

TRATAMIENTOS	SINTOMAS	PRESELETTADOS
	FRAXINUS sp.	EUCALIPTUS sp.
TESTIGO	HOJAS CON Matices ROJIZOS EN EL BORDE. CAIDA DE HOJAS. CLOROSIS Y NECROSIS.	CLOROSIS. CAIDA DE HOJAS.
50 ppm	ENROSCAMIENTO DE HOJAS Y BROTES. CLOROSIS. HOJAS CON Matices CAFES. HOJAS CON PUNTOS ROJOS.	CLOROSIS. DOBLE COLOR EN LA PUNTA DE LAS HOJAS. ENROSCAMIENTO. PARTES CAFE-ROJIZO EN EL BORDE DE LAS HOJAS.
75 ppm	DEBILITAMIENTO DEL TALLO. ACENTUAMIENTO DE MANCHAS CAFE EN LAS HOJAS. CAIDA DE HOJAS. CLOROSIS. LOS BROTES NUEVOS DE COLOR CAFE-ROJIZO. MANCHAS ROJAS Y CAFES. ENROSCAMIENTO DE HOJAS.	CAIDA DE HOJAS. ENROSCAMIENTO Y PUNTOS AMARILLOS ENTRE LAS NERVADURAS. CLOROSIS. DEBILITAMIENTO DEL TALLO.
100 ppm	CLOROSIS Y CAIDA DE HOJAS ENROSCAMIENTO DE LAS HOJAS JOVENES PUNTOS CAFES EN EL BORDE DE LAS HOJAS Y EN LAS PUNTAS	ALGUNAS HOJAS COMPLETAMENTE SECAS. DEBILITAMIENTO EN EL TALLO. CLOROSIS. ENROSCAMIENTO DE HOJAS.
150 ppm	CLOROSIS Y CAIDA DE HOJAS NECROSIS Y DEBILITAMIENTO DEL TALLO MANCHAS ROJAS EN TODO EL BORDE DE LA HOJA.	PARTES SECAS EN LAS HOJAS. PUNTOS ROJOS EN LAS HOJAS. CLOROSIS Y ENROSCAMIENTO DE HOJAS. CAIDA DE HOJAS.

TABLA: 7. SINTOMAS PRESENTADOS EN LOS DOS GENEROS DURANTE EL PERIODO DE ESTUDIO.

NUTRIENTES	SINTOMAS DE DEFICIENCIA
CLORO	<p style="text-align: center;">CLOROSIS</p> QUEMADURAS EN LA EXTREMIDAD DE LAS HOJAS QUE SE EXTIENDEN A LA PERIFERIA DEL LIMBO. NECROSIS. PERTURBACIONES EN LA FRUCTIFICACION.
CALCIO	MENOR CAPACIDAD DE SINTESIS DE PROTEINAS EN LA PLANTA. MENOR DESARROLLO RADICULAR; SE FORMAN RAICES OSCURAS, CORTAS Y FRACCIONADAS, INFLUYENDO DIRECTAMENTE EN LA ABSORCION DE OTROS ELEMENTOS. LAS HOJAS CON UNA CLOROSIS MARCADA PRINCIPALMENTE EN LAS JOVENES TOMANDO FORMA DE GARFIO. POCO CRECIMIENTO DE LOS TALLOS Y DE LAS HOJAS PRODUCIENDOSE MUERTE DE LOS MERISTEMOS Y LAS PLANTAS SE MUESTRAN MENOS CRECIDA Y DESARROLLADA.
MAGNESIO	CLOROSIS GENERAL EN LA PLANTA PRINCIPALMENTE EN LAS HOJAS VIEJAS (POR FALTA DE CLOROFILA), LA CLOROSIS ES DE TIPO INTERVENAL EN LAS HOJAS. DEFOLIACION INTENSIVA EN LAS PLANTAS. LOS SINTOMAS SON MAS NOTABLES DESPUES DEL PERIODO VEGETATIVO DE INTENSO CRECIMIENTO Y GENERALMENTE DESPUES DE INTENSAS LLUVIAS EN SUELOS QUE SON SUCEPTIBLES DE UN GRAN LAVADO O LIXIVIACION DE SALES.
POTASIO	REDUCCION GENERAL DEL CRECIMIENTO. LOS TALLOS Y LA CONSISTENCIA GENERAL DE LA PLANTA SON DE MENOS RESISTENCIA FISICA Y PRESENTAN UN MENOR VIGOR DE CRECIMIENTO. LOS FRUTOS Y SEMILLAS REDUCEN TAMAÑO Y CALIDAD POR UNA DEFICIENCIA EN LA SINTESIS. LAS HOJAS TIENDEN A ENRULARSE, AMARILLEAN LOS MARGENES Y LUEGO SE NECROSAN, LAS MANCHAS AVANZAN HACIA EL CENTRO DE LA HOJA TORNANDOSE MARRONES, LOS SINTOMAS APARECEN PRIMERO EN LAS HOJAS INFERIORES Y LUEGO EN LAS SUPERIORES.
FOSFORO	LENTO CRECIMIENTO Y DESARROLLO DE LA PLANTA. FLOEMA Y XILEMA POCO DESARROLLADO. MENOS PESO Y TAMAÑO. POBRE FLORACION Y FRUCTIFICACION. RETRASO DE LA MADURACION. LAS HOJAS TOMAN UN COLOR VERDE OSCURO Y A VECES CON Matices ROJIZOS (ANTOCIANINA).
NITROGENO	MENOR CRECIMIENTO. DEBILITAMIENTO DE LA PLANTA. AMARILLAMIENTO. NECROSIS DE LOS TEJIDOS (MUERTE) CAIDA DE HOJAS.
CADMIO	PUNTOS CAFE-ROJIZO CERCA DE LA BASE DEL PECIOLLO DE LAS HOJAS UNIFOLIADAS Y CONTINUOS A LO LARGO DE LAS VENAS EN LA PARTE MAS BAJA DE LAS HOJAS. LAS HOJAS JOVENES SE CLOROTZAN DEL APICE HACIA LA ABCISIS. CAIDA DE HOJAS Y MARCHITEZ DE LA PLANTA. ACELERA EL CRECIMIENTO EN LAS PRIMERAS SEMANAS Y DESPUES LO DISMINUYE (ESTE EFECTO ES DEPENDIENDO DE LA ESPECIE).

TABLA: 8 EFECTOS VISUALES DE LA DEFICIENCIA DE NUTRIENTES EN LA PLANTA (RODRIGUEZ, 1982).

FECHAS	31-ENE-86 a	07-MAR-86 a	25-ABR-86 a	15-MAY-86 a	27-MAY-86 a	07-JUL-86 a	25-AGO-86 a	29-SEP-86 a	09-ENE-87
TRATAMIENTO	07-MAR-86	25-ABR-86	15-MAY-86	27-MAY-86	07-JUL-86	25-AGO-86	29-SEP-86	09-ENE-87	
TESTIGO	30.60	20.77	8.09	0	1.27	0.87	0.38	9.23	DESCRIPCION
50 ppm	27.00	16.70	2.92	2.53	5.79	4.15	7.88	4.55	
75 ppm	320.81	6.79	4.44	0	3.38	5.43	0	5.15	
100 ppm	141.50	12.12	19.96	2.94	4.65	10.72	2.10	7.26	
150 ppm	40.46	15.02	2.32	3.88	3.55	2.19	1.38	2.52	

TABLA: 9 PORCENTAJE DE CRECIMIENTO DE ERAXINUS sp.

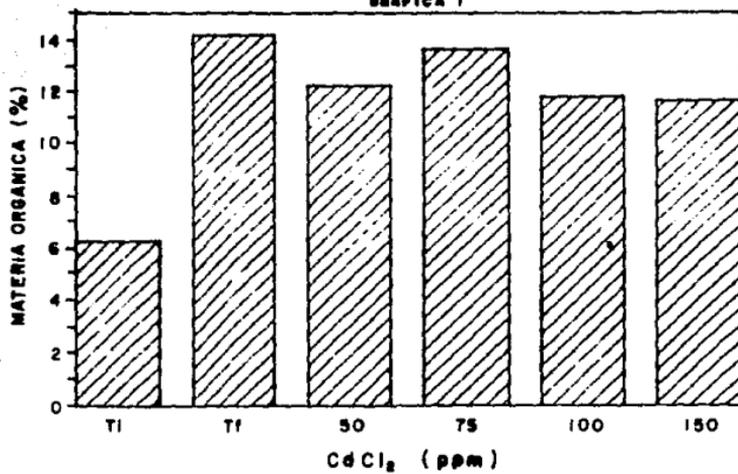
FECHAS	09-MAY-86 a	07-JUL-86 z	28-AGO-86 a	29-SEP-86 a	31-OCT-86 a	03-DIC-86 a	22-ENE-87 a	24-FEB-87	
TRATAMIENTOS	07-JUL-86	28-AGO-86	29-SEP-86	31-OCT-86	03-DIC-86	22-ENE-87	24-FEB-87		
TESTIGO	20.56	4.91	4.85	3.05	3.48	0.92	0.55	C U M P T O	
50 ppm	10.83	5.02	1.88	2.33	2.95	2.97	0.96		
75 ppm	61.20	4.31	2.22	2.92	2.12	2.02	0.56		
100 ppm	15.87	8.48	2.60	3.80	5.15	0.98	0.64		
150 ppm	16.97	3.71	0.61	0	2.35	2.78	1.84		

TABLA:10. PORCENTAJE DE CRECIMIENTO DE EUCALIPTUS sp.

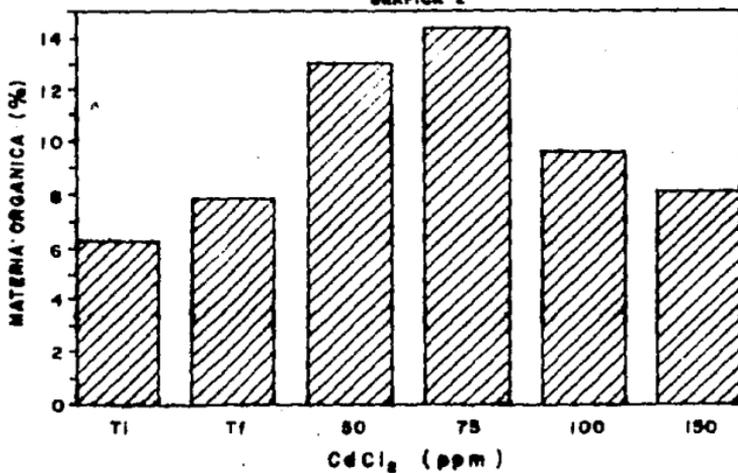
GRÁFICAS

Froxinus sp.

GRÁFICA 1

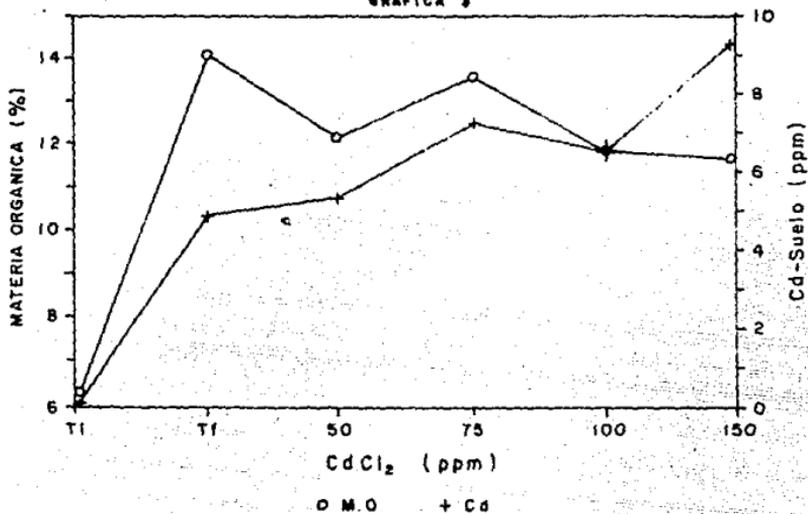
**Eucalyptus sp.**

GRÁFICA 2

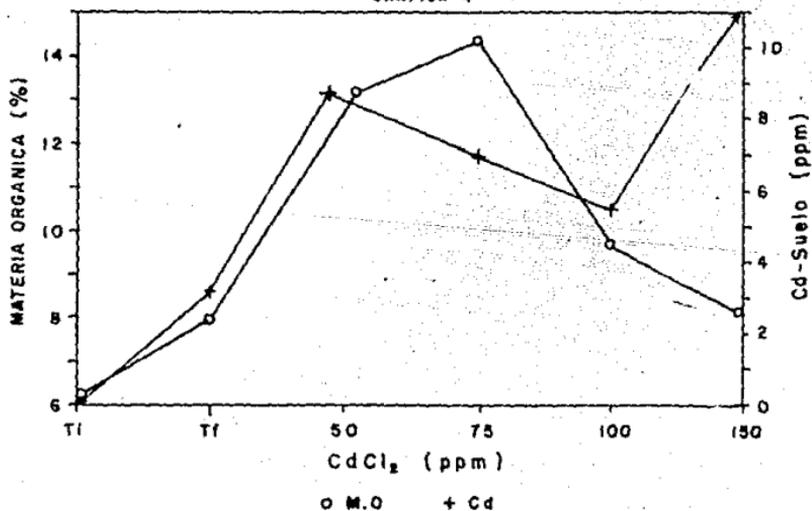


Froxinus sp.

GRAFICA 3

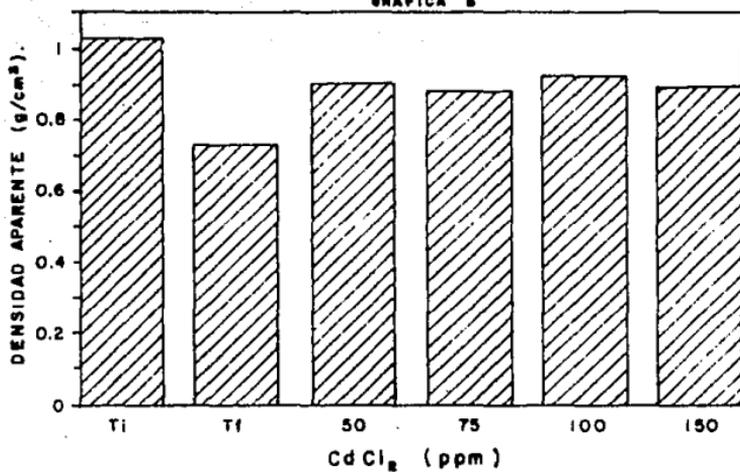
Eucaliptus sp.

GRAFICA 4

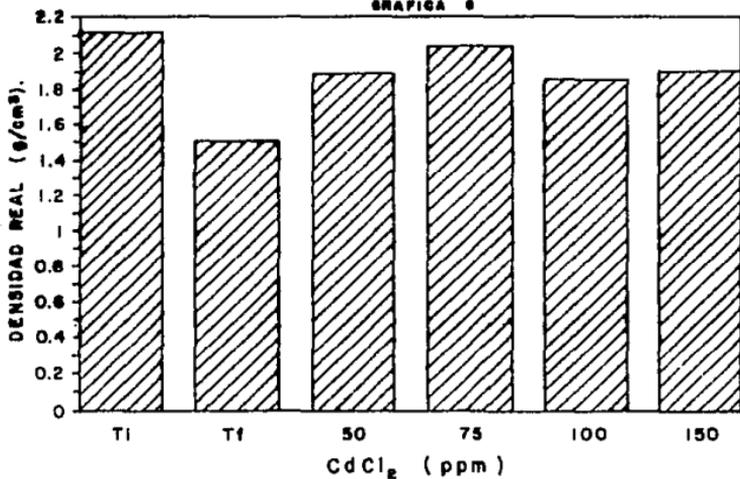


Fraxinus sp.

GRAFICA 8

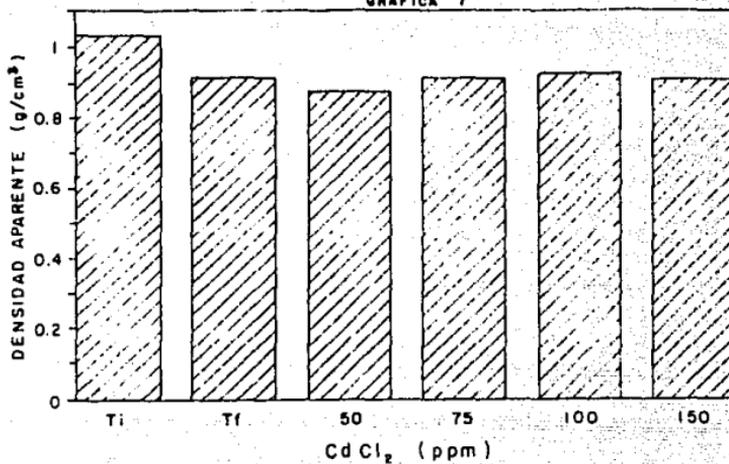
Fraxinus sp.

GRAFICA 9

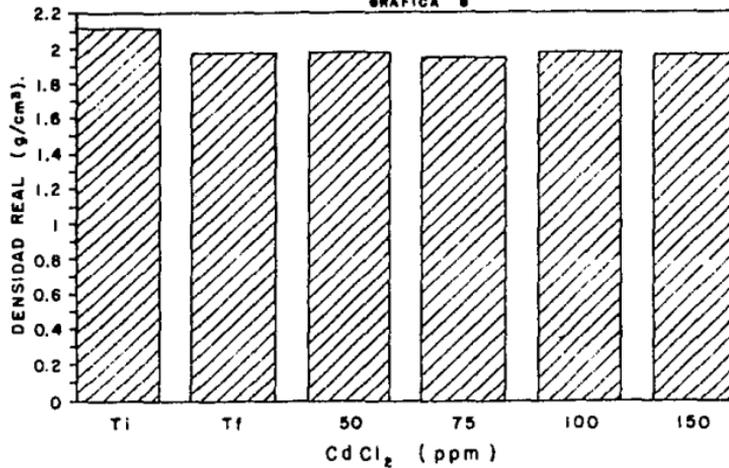


Eucaliptus sp.

GRAFICA 7

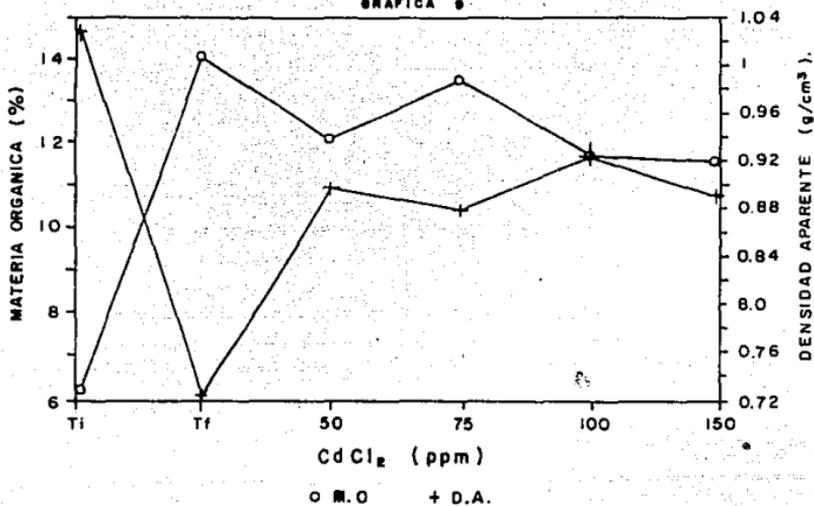
Eucaliptus sp.

GRAFICA 8

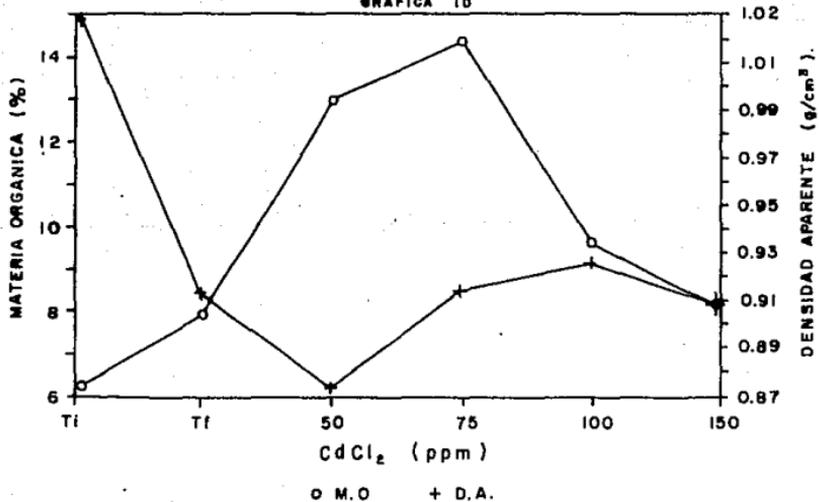


Fraxinus sp.

GRAFICA 9

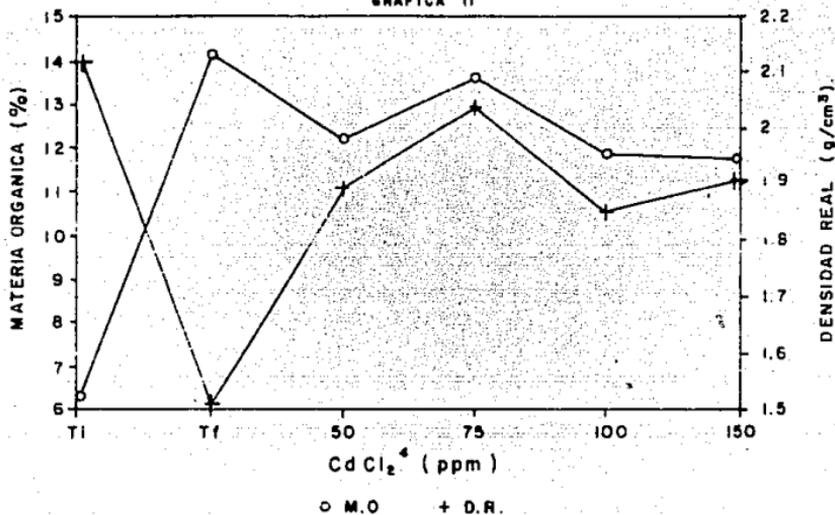
Eucaliptus sp.

GRAFICA 10

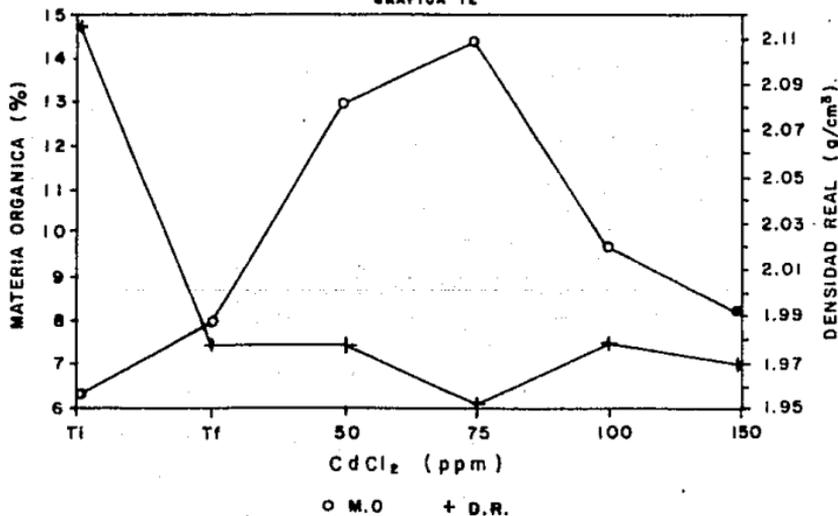


Fraxinus sp.

GRAFICA 11

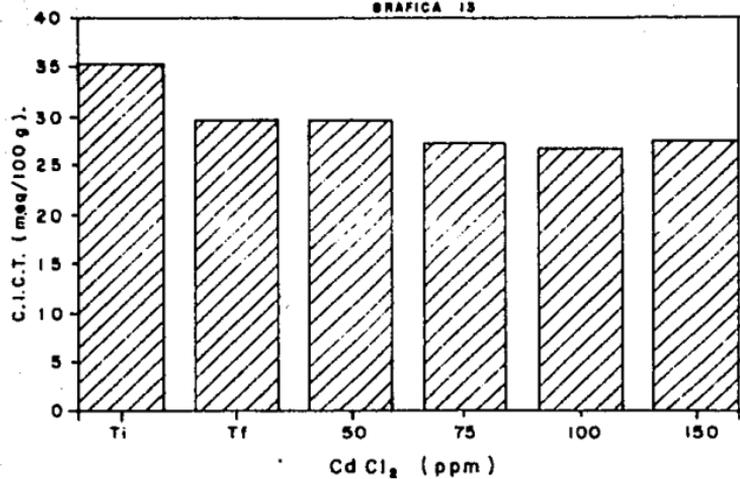
Eucaliptus sp.

GRAFICA 12

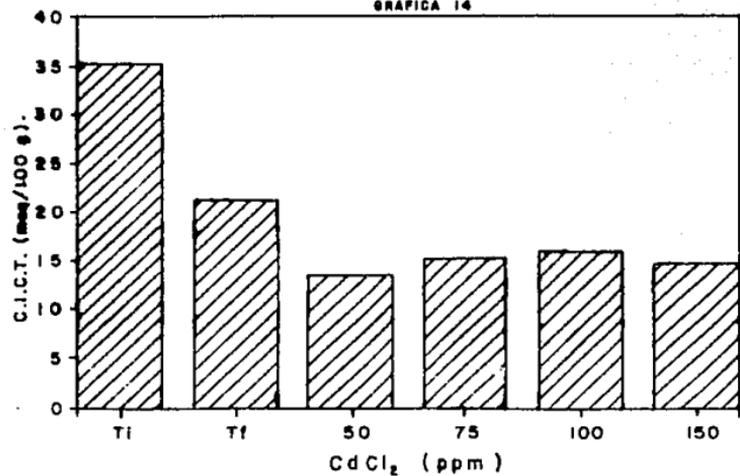


Fraxinus sp.

GRAFICA 13

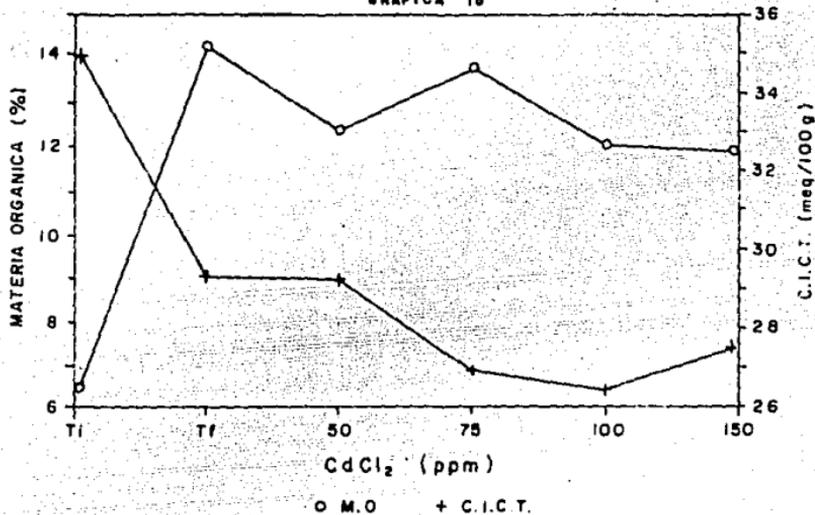
Eucaliptus sp.

GRAFICA 14

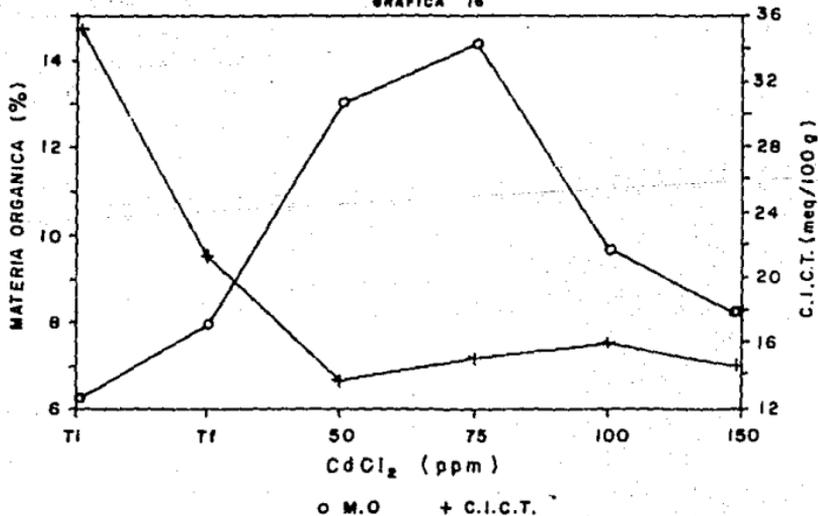


Froxinus sp.

GRAFICA 18

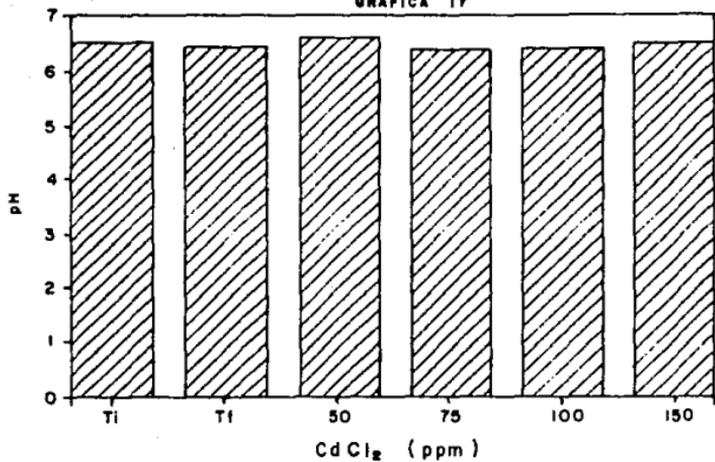
Eucaliptus sp.

GRAFICA 19

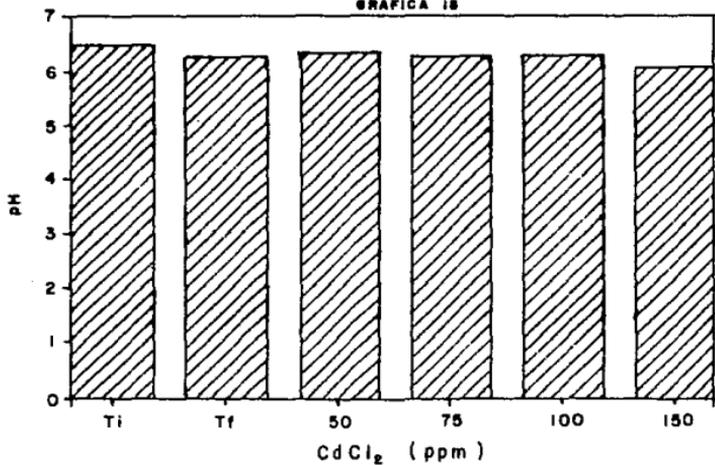


Fraxinus sp.

GRAFICA 17

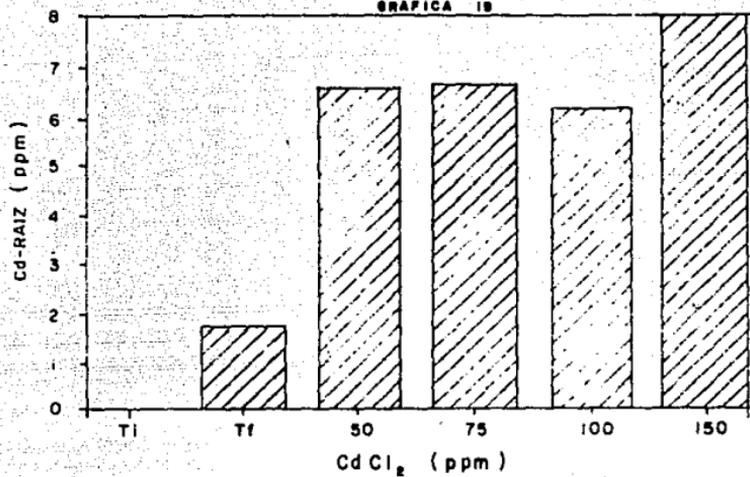
**Eucaliptus sp.**

GRAFICA 18

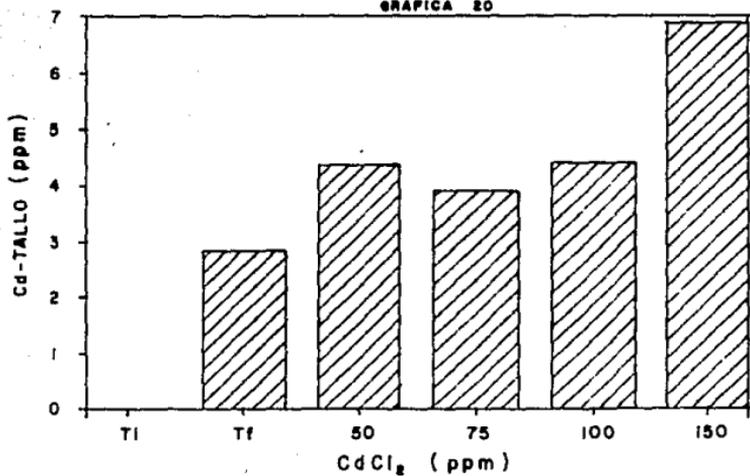


Fraxinus sp.

GRAFICA 19

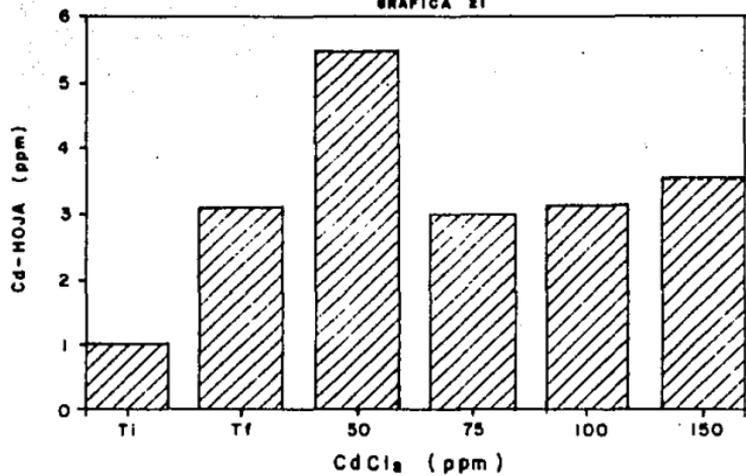
Fraxinus sp.

GRAFICA 20

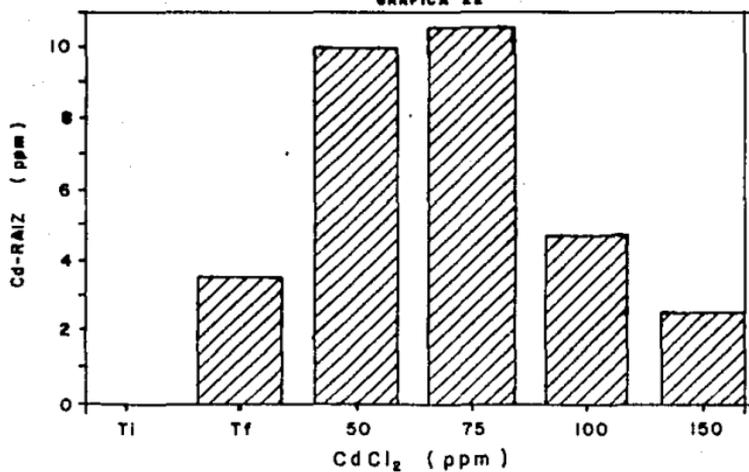


Fraxinus sp.

GRAFICA 21

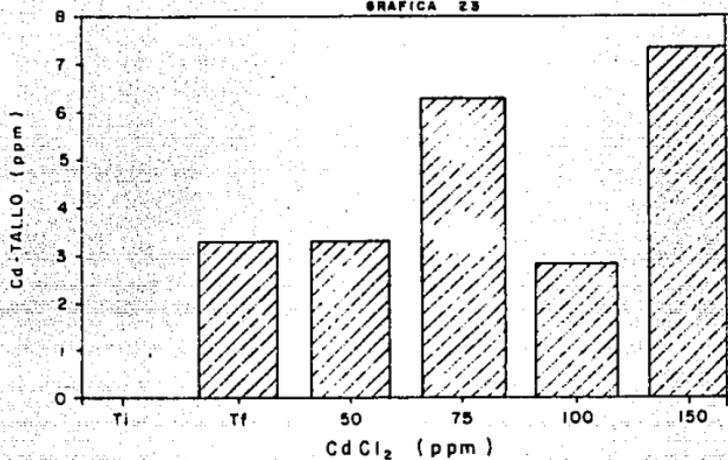
Eucalyptus sp.

GRAFICA 22

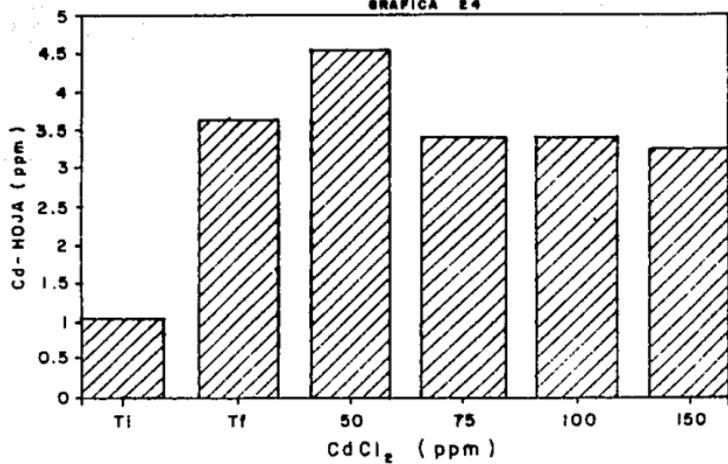


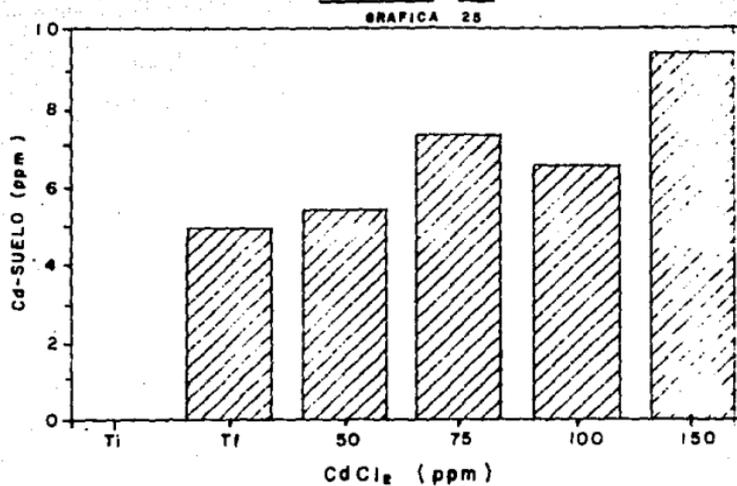
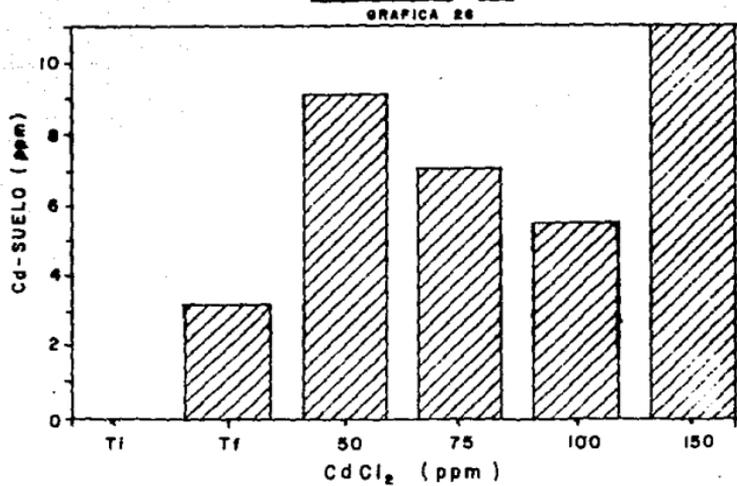
Eucaliptus sp.

GRAFICA 23

Eucaliptus sp.

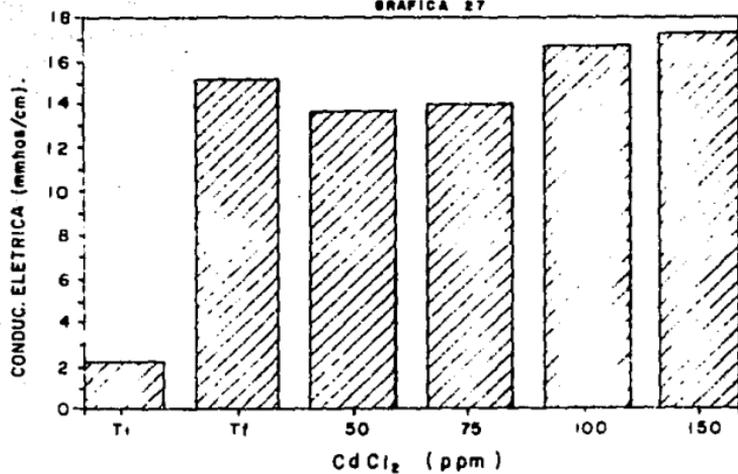
GRAFICA 24



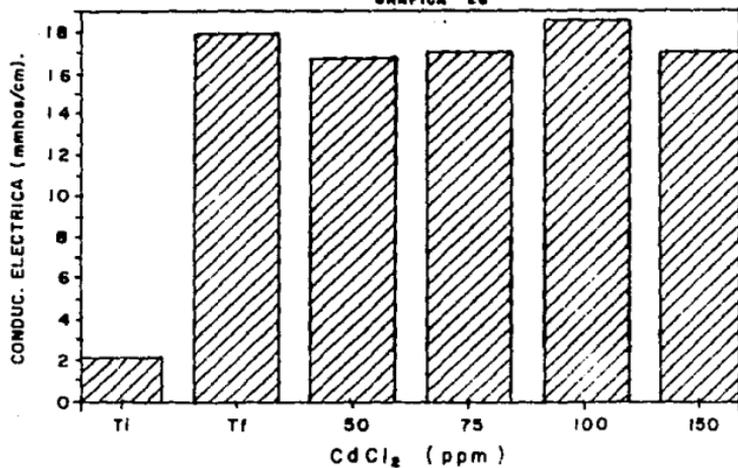
Fraxinus sp.Eucaliptus sp.

Fraxinus sp

GRAFICA 27

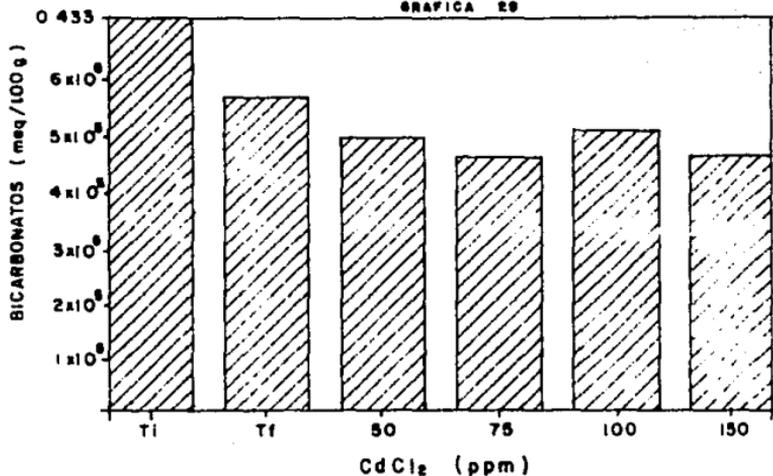
Eucaliptus sp.

GRAFICA 28

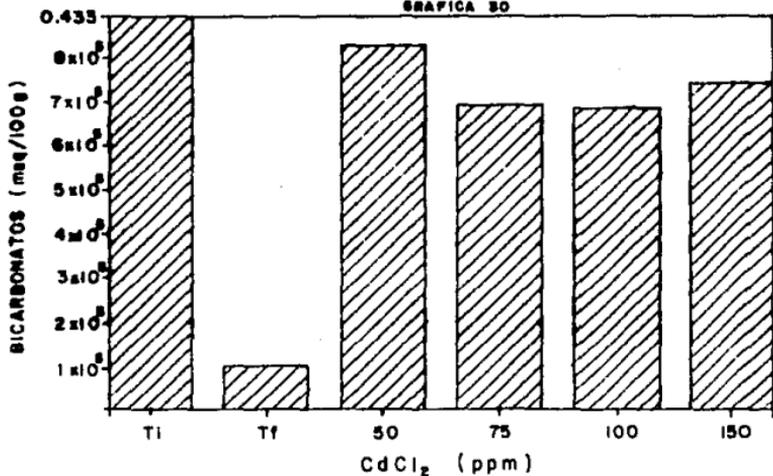


Fraxinus sp.

GRAFICA 28

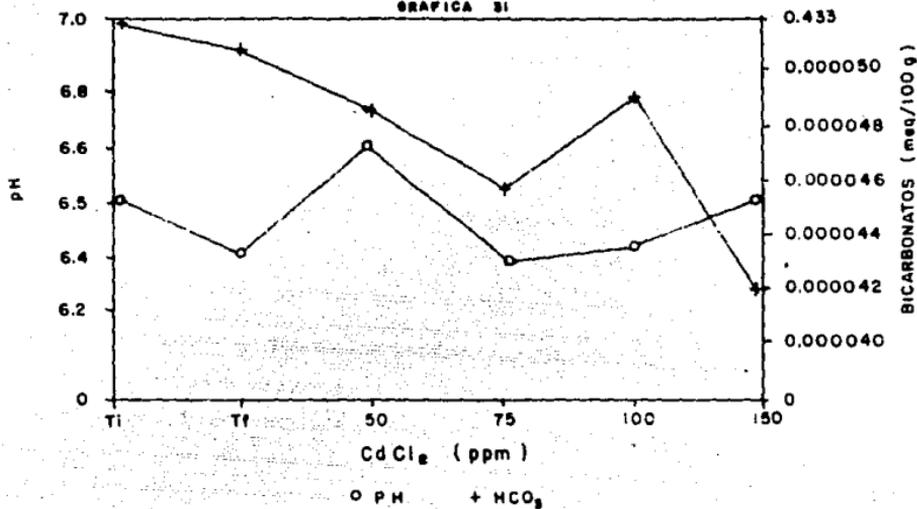
Eucaliptus sp.

GRAFICA 30

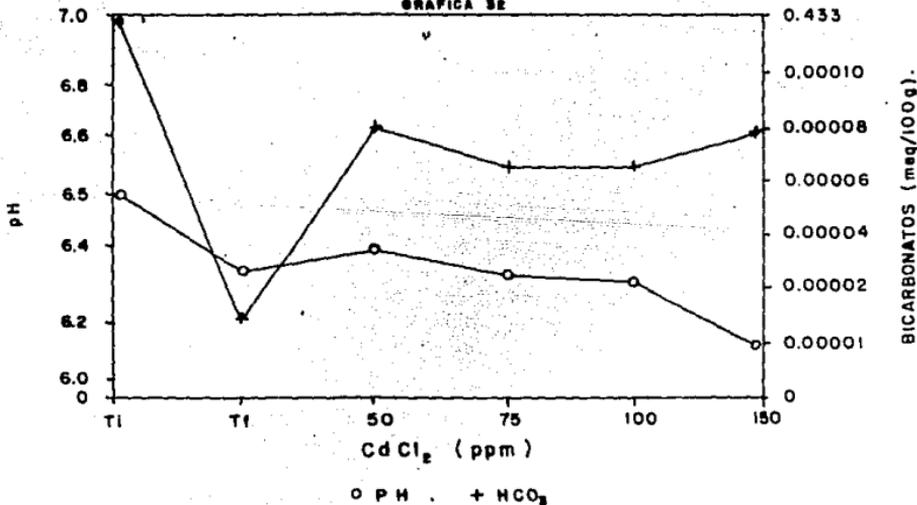


Fraxinus sp.

GRAFICA 31

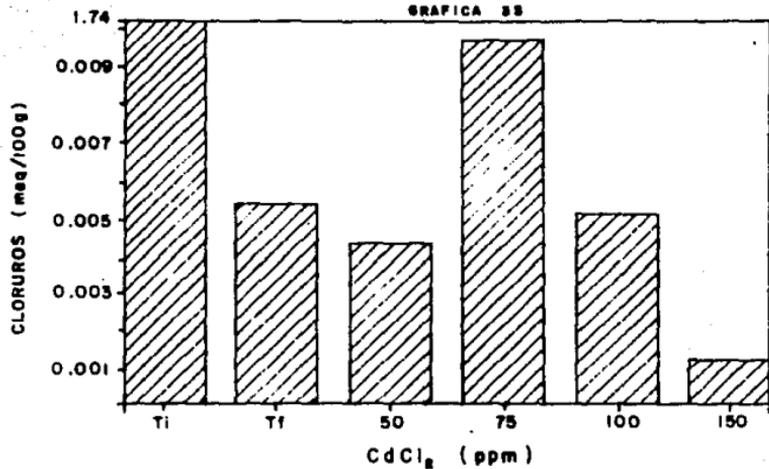
Eucaliptus sp.

GRAFICA 32

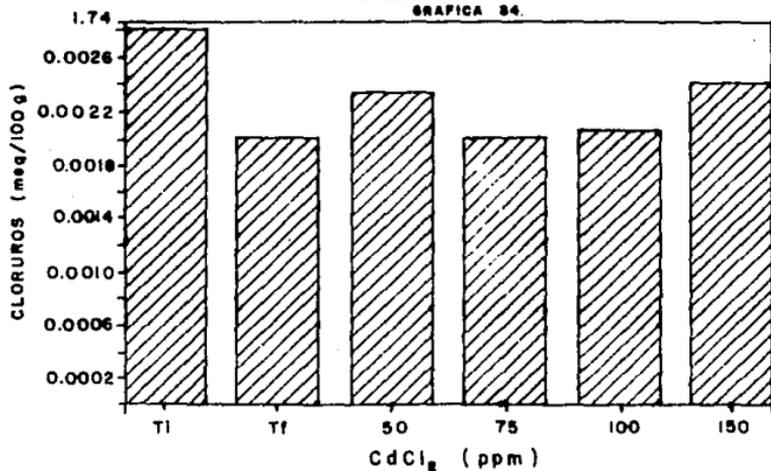


Fraxinus sp.

GRAFICA 33

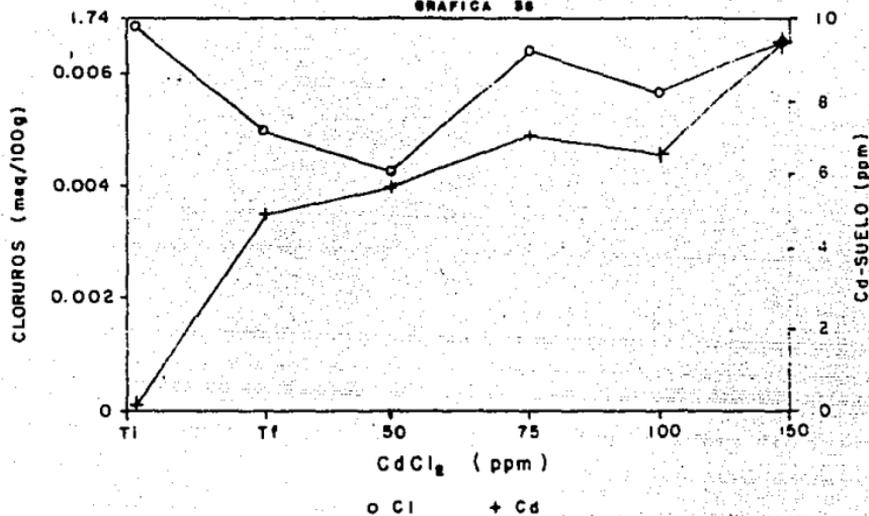
Eucalyptus sp.

GRAFICA 34

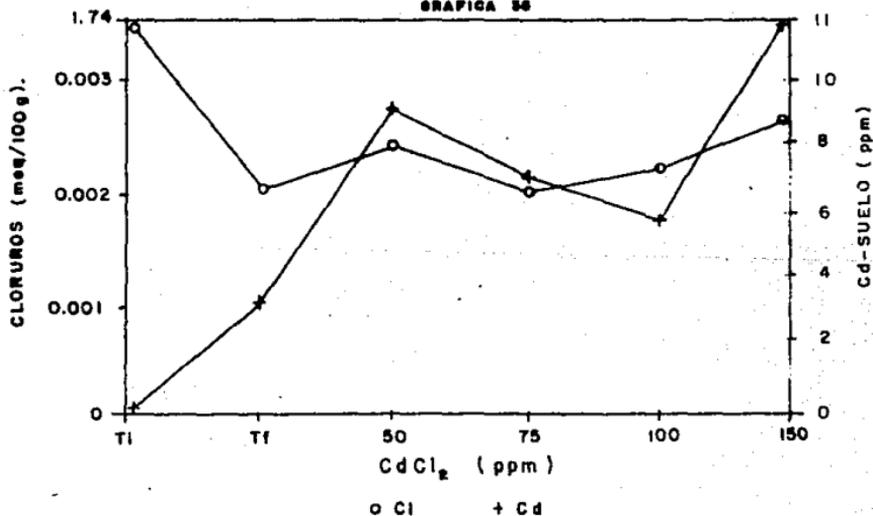


Fraxinus sp.

GRAFICA 38

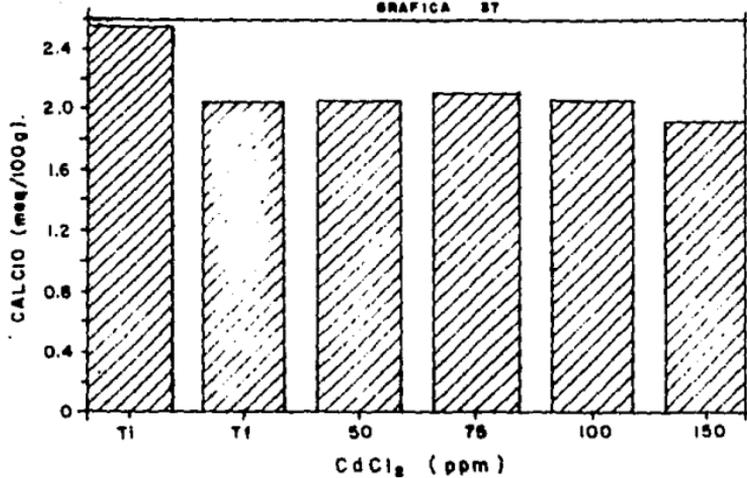
Eucaliptus sp.

GRAFICA 39

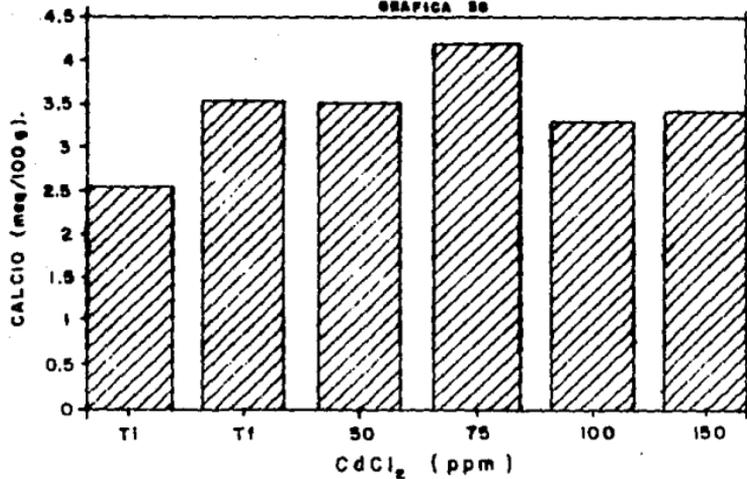


Froxinus sp.

GRAFICA 37

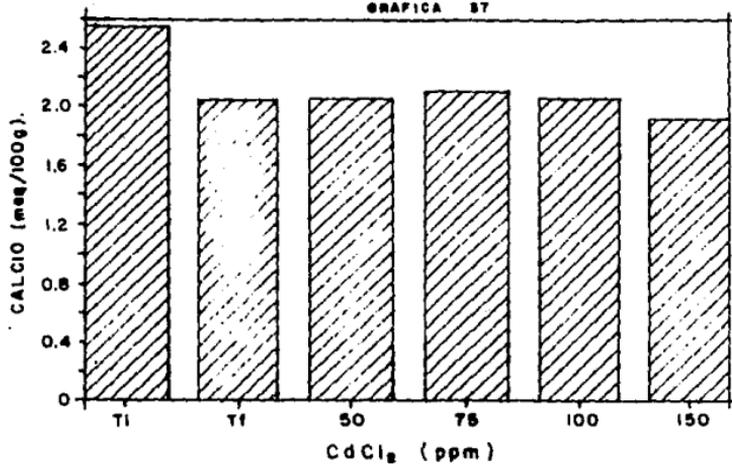
Eucaliptus sp.

GRAFICA 38

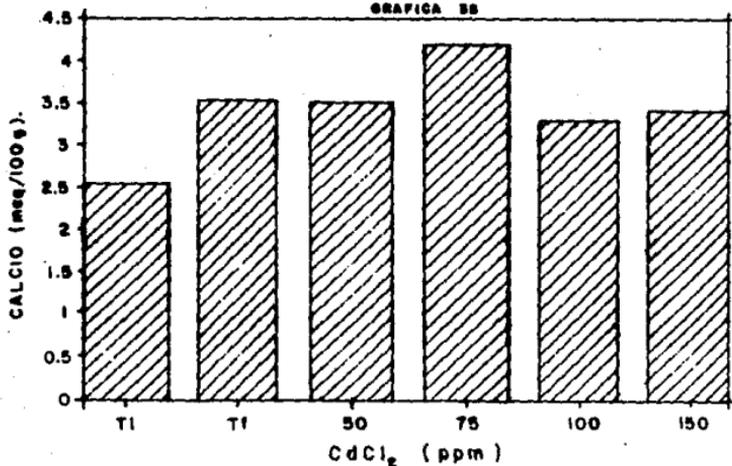


Fraxinus sp.

GRAFICA 27

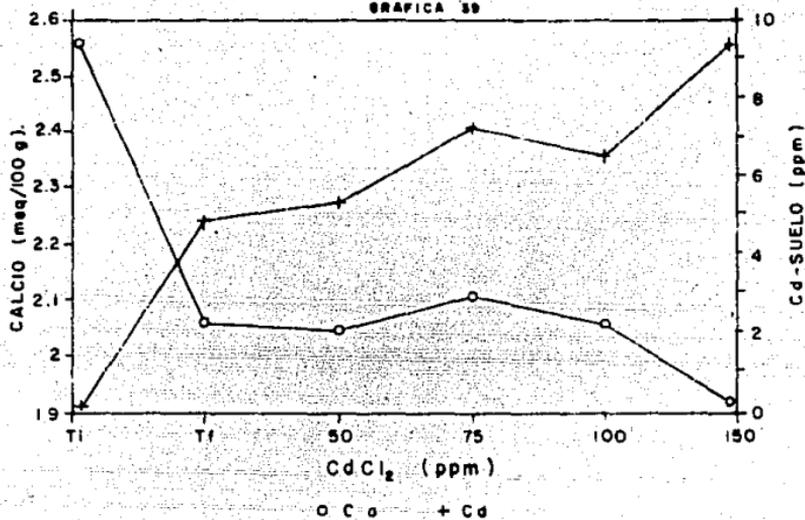
Eucaliptus sp.

GRAFICA 28

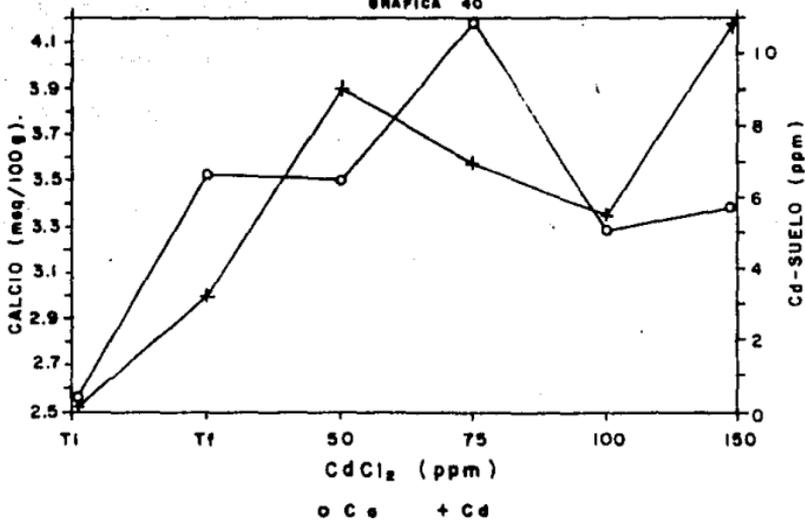


Fraxinus sp.

GRAFICA 39

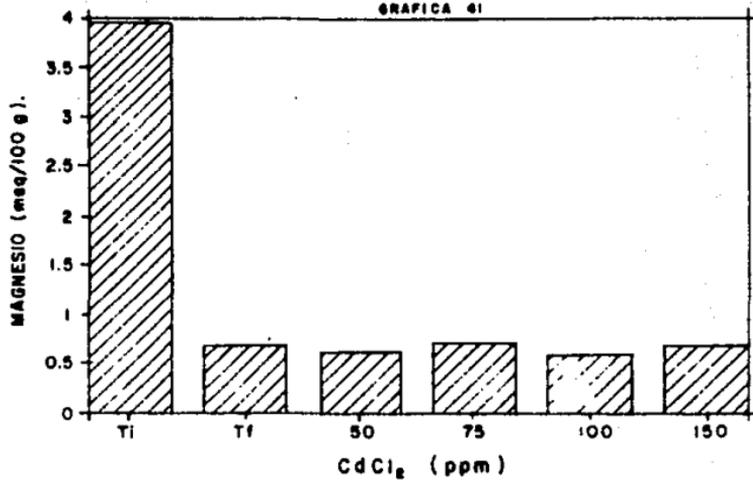
Eucaliptus sp.

GRAFICA 40

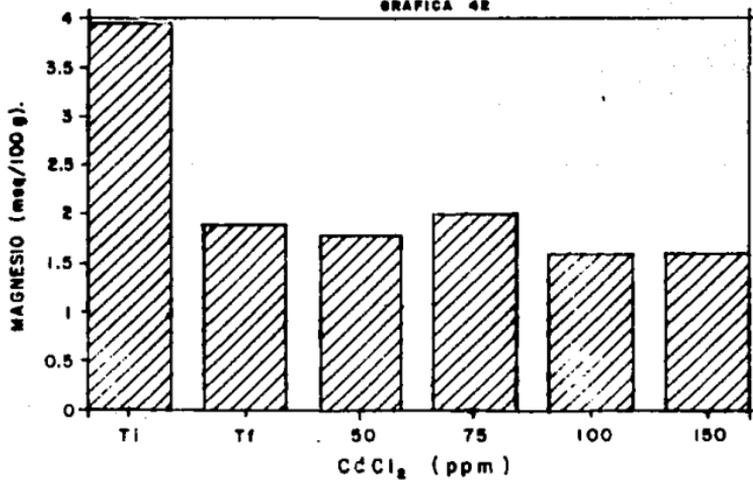


Fraxinus sp.

GRAFICA 41

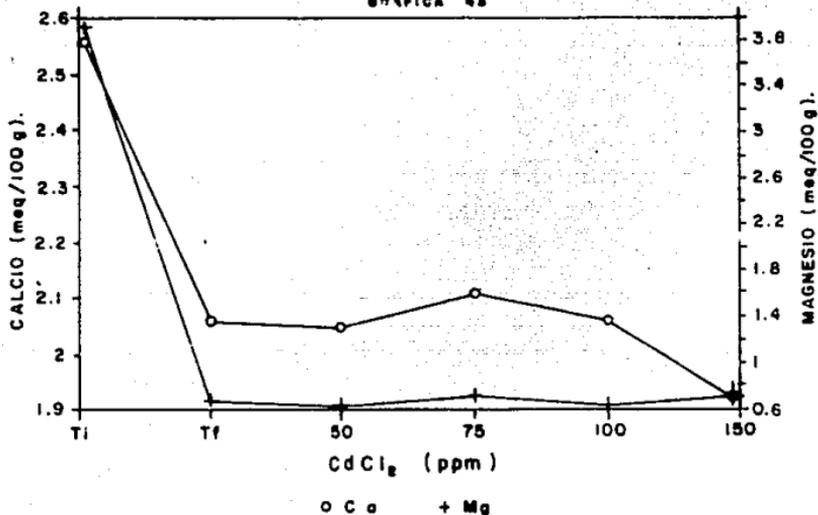
Eucaliptus sp.

GRAFICA 42

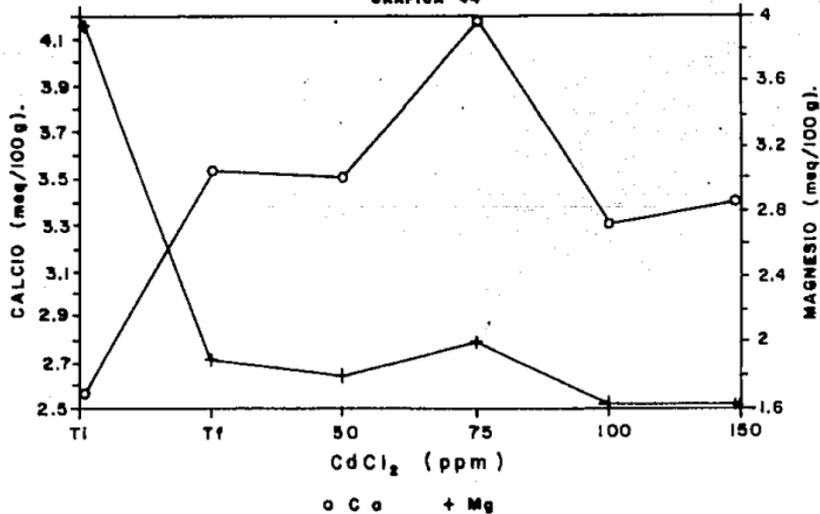


Fraxinus sp.

GRAFICA 43

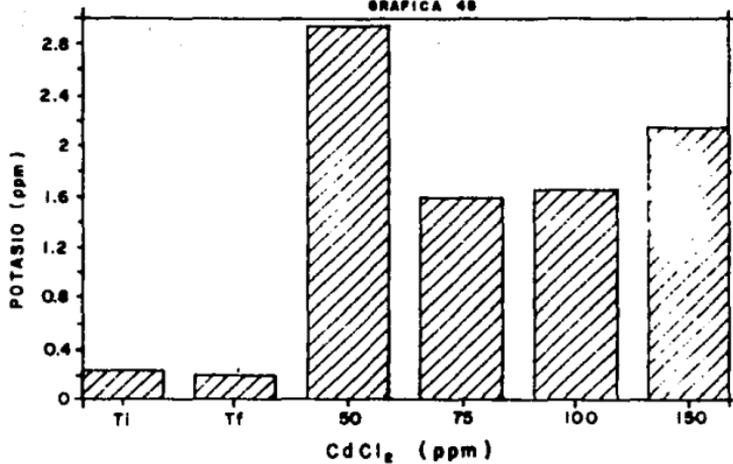
Eucaliptus sp.

GRAFICA 44

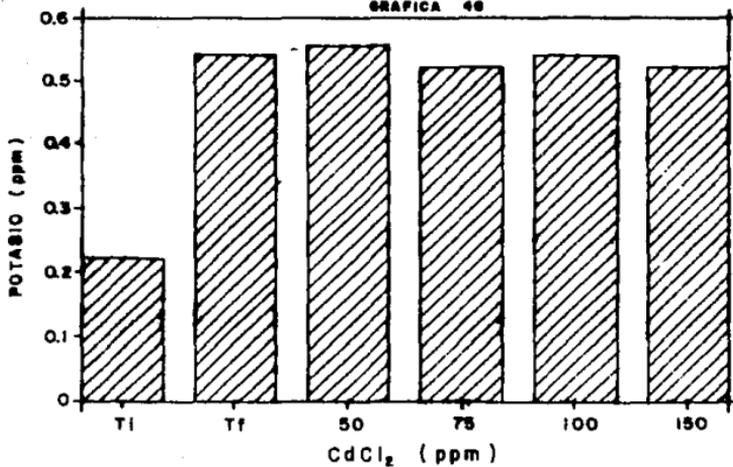


Froxinus sp.

GRAFICA 48

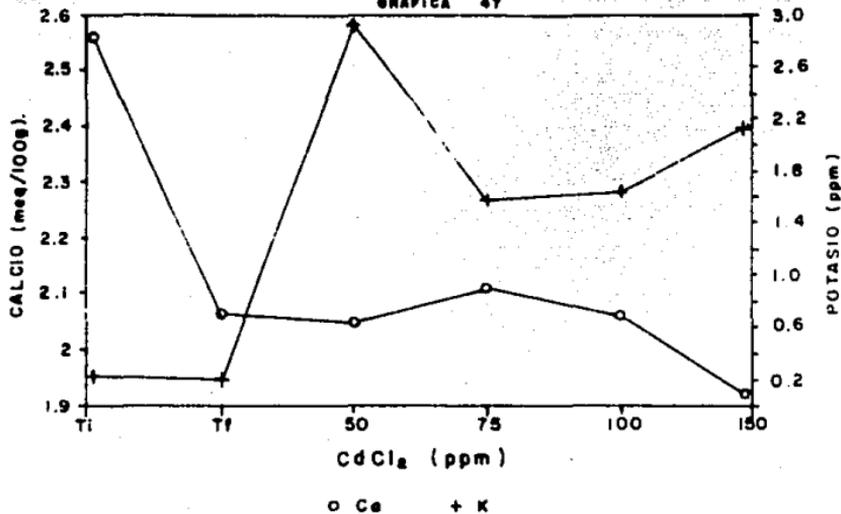
**Eucaliptus sp.**

GRAFICA 49

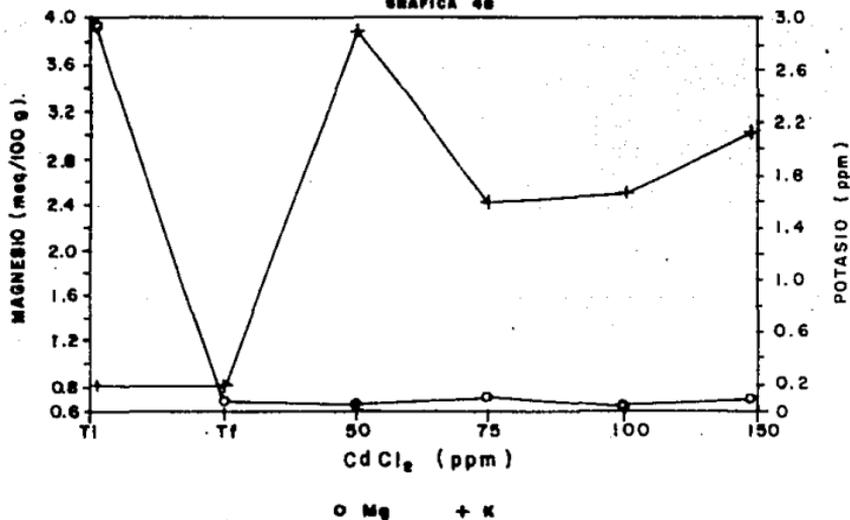


Fraxinus sp.

GRAFICA 47

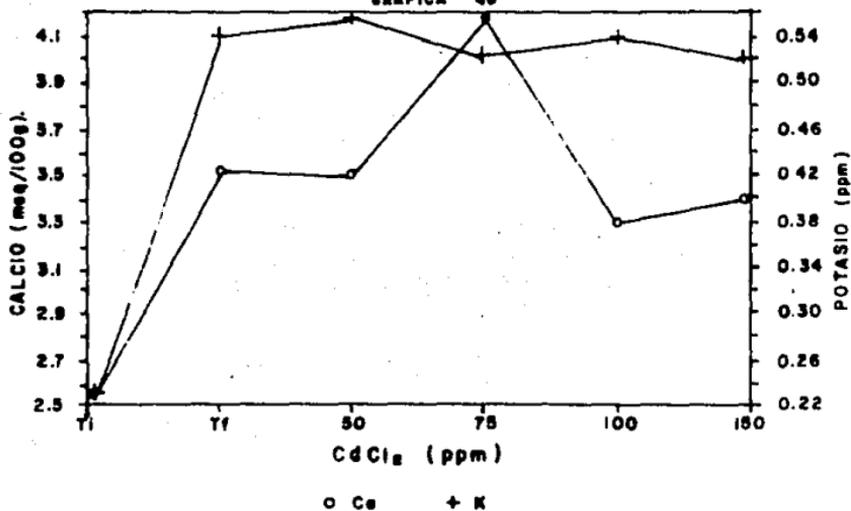
Fraxinus sp.

GRAFICA 48

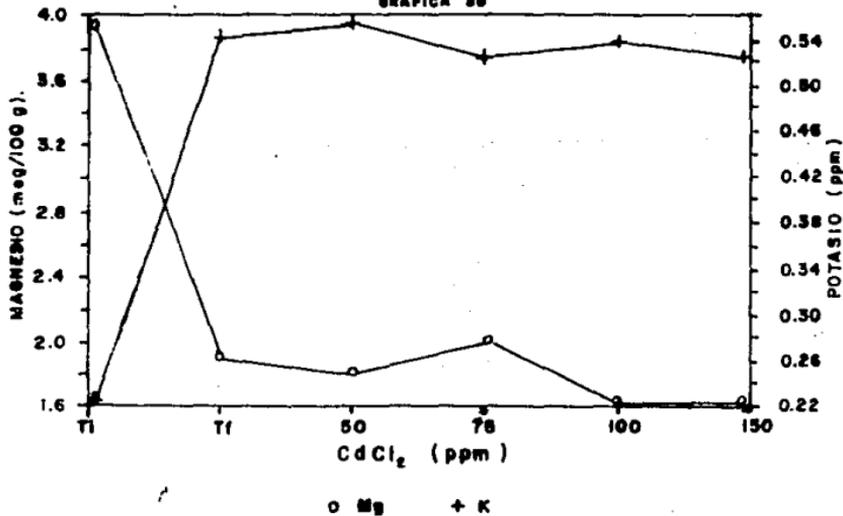


Eucalyptus sp.

GRAFICA 49

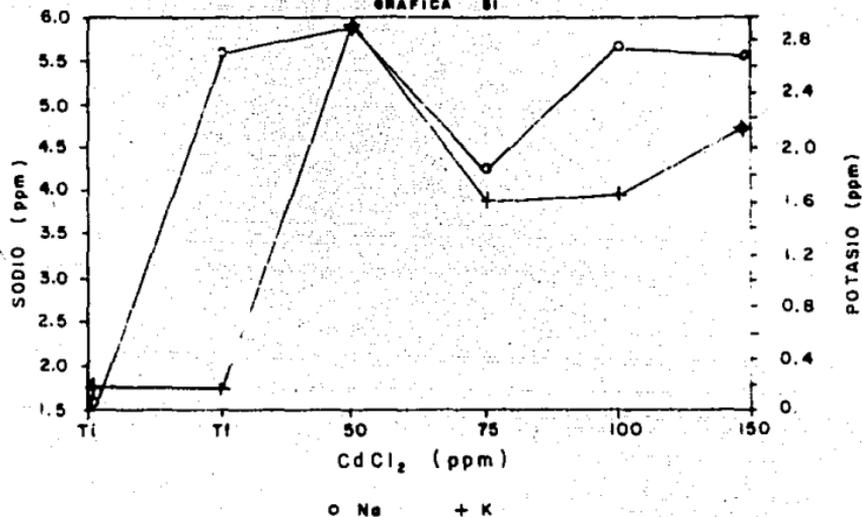
Eucalyptus sp.

GRAFICA 50

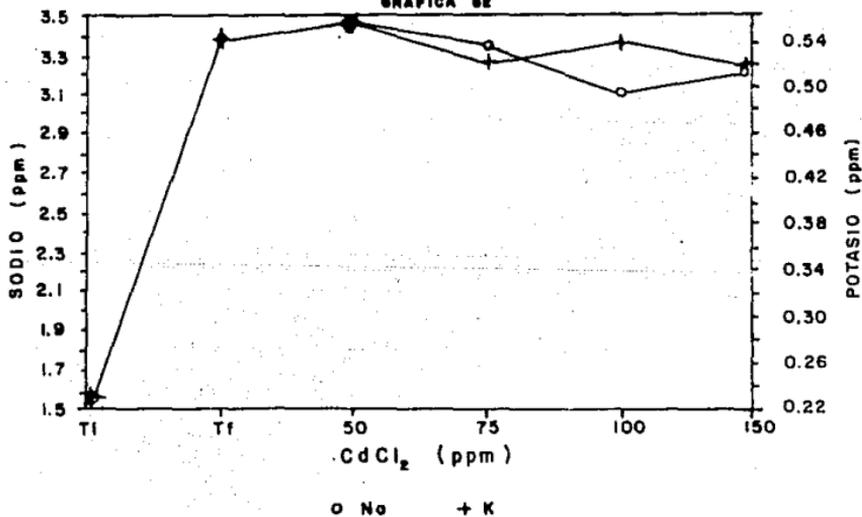


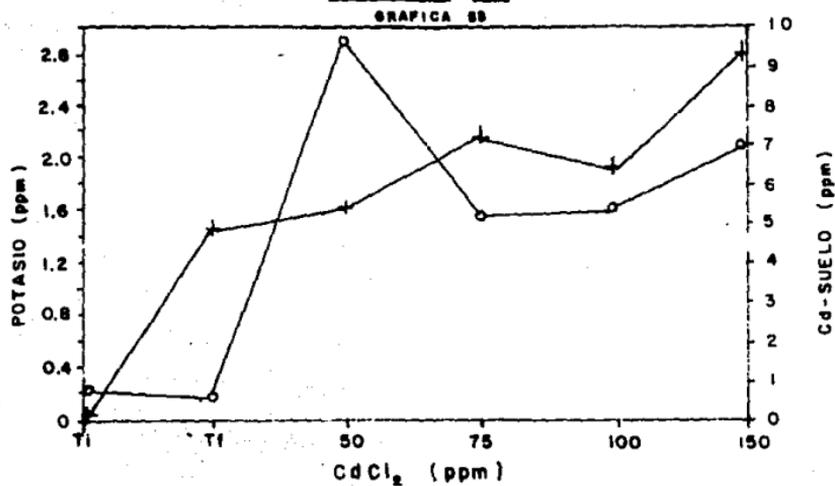
Fraxinus sp.

GRAFICA 81

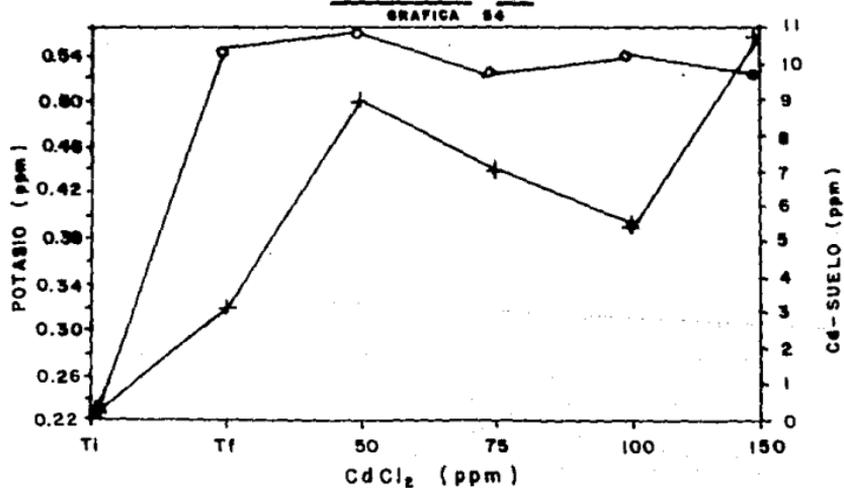
Eucaliptus sp.

GRAFICA 82



Fraxinus sp.

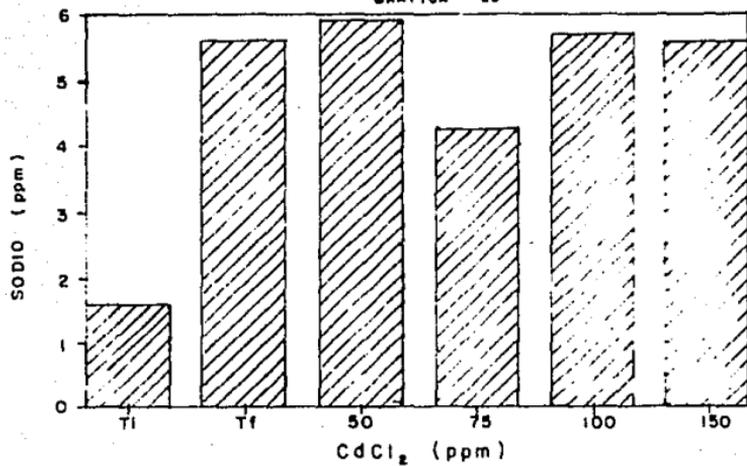
○ K + Cd

Eucaliptus sp.

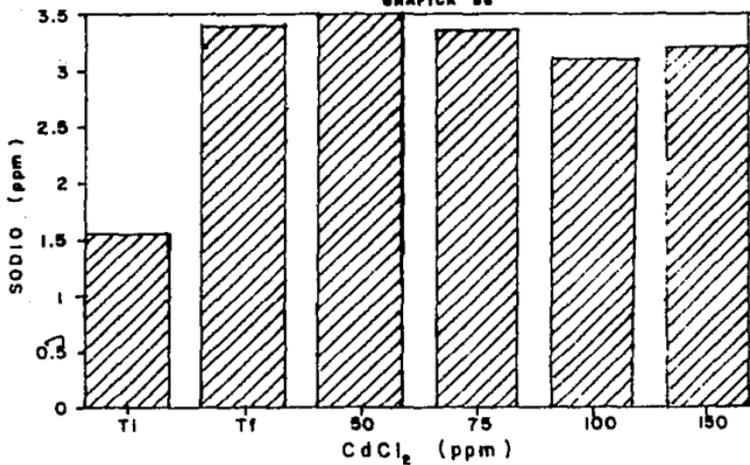
○ K + Cd

Fraxinus sp.

GRAFICA 85

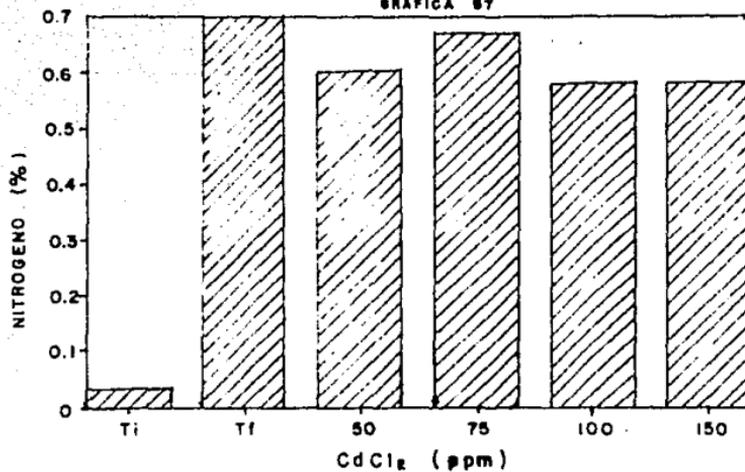
Eucalyptus sp.

GRAFICA 86

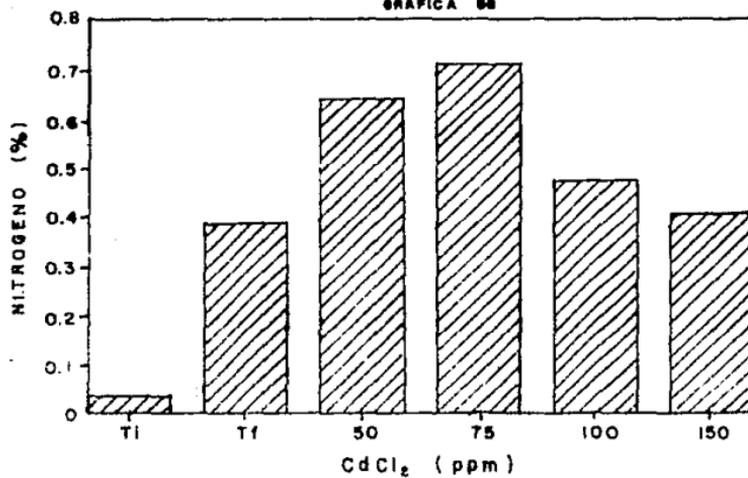


Fraxinus sp.

GRAFICA 87

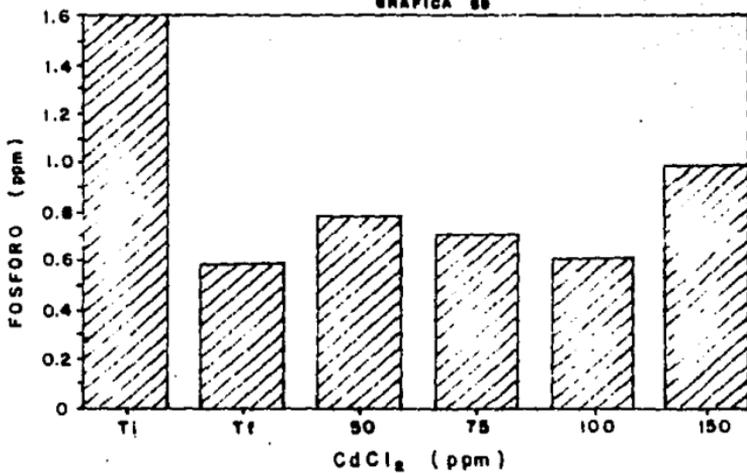
Eucalyptus sp.

GRAFICA 88

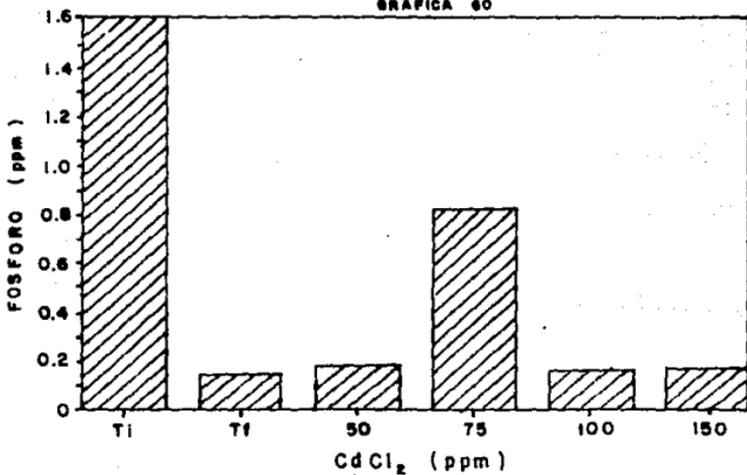


Fraxinus sp.

GRAFICA 88

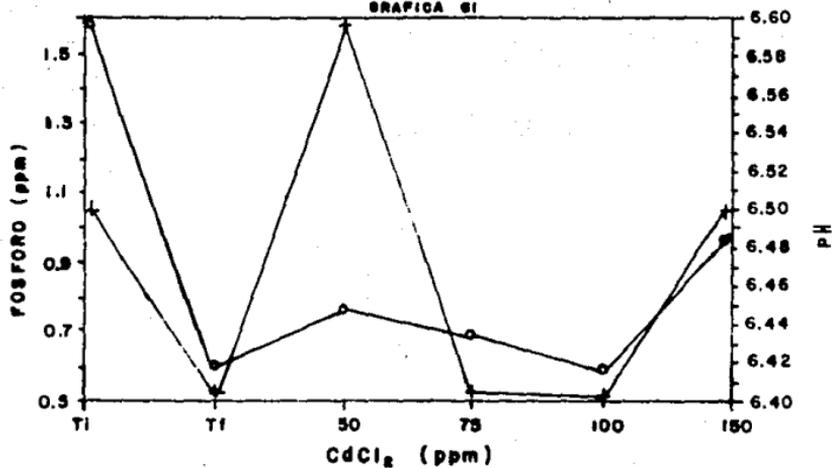
Eucalyptus sp.

GRAFICA 89



Fraxinus sp.

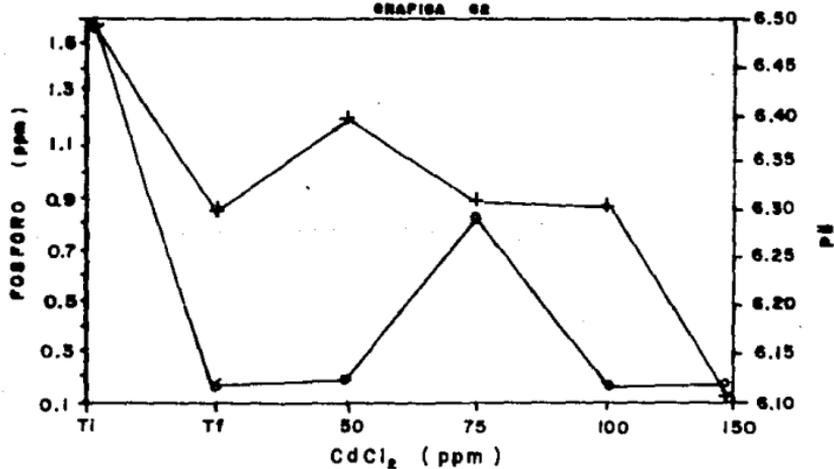
GRAFICA 61



o P + PH

Eucaliptus sp.

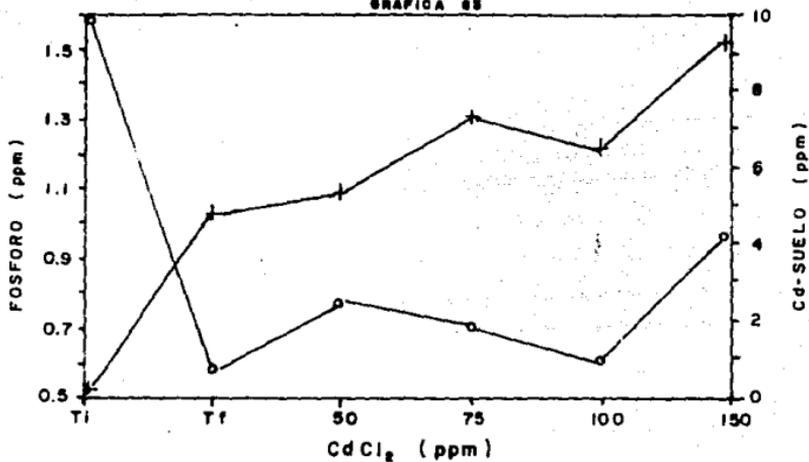
GRAFICA 62



o P + PH

Fraxinus sp.

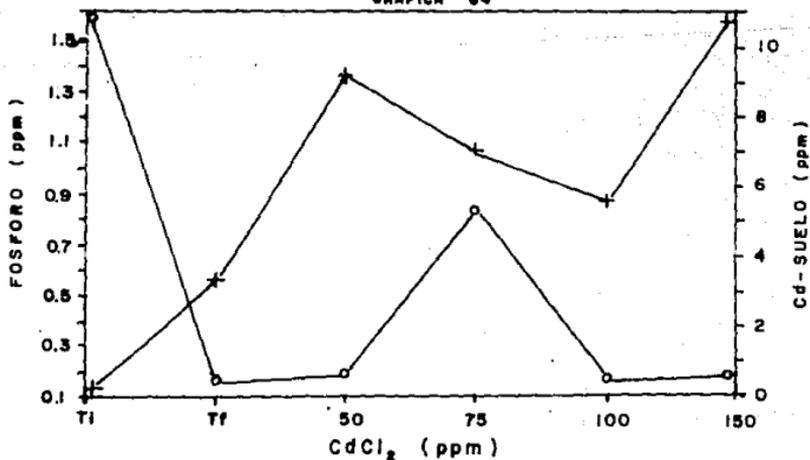
GRAFICA 63



o P + Cd

Eucaliptus sp.

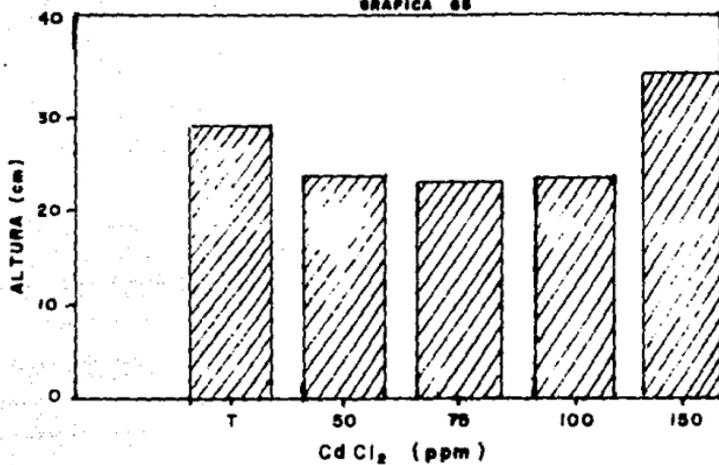
GRAFICA 64



o P + Cd

Froxinus sp.

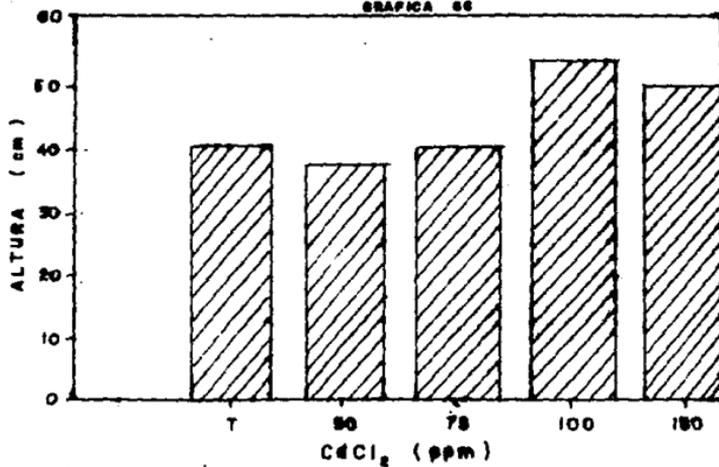
GRAFICA 65



FASE INICIAL

Froxinus sp.

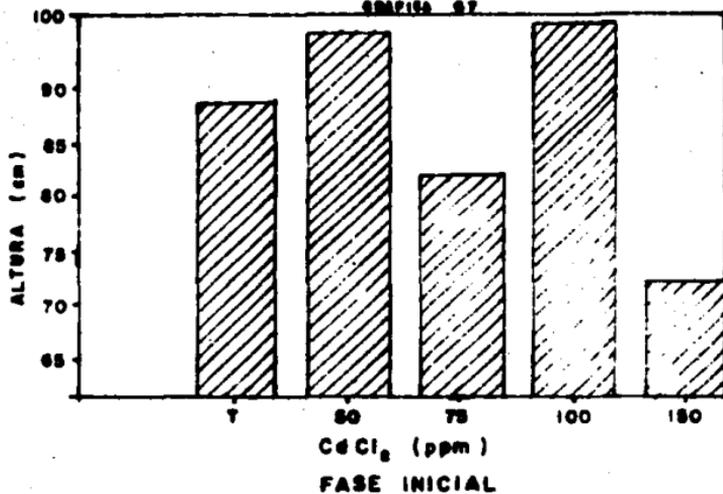
GRAFICA 66



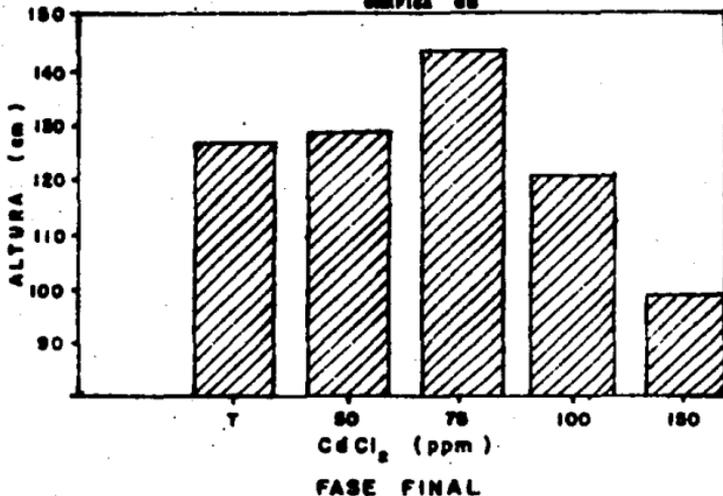
FASE FINAL

Eucaliptus sp.

GRÁFICA 97

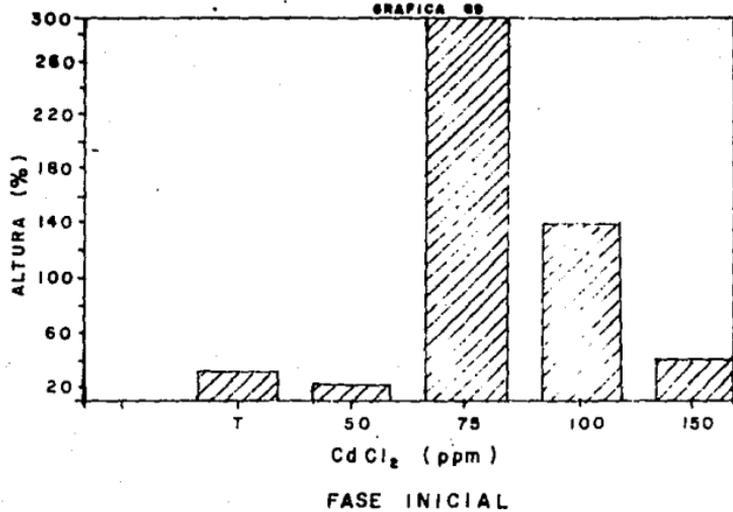
Eucaliptus sp.

GRÁFICA 98

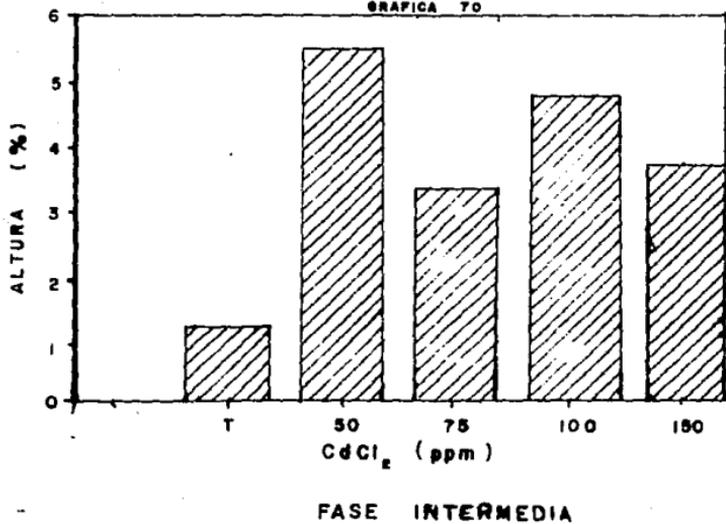


Fraxinus sp.

GRAFICA 69

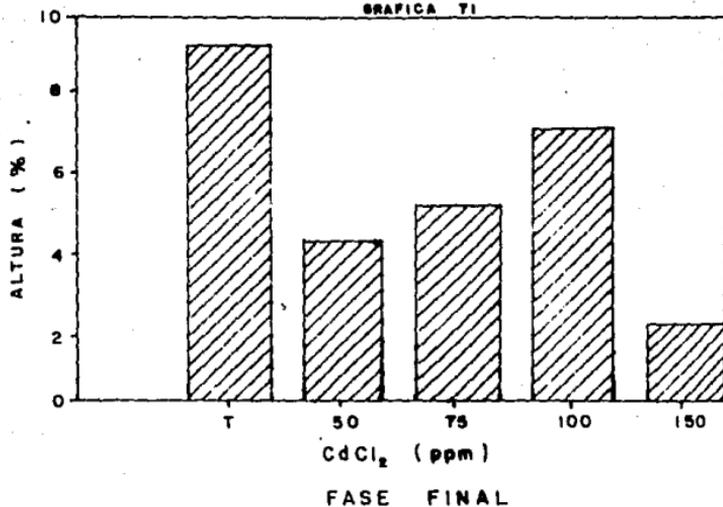
Fraxinus sp.

GRAFICA 70

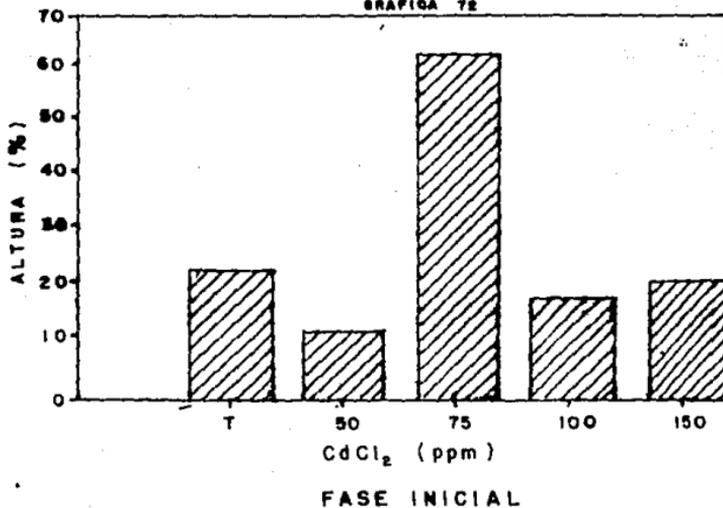


Fraxinus sp.

GRAFICA 71

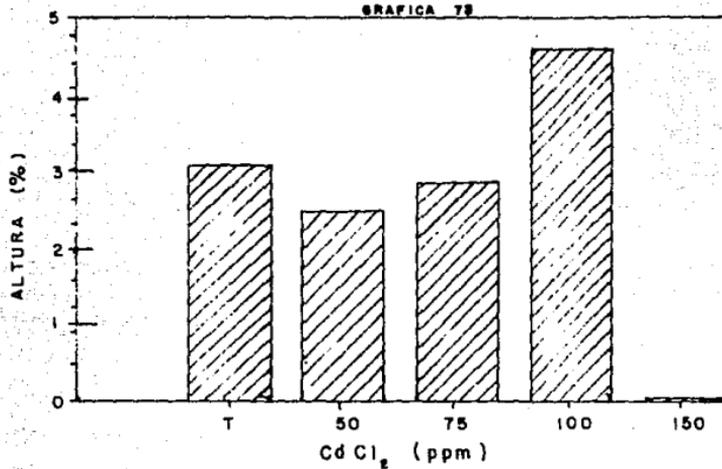
Eucalyptus sp.

GRAFICA 72



Eucaliptus sp.

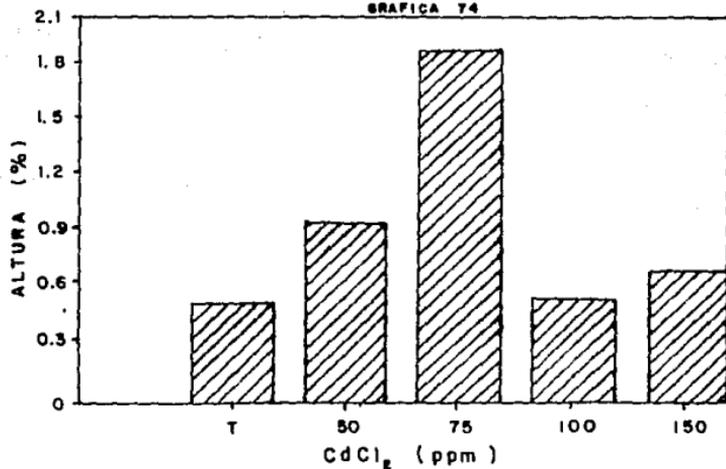
GRAFICA 73



FASE INTERMEDIA

Eucaliptus sp.

GRAFICA 74



FASE FINAL

ANALISIS DE RESULTADOS

El color del suelo es una característica importante que indica ciertas propiedades físicas y químicas. El color se debe a varios factores entre los que podemos mencionar: El contenido de materia orgánica (en forma de humus), la cual le imprime un color gris oscuro o café oscuro al suelo, y la naturaleza química de los compuestos de hierro presentes (Foth, 1980; Tamhane, 1979).

Por lo anterior y al analizar el color del suelo bajo estudio (tablas 3 y 4), puede verse que el suelo sufrió un cambio de color, este cambio es para Fraxinus sp., en seco de 7.5 YR 4/2 (café) en el análisis inicial, a 10 YR 3/2 (café oscuro) en todos los tratamientos al final del experimento y en húmedo de 7.5 YR 2/0 (negro) al inicio, a 10 YR 2/1 (negro) al finalizar el estudio; para Eucaliptus sp. el color cambio de 7.5 YR (café) en testigo del análisis inicial, a 7.5 YR 2/1 (negro) en seco al finalizar el experimento, en cambio en húmedo este no sufrió cambios es decir permaneció constante (7.5 YR 2/0, negro) tanto, al inicio como al final. Se considera que estos cambios en el color del suelo, fueron ocasionados por la depositación continua de restos vegetales, los cuales sufrieron un proceso de humificación, confiriéndole al suelo un color característico y además un mayor contenido de materia orgánica.

En cuanto a la materia orgánica, ésta efectúa dos clases de procesos ambos microbianos en su mayor parte: La humificación, que involucra la producción de nuevos compuestos orgánicos englobados bajo la designación de humus y el proceso de mineralización que consiste en una liberación en forma de moléculas inorgánicas o de iones (H_2O , CO_2 , NH_4^+ , NO_3^- , PO_4^{3-} , SO_4^{2-}) de los elementos incorporados primitivamente a la materia orgánica de origen (Gaucher, 1971).

Al determinar el contenido de materia orgánica contenida en el suelo y observando las tablas 3 y 4, se puede ver que tanto en Fraxinus sp. como en Eucaliptus sp., existió un aumento de la materia orgánica, de 6.20% en el testigo inicial, a 14.12% y 7.95% en el testigo final para las dos especies respectivamente. Este incremento fue causado por la caída de hojas y ramas de las plantas, las cuales se depositaron en el suelo, y además por la muerte de microorganismos (algas, hongos, bacterias, etc) que se encuentran alojados en el suelo y los cuales ayudan a la descomposición de la materia orgánica.

Asimismo, como se observa en la gráfica 1 se aprecia una ligera disminución del contenido en porcentaje de la materia orgánica en Fraxinus sp. en todos los tratamientos

con respecto al testigo final, causado por la mineralización de la materia orgánica y como producto de la actividad biológica, tal y como lo reporta Gaucher, aunado a lo anterior, la materia orgánica forma complejos con el cadmio, ya que existe evidencia de que la fracción de ácido húmico de la materia orgánica retiene el 50% de cadmio en forma intercambiable y el 50% en complejos coordinados (McBride, 1981), esto puede afectar la determinación de la materia orgánica al hacerse resistente debido a la formación de complejos, sin embargo, en Eucaliptus sp. (gráfica 2) se observa que de 50 a 100 ppm existe un aumento del porcentaje de materia orgánica respecto a los testigos, causado por una mayor defoliación inducida por la translocación de cadmio en la planta.

En la gráfica 3 se puede observar que la materia orgánica a pesar de haber aumentado, ésta no influyó para que el cadmio fuese acumulado en el suelo, sólo en el tratamiento de 100 ppm, se puede decir que la existencia del complejo Cd-M.O., si influyó para que estos parámetros coincidieran.

En tanto, la gráfica 4 muestra una mayor incidencia -

del complejo Cd-M.O., sobre la acumulación del metal en el suelo (50 ppm) provocando que exista un punto en el que coexiste la materia orgánica y el cadmio.

En lo referente a la textura del suelo ésta se encuentra relacionada con la proporción relativa de los tamaños de las partículas del suelo. Esta propiedad ayuda a determinar no solo la velocidad de abastecimiento de nutrientes sino también de agua y aire necesarios para la vida de las plantas (Gavande, 1979). Aunque el contenido de arcilla en las muestras de suelo varió en Fraxinus sp. de 7.2 a 8.57%, de limo de 6.48 a 22.59% y de arena de 86.32 a 69.16% y en Eucaliptus sp. de 7.2 a 6.86%, 6.48 a 35.52% y 86.32 a 54.12% respectivamente, esto sigue equivaliendo a un suelo FRANCO-ARENOSO desde el punto de vista textural (Tamhane, 1979), ver tablas 3 y 4.

Del mismo modo, la densidad aparente y real (tablas 3 y 4 y gráficas 5 y 6), sufrieron disminución en todos los tratamientos con respecto al testigo inicial, la densidad aparente varió de 1.03 a 0.9 g/cm³ aproximadamente en las dos especies mientras que la densidad real varió de 2.12 g/cm³ a 1.8 g/cm³ en Fraxinus sp. y a 1.97 g/cm³ en Eucaliptus sp. aproximadamente en todos los tratamientos (gráfica

7 y 8). Las disminuciones son causadas por el aumento de la materia orgánica y coincide con lo reportado por Foth de - que la materia orgánica tiene densidades de 0.2 a 0.6 g/cm³ para la densidad aparente y de 2.6 a 2.7 g/cm³ para la densidad real de los suelos; tal como se observa en la gráfica 9 la densidad aparente disminuyó al aumentar la materia orgánica en Fraxinus sp. y en la gráfica 10 se observa un incremento de la densidad aparente, porque desciende la cantidad de materia orgánica, observandose el mismo efecto en las gráficas 11 y 12 para la densidad real en Fraxinus sp. y Eucaliptus sp. respectivamente.

Así mismo, en las gráficas 9 y 10 se ve que existe un antagonismo entre la materia orgánica y la densidad aparente, excepto en 75 y 150 ppm para Eucaliptus sp. ya que muestra un comportamiento sinérgico. En cambio en la gráfica 11 para Fraxinus sp. existe un sinérgico en 75 y 100 ppm - entre la materia orgánica y la densidad real y un antagonismo en los demás puntos.

En la gráfica 12 se muestra un claro antagonismo entre la materia orgánica y la densidad real, excepto en 150 ppm para Eucaliptus sp.

Lo anterior corrobora el hecho de que las densidades se ven afectadas por el aumento o decremento de la materia orgánica.

Con respecto a la C.I.C.T. ésta se refiere a la capacidad del suelo para retener cationes ácidos o básicos en forma intercambiable con la solución del suelo. La C.I.C.T. depende de las partículas de arcilla y humus del suelo y además la materia orgánica tiene gran capacidad de intercambio catiónico (Worthen y Aldrich, 1980), por lo tanto al aumentar ésta se esperaría que la C.I.C.T. hubiese aumentado, sin embargo, esto no sucedió ya que dicho parámetro disminuyó de 35.5 meq/100 g hasta 26.6 meq/100g en Fraxinus sp. y de 35.5 meq/100g hasta 21.3 meq/100 g en Eucaliptus sp. - aproximadamente en todos los tratamientos con respecto al testigo inicial y final (Tablas 3 y 4, gráficas 13 y 14). Muy probablemente este hecho se deba a que la materia orgánica humificada forma complejos coordinados con el cadmio anulándose algunos de sus sitios de intercambio, lo cual - hace disminuir el valor de la C.I.C.T. en el suelo, esto se observa en las gráficas 15 y 16. Sin embargo, a concentraciones altas de $CdCl_2$ en 100 y 150 ppm la materia orgánica y la C.I.C.T. presentan comportamientos discontinuos, tal - como se observa en la gráfica 15 la materia orgánica y la -

C.I.C.T. desciende en 100 ppm y aumenta en 150 ppm para Fraxinus sp. mientras que en Eucaliptus sp. la materia orgánica desciende y la C.I.C.T. aumenta, descendiendo ambos parámetros en 150 ppm de $CdCl_2$, esto puede estar influenciado por el proceso de humificación de la materia orgánica.

Las clases de cationes presentes en el complejo de intercambio también afectan el pH de la solución del suelo, debido a que estos están saturados de bases, contrastando con la cantidad de iones H^+ en el suelo (Foth, Op.Cit.). En las tablas 3 y 4, (gráficas 17 y 18) se observa que el pH permaneció constante (6.5) en todos los tratamientos debido principalmente al aumento de la materia orgánica ya que ésta es un amortiguador de dicho parámetro.

El pH tiene gran influencia sobre la absorción de cadmio ya que éste es más aprovechable en un rango de 4 a 7 (Bingham, 1984), y por lo tanto al tener un pH cercano al equilibrio (6.5) el metal pesado es más aprovechado por las plantas y como se aprecia en la tabla 5, gráficas 19, 20 y 21 de Fraxinus sp. y 22, 23 y 24 de Eucaliptus sp. hubo una absorción por parte de la planta, siendo mayor en raíz, tallo y finalmente en hoja, según (Ernst, 1979), el contenido de cadmio es mayor en las raíces y tallos disminuyendo en -

las partes aéreas de las plantas.

Aunado a lo anterior la planta sólo absorbe los elementos necesarios para su desarrollo; tal como se observa en las gráficas 25 y 26 en el tratamiento de 150 ppm existió una mayor acumulación de cadmio en el suelo, debido a que en esta concentración el suelo está saturado de cadmio en forma de $CdCl_2$.

En lo referente a la conductividad eléctrica, las tablas 3 y 4 muestran que el suelo varió de un suelo normal no salino (2.2 mmhos/cm) a un suelo salino (15 mmhos/cm) - aproximadamente y (17 mmhos/cm) para Fraxinus sp. y Eucalyptus sp. respectivamente según lo reportado por Black, ver gráficas 27 y 28.

Los valores de la conductividad eléctrica en el suelo no caen dentro del rango (tabla 6) adecuado para un mayor desarrollo de la planta.

Así mismo tanto los bicarbonatos como los carbonatos afectan el pH del suelo, sin embargo, al observar las tablas 3 y 4 se ve que no hay presencia de carbonatos ya que éstos se presentan a un pH básico como lo refiere Teuscher

y el suelo bajo análisis tuvo un pH ligeramente ácido pero cercano al equilibrio. En tanto que los bicarbonatos no desaparecieron como puede apreciarse en las tablas 3 y 4 en donde se muestra que hubo una disminución en todos los tratamientos con respecto al testigo inicial de 0.433 meq/100g a 0.0000455 meq/100g aproximadamente en Fraxinus sp. y de 0.433 meq/100g a 0.000059 meq/100g aproximadamente en Eucaliptus sp. (gráficas 29 y 30), esta disminución es debida a la formación de sales tales como bicarbonatos de calcio solubles y fácilmente lixiviables, y al efecto que tienen ellas sobre el pH. Este efecto es contrarrestado por el alto poder buffer que tiene la materia orgánica en el suelo y es por ello que el pH no tendió a ser alcalino (Gaucher, 1971). Al observar las gráficas 31 y 32 se ve que el pH no fue afectado por los bicarbonatos ya que la cantidad de bicarbonatos fue mínima como para afectar el pH.

Con respecto al ión cloruro, se aprecia en las tablas 3 y 4, gráficas 33 y 34 que existió una disminución en todos los tratamientos con respecto al testigo del análisis inicial de 1.74 a 0.006 meq/100g en Fraxinus sp. y a 0.002 meq/100g en Eucaliptus sp., esto es causado, ya que al adicionar el cadmio en forma de sal (CdCl_2) esta se disocia y el ión cloruro forma sales con los cationes desplazados por

el cadmio del complejo absorbente y estos son lixiviables, ya que todas sus sales son solubles en agua, además de que los cloruros son absorbidos por la mayoría de las plantas - de la solución del suelo (Russell, 1968).

Por otra parte, se observa en las gráficas 35 y 36 que existe un aumento en la cantidad de cadmio en el suelo en todos los tratamientos para ambas especies con respecto al testigo del análisis inicial y disminuye la cantidad de cloruros ya que estos son arrastrados fácilmente como sales. Esto sucede en todos los tratamientos a excepción de 75 ppm en donde aumenta.

En relación al calcio, se observa en las gráfica 37 y tabla 3 en Fraxinus sp. que disminuyó de 2.56 a 2.0 meq/100g para todos los tratamientos con respecto al testigo del análisis inicial, ya que el cadmio del suelo pasa a sustituir los sitios de intercambio dejados por el calcio, magnesio, sodio, potasio, etc., del complejo absorbente, y por lo tanto, al existir esta sustitución la planta tiende a absorberlo de la solución del suelo (figura 2) ya que existe una competencia entre los iones Ca^{+2} y Cd^{+2} en la superficie de las raíces (Mahler, 1978). Por otra parte, esta baja también se debe a una lixiviación del elemento en

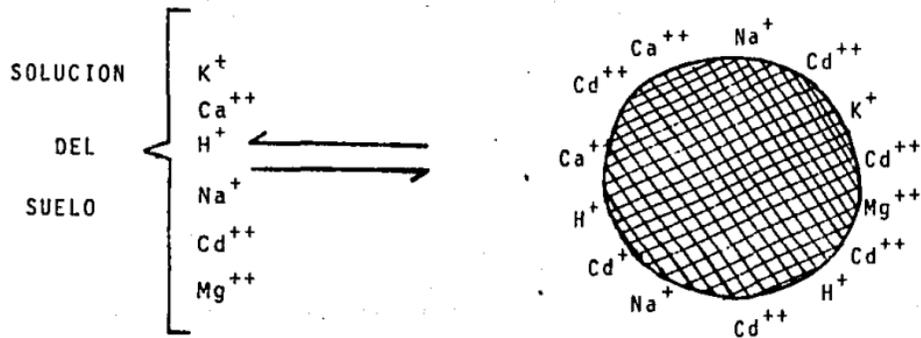


FIGURA 2: INTERCAMBIO DE IONES ENTRE LA MICELA Y LA SOLUCION SALINA DEL SUELO.

forma de sales como $(CaCl_2)$ cloruro de calcio, $(CaHCO_3)$ bicarbonato de calcio y $(Ca(NO_3)_2)$ nitrato de calcio .

En cambio para Eucaliptus sp., tabla 4 y gráfica 38, se aprecia que el contenido de calcio aumentó en todos los tratamientos con respecto al testigo del análisis inicial, esto es provocado por la sustitución antes mencionada, sin embargo, el calcio pasó a formar parte del complejo absorbente lo cual ocasionó que no existiese una lixiviación tan marcada como en Fraxinus sp.

En las gráficas 39 y 40 existe un claro antagonismo - en 50 y 150 ppm entre calcio y cadmio, ya que el cadmio - desplaza al calcio ocupando sus sitios de intercambio y por ende existe una mayor acumulación del cadmio en los tejidos de las plantas.

El magnesio disminuyó en todos los tratamientos con respecto al testigo del análisis inicial de 3.95 a 0.6 meq/100g aproximadamente y 1.7 meq/100g en ambas especies - respectivamente (tablas 3 y 4, y gráficas 41 y 42). Esta - pérdida es causada por la lixiviación y absorción de la - planta ya que es un elemento activo de los sistemas enzimáticos siendo parte de la molécula de clorofila y ayuda en -

la translocación del fósforo (Worthen y Aldrich, Op.Cit). Su paso por la planta está regido a menudo por el antagonismo al cual hace referencia Duchaufor y principalmente por el equilibrio calcio-magnesio, como se aprecia en las gráficas 43 y 44 ya que existe una diferencia proporcional entre la cantidad de calcio y magnesio en el suelo (1:1 a 5:1) (Thompson, 1978) y la relación que presenta el suelo bajo estudio es de 3:1 en Fraxinus sp. y 2:1 en Eucalyptus sp. los cuales caen dentro de la relación adecuada de calcio--magnesio en un suelo.

En tanto que para el ión potasio se destaca en las tablas 3 y 4 que hubo un aumento en el contenido de potasio en todos los tratamientos con respecto al testigo del análisis inicial tanto en Fraxinus sp. como en Eucalyptus sp. (gráficas 45 y 46). Cuando el ión potasio no está soluble, forma parte de las estructuras cristalinas de los minerales y es difícil ser asimilado o perdido.

La facilidad de absorción del potasio por la planta no depende de su concentración sino también de los equilibrios que se establecen con los otros cationes según sus propias concentraciones y principalmente de los equilibrios potasio-calcio y potasio-magnesio (Gaucher, Op.Cit.). En el

suelo bajo estudio no se presentaron estos equilibrios de - bido a que existió una baja cantidad de potasio óptima para el mejor desarrollo de las especies (ver tabla 6 y gráficas 47, 48, 49 y 50).

El contenido de potasio aumenta sustancialmente si - los suelos se mantienen húmedos, si se mantiene constante - la meteorización, si no se cultivan plantas que absorban - potasio y además por la influencia que tiene el potasio por el sodio ya que el aumento de uno produce la disminución - del otro, como se observa este comportamiento en las gráfi- cas 51 y 52 excepto en testigo inicial y 50 ppm para Fraxi- nus sp., donde casi coinciden ambos parámetros y en 75 ppm donde ambos parámetros descienden. En tanto que para Euca - liptus sp. coinciden testigo inicial, testigo final y 150 ppm.

Observando la gráfica 53 de Fraxinus sp. se aprecia - un antagonismo en el comportamiento cadmio-potasio, excepto en el tratamiento de 150 ppm donde se presenta un comporta- miento sinérgico. En la gráfica 54 de Eucaliptus sp. se- ve un comportamiento antagónico en 100 ppm y 150 ppm, mien- tras que en los demás puntos el comportamiento es sinérgis- tico.

En tanto que para el sodio todos los tratamientos aumentaron de 1.55 a 5.0 ppm aproximadamente en Fraxinus sp. (tabla 3 y gráfica 55), en cambio para Eucaliptus sp. aumento de 1.55 a 3.3 ppm aproximadamente (tabla 4 y gráfica 56), con respecto al testigo del análisis inicial, debido a que el sodio puede acumularse en forma de sales y anular algunas de las posiciones de intercambio (León, 1984). Este aumento es causado por el agua de riego, dicho elemento al ser suministrado se acumuló en el suelo.

El rango adecuado de sodio en un suelo es de 0.0 a 3.6 meq/100g (tabla 6) y al observar las tablas 3 y 4 se puede ver que la cantidad de sodio determinada en el suelo está por arriba de este rango por lo tanto esto confirma que la conductividad eléctrica haya arrojado un resultado de suelos salinos además de no presentarse deficiencias de este elemento en el suelo bajo estudio.

El nitrógeno encontrado en el suelo bajo análisis, aumento en todos los tratamientos comparado con el testigo inicial de 0.35 a 0.6% y a 0.52% aproximadamente en Fraxinus sp. y Eucaliptus sp. respectivamente (tablas 3 y 4) debido a que éste se encuentra en la materia orgánica ya que es la única forma en la que se puede almacenar el ni-

trógeno en el suelo por algún tiempo (gráficas 57 y 58). Este incremento puede deberse a que el nutriente es liberado al mineralizarse la materia orgánica y además como lo refieren Worthen y Aldrich, que el nitrógeno amoniacal (NH_3) - pasa a NH_4^+ en el suelo y a la forma nítrica y donde la forma amoniacal no es eliminada fácilmente del suelo mientras no se transforme en forma nítrica.

En lo referente al fósforo la reacción del suelo más favorable para la asimilación del fósforo por la planta es a un pH de 6.0 a 7.5 valores a los que debiera ajustarse un suelo si se quiere que las plantas aprovechen todo el fósforo que necesitan (Teuscher, 1985). Lo anterior justifica el hecho de que el fósforo haya disminuido para todos los tratamientos con respecto al testigo del análisis inicial - (de 1.6 a 0.72 ppm) en Fraxinus sp. y a 0.29 ppm Eucalyptus sp. ya que como lo refiere el autor el pH influye en su aprovechabilidad y al tener un pH de 6.5 caen dentro del rango óptimo para ser asimilado por la planta, como se observa en las gráficas 59 y 60.

La aprovechabilidad del fósforo disminuye a un pH inferior a 6.0, si el pH es superior a 7.5 disminuye así mismo. En la gráfica 61 de Fraxinus sp., se observa que a medi-

da que el pH se acerca al punto adecuado, el fósforo aumenta o se encuentra más disponible, en cambio, si el pH desciende también lo hace el fósforo. En cuanto a la gráfica 62 de Eucaliptus sp. algunos puntos presentan este mismo comportamiento (testigo inicial y 75 ppm). En tanto que el testigo final, 50 ppm, 100 ppm y 150 ppm el pH aumenta y el fósforo disminuye, esto es debido a que el cadmio tiene influencia sobre el fósforo y que inhibe la aprovechabilidad de éste, tal como lo reporta (Street, 1978) de que la concentración de cadmio disminuye con un alto contenido de fósforo y viceversa.

El fósforo también fácilmente se combina con otros elementos para formar compuestos orgánicos que en esta forma no sean asimilados por las plantas, si se observan las gráficas 59 y 60 se ve que hay un aumento en la concentración de fósforo en todos los tratamientos con respecto al testigo final, tanto en Fraxinus sp. como en Eucaliptus sp. debido, a que cuando existe una gran cantidad de agua da como consecuencia una mayor cantidad de fósforo disuelto, además de que el cadmio tiene influencia sobre el fósforo y al incrementarse la cantidad de cadmio presente en el suelo el fósforo actúa antagonicamente con respecto al aumento de cadmio (gráfica 63 y 64) (Vaughn, 1986).

Esto se corrobora ya que el cadmio es absorbido a un pH de 4.0 a 7.0 y el fósforo tiene un rango estricto de aprovechabilidad de 6.0 a 7.5 y por lo tanto al tener un pH cercano al equilibrio, se presentó una competencia cadmio - fósforo.

Con respecto al cadmio, se observa en la tabla 5 que en el tratamiento de 150 ppm se observó la mayor acumulación de cadmio tanto en la raíz como en el tallo y en 50 ppm se observó la mayor acumulación en hoja para Fraxinus sp., mientras que para Eucaliptus sp. existieron variaciones de mayor acumulación a 50 y 75 ppm respectivamente.

En tanto que el aumento de cadmio en el suelo es causado por el constante suministro de este en forma de $CdCl_2$ - y se aprecia en las gráficas 25 y 26 y tabla 5 que a pesar de que la planta absorbió cadmio esta absorción no fue suficiente para disminuir la cantidad de cadmio en el suelo - encontrándose por ello gran cantidad de éste en 75, 100 y 150 ppm en Fraxinus sp. y en 50 y 150 ppm en Eucaliptus sp., mientras que en los demás tratamientos fue absorbido por la planta.

La presencia de cadmio provoca ciertas alteraciones

en las plantas como son puntos café rojizos cerca de la base del pecíolo de las hojas unifoliadas y continúa a lo largo de las venas en la parte más baja de las hojas. Subsecuentemente, las hojas jóvenes trifoliadas se clorotizan y esta tiende hacia los bordes (Borgges, 1981), también se presenta la caída de hojas, marchitez y enroscamiento (tabla 8 en apéndice).

Otros efectos que causa el cadmio son que promueve el crecimiento en las primeras semanas y después disminuye sin embargo, éste efecto es dependiendo de la especie (Miles, 1980).

Con respecto al crecimiento de las plantas, se observa que antes de la aplicación de $CdCl_2$ todas tenían diferente altura (tablas 1 y 2), observándose que en Fraxinus sp. existió una mayor altura en las plantas con tratamiento de 100 ppm al final del experimento (gráfica 66) con respecto al inicio del mismo (gráfica 65) y en Eucalyptus sp. se observa que en 75 ppm hubo mayor altura en las plantas (gráfica 68) con respecto al inicio (gráfica 67), debido a que el cadmio es un promotor del crecimiento en las primeras semanas y posteriormente causa una respuesta negativa en la planta lo cual origina que presente una altura menor (Bor -

gges, Op. Cit.).

Las plantas de Fraxinus sp. en el tratamiento de 75 ppm, tuvieron un mayor porcentaje de crecimiento antes de la aplicación de CdCl_2 (gráfica 69), en la fase intermedia del experimento se observó que el tratamiento de 50 ppm aceleró el crecimiento de las plantas teniendo el mayor porcentaje de altura y después disminuyó (gráfica 70), en tanto que al final del experimento el tratamiento de mayor porcentaje fue el de 100 ppm (gráfica 71 y tabla 9).

De tal manera que se tiene la siguiente secuencia antes de la aplicación de CdCl_2 :

75 ppm > 100 ppm > 150 ppm > testigo > 50 ppm

y al final del experimento:

testigo > 100 ppm > 75 ppm > 50 ppm > 150 ppm

Con respecto a Eucaliptus sp. se observa en la gráfica 72 que al inicio, el tratamiento de mayor porcentaje de crecimiento fue 75 ppm, en la fase intermedia del estudio fue el tratamiento de 100 ppm gráfica 73 y al finalizar

fue el de 150 ppm (gráfica 74 y tabla 10), por lo que se tiene la siguiente secuencia al inicio del experimento es decir, antes de la aplicación de $CdCl_2$:

75 ppm > testigo > 150 ppm > 100 ppm > 50 ppm

y al final del experimento:

150 ppm > 50 ppm > 100 ppm > 75 ppm > testigo

En las gráficas 69, 70 y 71 de Fraxinus sp. se observa que el testigo tuvo un crecimiento normal es decir, fue aumentando a lo largo del estudio, en 50 ppm al comparar el inicio con la fase intermedia se aprecia que tuvo un acelerado crecimiento disminuyendo al final. En cambio, en 75 ppm este sufrió una inhibición en su crecimiento a lo largo del estudio, en 100 y 150 ppm estos sufrieron un crecimiento acelerado y al finalizar presentaron una inhibición en su crecimiento.

En lo que respecta a Eucalyptus sp. (gráficas 72, 73 y 74) se observa que el testigo tuvo un crecimiento normal y después disminuyó, esta disminución pudo ser ocasionada por un "stress" de la planta es decir, necesitaban mayor

espacio, mayor cantidad de suelo, etc., y las plantas de 50, 75 y 100 ppm sufrieron un crecimiento acelerado el cual fue inhibido posteriormente; en tanto que para 150 ppm su crecimiento al inicio fue inhibido y al final sufrió un acelerado crecimiento.

Las fluctuaciones de aceleramiento y disminución de crecimiento fueron probablemente causadas por el constante suministro de $CdCl_2$ al alterar la disponibilidad de nutrientes para la planta.

Sin embargo, no sólo se presentaron estos efectos como se puede observar en la tabla 7, otros efectos se deben a la deficiencia o exceso de otros nutrientes por la acción del cadmio. La clorosis la provoca la deficiencia de cloro, calcio y magnesio, las quemaduras en las hojas se presentan por deficiencia de cloro, la necrosis por la deficiencia de cloro, potasio y nitrógeno, la defoliación de las hojas se presenta por deficiencia de magnesio y nitrógeno y el menor crecimiento de tallos y hojas por calcio, potasio, fósforo y nitrógeno.

CONCLUSIONES

En lo referente a los efectos visuales el tratamiento que mayor impacto tuvo en las plantas fue el de 75 ppm - para Fraxinus sp. y 150 ppm en Eucaliptus sp., en los que se observaron plantas con mayor coloración café rojiza característica de la contaminación por cadmio.

En cuanto al crecimiento en altura las plantas que sufrieron mayores efectos fueron las tratadas con 100 ppm - en Fraxinus sp. y 75 ppm para Eucaliptus sp.

Así mismo, el análisis físico y químico del suelo - demuestra una variación en cuanto al efecto de la disponibilidad de nutrientes por la planta por lo que se puede decir que a bajas concentraciones y a altas de cadmio el efecto sobre los parámetros fue muy variable y no se puede establecer que tratamiento tuvo un mayor efecto sobre un parámetro determinado.

El análisis foliar con respecto al contenido de cadmio en las plantas indica que las partes vegetales que

absorbieron mayor cantidad de cadmio fue para Fraxinus sp. en raíz y tallo en el tratamiento de 150 ppm, en tanto que para hoja fue el de 50 ppm; con relación a Eucaliptus sp. - en raíz fue el de 75 ppm, en tallo el de 150 ppm y en hoja el tratamiento de 50 ppm.

Los resultados demuestran que hay diferencias en los efectos provocados por el cadmio en Fraxinus sp. y Eucaliptus sp. lo que establece que el mayor o menor efecto del cadmio en los vegetales depende de la especie.

No existe un efecto único en la planta que pueda ser un indicador feaciente de la contaminación por cadmio - por lo cual se recomienda que los estudios de metales pesados contemplen los tres análisis es decir, altura, parámetros físicos y químicos y efectos visuales (cambios de coloración, caída de hojas, debilitamiento y muerte de la planta, etc., si se desea obtener resultados óptimos y confiables en este tipo de estudios.

BIBLIOGRAFIA

- A.P.H.A. (1976). Standar Methods for the examination of water and waste water. 15a. ed. Edit. Publication Office, U.S.A., pp: 152, 232 a 233.
- ARINGHERI, R. P. CARRAI and G. Petruzzelli. (1985). Kinetics of Cu^{+2} and Cd^{+2} adsorption by an Italian soil. CNR. pp: 197-203.
- BARCELO, J.C. POSCHENRIEDER, J. (1986). Cadmium-induced decrease of water stress resistance in bush bean plants (Phaseolus vulgaris cultivar - contender): effects of cadmium on water potential, relative content, and cell wall elasticity. Rev. Journal Plant Physiology, No.125 (1/2).ENEP Zaragoza.UNAM. México.
- BAUER, MA. DE LOURDES DE I. et. al.(1986). Contaminación, una amenaza para la vegetación en México. Ed. Colegio de Post-Graduados. Chapingo, México. pp:9-11, 47 y 48.
- BAVER D.L. y GARDNER H. WALTER. (1980). Física de suelos. Ed. Hispano-Americana, México.
- BERMAN, ELEANOR. (1980). Toxic metals and their analysis. Ed. Heyden. Great Britain. pp: 65-72.

- BINGHAM, T.F. et. al. (1984). "The effect of chloride on the availability of cadmium". J. Environ. Qual. Vol. 13. No. 1.
- BLACK, A.C. (1975). Relaciones suelo-planta. Tomos I y II. Ed. Hemisferio Sur. Buenos Aires, Argentina pp: 339.
- BORGES, CHAER. A. and A.G. Wollo. (1981). Effect of cadmium on symbiotic soybean plants. Rev. Journal - Environ. Qual. Vol.10. No.2. Ciencias de la Atmósfera. UNAM. México.
- BRUEMER, G.W. et.al. (1986). Heavy metal species, mobility and availability in soils. Vol.149. No.4.
- CAVITA JUDITH. et. al.(1978). Estudios del efecto tóxico del cadmio en la rata. Depto. de Farmacia de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del IPN.
- CHAPMAN, D.HOMER.(1984). Métodos de análisis para suelo, plantas y agua. 4a.ed. Ed. Trillas. México pp:602.
- DUCHAUFOR (1978). Manual de Edafología. Ed. Toray Masson S.A. España. pp:123-125.
- ERNST, W. (1979). Physiological and biochemical aspects of metal tolerance. Botanic Journal. Vol.4. No.14. USA. Biblioteca Central UNAM. pp:115-128.

- FOTH. (1980). Fundamentos de la ciencia del suelo. 4a.ed. Ed. Continental S.A. México, D.F. pp:62,76, 218 y 340.
- GALINDO, MARTINEZ JUAN MANUEL. (1979). Contaminación de alimentos por metales pesados. Tesis. México
- GAVANDE A. SAMPAT. (1979). Física de suelos. Principios y aplicaciones. Ed. Limusa. México.
- GAUCHER, G. (1971). Tratado de Pedología agrícola. El suelo y sus características agronómicas. Ed. Omega. Barcelona, España. pp:358 y 359.
- GILL, M.A. (1971). The formation growth and fate of buds of Fraxinus americana L. in central mass. No. 20. Harvard, University, Massachusetts.
- GRUPO DE REFORESTADORES (1984). La reforestación del D.F. para reducir la contaminación ambiental y las alteraciones ecológicas. Ed. Serfin. México, D.F. pp:102-109.
- GUTIERREZ, TEODORO. (1987). Contaminación por detergentes y metales pesados: Efectos sobre la simbiosis; Rhizobium phaseoli-Phaseolus vulgaris Lab.de Ecología Microbiana. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, IPN.
- HATCH, D.J., L.H.P. Jones et.al. (1988). The effect of pH on the uptake of cadmium by four plant species grown in flowing solution culture.

Plan soil 105 (1). pp:121-126.

HODGES, LAURENT. (1977). Environmental Pollution. 2a.ed. -
Ed. Holt Rine Hart and Winston. pp:46-183,
228.

I.M.R.N. (1972). Primer seminario sobre contaminación am-
biental. México. pp:3-7.

JACKSON, L.M. (1976). Análisis químico del suelo. 3a. ed. -
Ed. Omega. Barcelona, España. pp:332 y 333

KUBOTA YUUKO. (1986). Studies of renal disfunction among the
in habitants of cadmium polluted area: I -
clasificación of urinary protein excretion
patterna according to the quantitative ana-
lysis of five proteins. (Depto. Public. -
Health, Faculty Med. Toyama. Mad. Pharma -
ceutical Univ. Toyama). Vol.2. No.41.

LAMA, GUTIERREZ GASPAR DE LA. (1982). Atlas del Eucalipto .
Tomo II (Apéndice).Ed.ICONA.Madrid.pp:2y3.

LEON, ARTETA REGULO. (1984). Nueva Edafología. Regiones tro-
picales y áreas templadas de México. Grupo
Editorial Gaceta. México. pp:133.

LOPEZ, J.RITA y López Melida J. (1985). El diagnóstico de
suelos y plantas. Métodos de campo y labo-
ratorio. 4a.ed. Ed.Ediciones Mundi-Prensa.
Madrid,España. pp:244 y 245.

- LUWARKER, A.S. and G.B.Shende. (1986). Effect on growth - yield and content of cadmium, lead in barley, Hordeum vulgare. Rev. Natl. Environ. Eng Res. Inst., Nagpur. Vol.3. No.28.
- MAHLER, R.J., F.T. Bingham. et. al. (1982). Cadmium-Enriched sewage sludge application to acid and calcareous soil: Effect on soil and nutrition of lettuce, corn, tomato and swiss chard. Rev. Journal. Env. Qual. Vol. II. No.4 Ciencias de la Atmósfera. UNAM. México. pp: 694.
- MAHLER, R.J., F.T. Bingham. et. al. (1978). Cadmium-Enriched sewage sludge application to acid and calcareous soils: Effect on yield and cadmium uptake by lettuce and chard. J. Environ. Qual. Vol. 7. No.2. pp:274-280.
- MC. BRIDE, M.B. et. al. (1981). Cadmium absorption by soils uptake by plants as affected by soil chemical properties. Soil Sci. Soc. Am. J. No.45. pp:739-744.
- MARTINEZ, MAXIMINO. (1979). Catálogo de nombres vulgares y científicos de plantas mexicanas. Ed. Fondo de Cultura Económica. México. pp:356.
- MILES, L.J. and Parker, G.R. (1980). Effects of cadmium and a one-time drought stress on survival, growth and yield of native plant species. Rev. J.

Environ.Qual. Vol.9. No.2. Chapingo, México

- OHTA, HISAYOSHI. (1985). The protection mechanisms of selenium treatment against acute cadmium toxicity: Secondary role of metallothionein (Depto. of Public. Health, Gifu Univ. Sch. of Med.). Vol.5. No.33. Sch.Med.Univ.Gifu.
- ORTEGA, TORRES ENRIQUE. (1979). Prácticas de laboratorio de química de suelos. Depto. de suelo. Chapingo, México. pp:5-70.
- PENDIAS, ALINA KABATA y Pendias Henryk. (1986). Trace elements in soil and plants. CRC Press, INC - Florida, USA. pp:109-116.
- PIOTROWSKI, J.K. and Coleman D.O. (1980). Environmental hazards of heavy metals. Summary evaluation of lead, cadmium and mercury. University of London. pp:12-19.
- PORTILLO, MORALES ISMAEL, et. al. (1980). Determinación de los elementos pesados más importantes como agentes de contaminación atmosférica por el método de espectrofotometría de absorción atómica y sus efectos en la salud del hombre. Tesis.UNAM.México.pp:49.
- RODRIGUEZ, SUPPO FLORENCIO.(1982).Fertilizantes. Nutrición vegetal. AGT. Editor.S.A. México. pp:57.
- RUSSELL, E. JOHN. (1986). Las condiciones del suelo y el

crecimiento de las plantas. 4a. ed. Ed. -
Aguilar. Madrid, España. pp 85.

SINGH, B.R. (1987). Mineral content of grasses and grass-
land of himalaya región. Soil Sci. Vol.143,
No.3. pp:168-182.

STREET J. JIMMY, B.R. SABEY, et.al. (1978). Influence of -
pH, phosphorous, cadmium, sewage ludge and
incubation time on the solubility and -
plant uptake of cadmium. J.Environ.Qual.,-
Vol.7. No.2. pp:286-290.

STOCKER, H. STEPHEN y Spencer, L. Seager. (1981). Química -
ambiental. Contaminación del aire y del -
agua. Ed.Blume. Barcelona,España.

TAMHANE, R.V. (1979). Suelos. Su química y fertilidad en zo-
nas tropicales. Ed. Diana. México. -
pp: 182-184, 232 y 233.

TENDEL, J. and K. Wolfe. (1988). Distribution of nutrients -
and trace elements in annual rings of pine
trees (Pinus sylvestris) as an indicator -
of environmental changes-annus. pp:975-980

TEUSCHER y ADLER. (1985). El suelo y su fertilidad. Ed. Con-
tinental, México.

THOMPSON, M. LOUIS. (1978). El suelo y su fertilidad.3a.ed.
Ed. Reverté. S.A., Barcelona, España. -

pp:154, 167, 238 y 241.

- TURKAN, ISMAIL. (1986). The investigation of lead, zinc and cadmium pollution in the plants grazing - along the motor roads of izmir and environment. Vol.I, No.10. Facultesi, Biyoloji - Bolümü Izmir.
- VAUGHN, CHARLES E. D. MICHAEL CENTER. et. al. (1986). Seasonal fluctuations in nutrient availability in some northern California annual range - soil. Science Soil. Vol.141. No.1. January USA. pp:43-50.
- VILLALOBOS, MERCADO MARTHA PATRICIA. (1979). Cadmio en el - tabaco. Tesis. UNAM. México. pp: 16.
- WAGNER, GEORGES I, and Ricky Yergan. (1986). Variation in - cadmium acumulation potential and fissu - distribution of cadmium in tabacco. Vol.I. No.82. (Agronomy Dept. Univ. of Kyn Leving ton, Ky) Plant Physiol.
- WAGNER, GEORGE .J. TOMMG. et.al. (1988). Root control of - leaf cadmium acumulation in tabacco. Tob - sci. 32(0). pp: 88-91.
- WORTHEN y ALDRICH. (1980). Suelos agricolas. Su conserva - ción y fertilización. Ed. Hispano-Americana, S.A., México, D.F. pp: 10, 88 y 112.

A P E N D I C E