



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

**EFFECTO DE LOS METALES PESADOS
TOXICOS EN UNA PLANTACION DE
CONIFERAS EN SAN RAFAEL, MEXICO**

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

LETICIA RIVERON NEGRETE



MEXICO, D. F.

1994

**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.

DEDICATORIA

A mis padres: Rosa y Mario. Mis hermanos: Rosa, Mario, Jesús, Maricruz, Georgina+, Rita y Laura. Mis sobrinos: Maricruz Georgina y Jesús. Y a Pablo Granados. Porque la educación, el amor, apoyo, superación y comprensión, lo recibo de ellos.

A mis amigos Cristina y Tomás ya que nuestra amistad no está basada en intereses temporales.

A todos mis profesores y compañeros que a lo largo de mi vida académica, me transmitieron sus conocimientos para lograr esta meta.

A las escuelas, institutos y la U.N.A.M., con gratitud y respeto por la estancia que me brindaron.

AGRADECIMIENTOS.

Al M en C. Tomás Hernández Tejeda por su supervisión, revisión, paciencia, estímulos, consejos, apoyo, planeación y realización de la tesis.

A la I.B.Q. Juana Ma. Castro y la M. en C. Lourdes Flores Delgadillo, por su dirección en esta tesis, así como el tiempo, conocimientos, experiencias y aportaciones.

La revisión de este trabajo al M. en C. Héctor Benavides y el M. en C. Agustín Quiroz, por sus acertadas sugerencias y observaciones.

Al M. en C. Diego D. Reygadas y Rosa Riberón por el apoyo en la impresión de este trabajo.

A todas las personas que me han ayudado en una u otra forma con su apoyo y consejos.

Al CENID-COMEF, en sus instalaciones del Lab. de Suelos, por su apoyo recibido en los análisis de laboratorio y los muestreos hechos en el campo.

A los laboratorios Buckman, por las facilidades otorgadas en sus instalaciones.

I N D I C E

Resumen	1
Introducción	2
Objetivo General	4
Justificación	4
Antecedentes	6
Localización del área de estudio	26
Clima	28
Vegetación	28
Geología y Edafología	30
Materiales y Métodos	31
Determinación de las Propiedades físicas del suelo	34
A) Humedad	34
B) Color	35
C) Densidad Aparente	35
D) Densidad Real	35
E) Porosidad	36
F) Textura	36
Determinación de las propiedades químicas del suelo	38
a) pH	38
b) Materia Orgánica	38

c) Capacidad de Intercambio Catiónico	39
d) Fósforo	40
e) Nitrógeno	40
f) Na, K, Ca, y Mg.	41
g) Cd, Ni, Pb, Zn, Fe, Mn, Al, Cr, y Cu.	42
h) Parte Vegetal	43
Resultados y Discusión	45
Conclusiones	62
Bibliografía	64
Cuadros	72
Figuras	110

RESUMEN

Se analizaron en laboratorio muestras de suelo correspondientes a una localidad boscosa de San Rafael, en el Edo. de México; en profundidades de 0 a 15 y de 15 a 30 cm. En la vegetación se muestrearon hojas y tallos de Pinus ayacahuite y P. patula de una plantación de coníferas en donde se observó un deterioro generalizado de la zona. Los muestreos fueron hechos antes, después y durante la máxima precipitación pluvial anual, para conocer el efecto de los metales pesados durante estas épocas. Se encontró que los mayores contenidos de los metales en suelo y plantas se dieron en el mes de agosto, cuando se hallaron los porcentajes más altos de humedad y los valores de pH más ácidos. Los contenidos del Al y Zn extractables en el suelo fueron superiores a los rangos registrados; mientras que, en la parte vegetal los contenidos mayores de metales pesados se encontraron en los tallos. Concluyendo que, probablemente, las concentraciones de Al, Zn y Pb en la parte superficial del suelo, así como en la vegetación, sean los metales que puedan estar contribuyendo al deterioro físico, químico y biológico de esta área de estudio.

INTRODUCCION

Actualmente se vive a nivel mundial el problema de la contaminación ambiental que se deriva de una serie de factores físicos, químicos y biológicos, a los que se expone el hombre, los animales y la vegetación en general, como son: altitud, emplazamiento geográfico o físico, el clima, niveles de radiación, deficiencias o excesos de nutrimentos en el suelo, riego por aguas negras y residuos industriales; los cuales dan como respuesta en las plantas un cambio que puede manifestarse a nivel celular, osmótico, metabólico, fisiológico, de crecimiento, hormonal y de nutrimentos, entre otros (Barcelo y Poschenrieder, 1989).

Hay sustancias tóxicas generadas por el hombre, debido al avance tecnológico y a la explotación de recursos renovables, la agricultura y la industria, que se distribuyen en el aire, agua, suelo, plantas, animales y humanos; algunas de ellas provienen de fuentes naturales, erosión del suelo y emanaciones volcánicas.

Existen microelementos que las plantas utilizan como nutrimentos para su desarrollo, entre los que se encuentran el Fe, Zn, Cu y Mn, considerados como microelementos esenciales,

pero al aumentar su concentración afectan internamente a la planta, con daños irreversibles como el crecimiento, distribución y balance de nutrimentos e hídrico, respuesta hormonal y ajuste osmótico. En el suelo se tienen cambios en las propiedades físicas y químicas.

En la Unidad Industrial de Explotación Forestal (UIEF), San Rafael, Edo de Méx. se llevó a cabo un proyecto de plantaciones comerciales en 1952, obedeciendo a necesidades de recuperación de suelos en áreas forestales, protección, e incluso, impacto político. Las especies de coníferas empleadas en esa ocasión fueron: *Pinus leiophylla*, *P. ayacahuite*, *P. patula*, *P. montezumae* y *Cupressus lindleyi*. La intención en ese entonces era experimentar la velocidad de crecimiento de dichas especies y determinar su adaptación en el área, así como suministrar material celulósico a la planta de papel, que se encuentra a una distancia aproximada de 1 Km.

Los procesos para obtener la celulosa y papel originan desechos, los cuales causan efectos a largo plazo, de contaminación en el aire, agua y suelo; entre ellos están el sulfato de aluminio, hidrosulfito de zinc, cloruro de aluminio y zinc, sulfato de cobre, alumina hidratada, sulfato de fierro, cloruro de fierro, entre otros (Browning, 1969). En el aire provoca el incremento en las concentraciones de metales pesados,

ozono, hidrocarburos, óxidos de nitrógeno, azufre y carbono, entre otros, dando como resultado la contaminación atmosférica (Albert y Molina, 1987).

El presente estudio pretende dar a conocer la posible influencia de algunos metales pesados conocidos como tóxicos o que causan efectos tóxicos al rebasar las concentraciones tolerantes, encontrados en la superficie del suelo y vegetación, en una plantación de la UIEF en San Rafael, Edo. de México, zona de estudio que se establece por presentar deterioro general.

OBJETIVO GENERAL.

Determinar el contenido de algunos metales pesados (cobre, zinc, hierro, manganeso, plomo, aluminio, níquel, cadmio, cromo y cobalto) en el suelo y vegetación, en una plantación de coníferas de la UIEF en San Rafael, México.

JUSTIFICACION.

El conocimiento de los metales pesados presentes en el suelo, depositados en diversas condiciones, además del contenido de metales que presente la vegetación, proporcionan información

sobre la existencia de algún problema de contaminación. En México, las investigaciones que se tienen al respecto, en particular en zonas boscosas, son escasas.

La región de la UIEF en San Rafael, Edo. de México, presenta un aspecto de deterioro general de la vegetación forestal, la cual es alarmante y cuyas causas aun no han podido ser determinadas con exactitud, ya que son muchos los factores que interactúan entre sí. Por este motivo se tuvo el interes de realizar el presente estudio, que tiene la intención de proporcionar elementos de juicio necesarios para establecer si los metales pesados analizados se encuentran en concentraciones tales, que puedan estar causando daños o efectos tóxicos, y que sean una de las probables causas del deterioro en el bosque.

HIPOTESIS.

Algunos de los metales pesados considerados como tóxicos acumulados en el suelo y las plantas son las posibles causas del deterioro de la zona boscosa de San Rafael, México.

ANTECEDENTES

A través de los siglos se han ocupado los metales para elaborar infinidad de utensilios. En el año 4000 a.C. se extrajo el cobre, en el 3000 a.C. el plomo, y en el 1000 a.C. el latón; pero no fue sino hasta la revolución industrial cuando se comenzó a usar los metales no ferrosos. Hace poco más de un siglo la producción de los metales se incremento en más de 100 veces. Actualmente, el uso de los metales es alarmante, se emplean en forma desordenada y provocan la ruptura de los ciclos biogeoquímicos; hacen que los organismos absorban cantidades excesivas de dichos elementos, resultandoles tóxicos (Badillo, 1990).

Las formas de materia que entran en un sustrato del ambiente, deben acumularse, transformarse o salir de el; en muchos casos se ha rebasado la capacidad de los sistemas, por lo que se ha alterado el equilibrio ambiental; por consecuencia las concentraciones naturales se exceden y contaminan. Los efectos adversos y diversos considerados como contaminantes ocurren por que las sustancias no pueden eliminarse fácilmente, rebasan el nivel y dan por resultado una acumulación excesiva y se les considera como contaminantes tóxicos (Albert y Molina, 1990).

Los metales pesados son elementos cuyo peso específico supera a los 5 g en un centímetro cúbico, se encuentran en la naturaleza 2/3 del total existentes. Sus daños son particulares dependiendo de la especie, sensibilidad y acumulación en el suelo, raíz y parte aérea (Barcelo y Poschenrieder, 1989).

Así al tratar de estudiar la fertilidad de los suelos, se realizan análisis químicos para conocer la concentración de ciertos elementos necesarios para las plantas. " En 1845 Daubeny introdujo un concepto muy importante cuando sugirió que los nutrimentos existían bajo las formas activas y latentes" (Cajuste, 1987). Es decir las activas, que son asimiladas por las plantas para sus funciones metabólicas y las latentes que se encuentran en el suelo, pero requieren de los microorganismos para sufrir una transformación y ser asimilados posteriormente por las plantas. A principios de siglo se analizaron diferentes elementos como Mn, Co, Al, Cu, Fe, B y Zn en suelos, con la finalidad de conocer su función nutricional (Black et al, 1965).

En el aire se encuentran partículas suspendidas, generadas por industrias, las cuales son transportadas por la lluvia y aire y son depositadas en el suelo y agua; también, se desechan aguas residuales en ríos, lagos y mares que provocan daños en los ecosistemas naturales (Ruíz, 1991).

El orden decreciente de los metales pesados que provienen de fuentes atmosféricas y que se depositan en el suelo son : Bi, Pb, Cu, Sn, Zn, Ni, Mo, Be, Ge, Co, Cr, V y Mn (Zimdahl y Hasset, 1980). El sustrato superficial es el reservorio natural de los metales pesados, así como de otros contaminantes. Además, hay elementos que facilitan su unión a superficies orgánicas intercambiables, las cuales son abundantes en los horizontes superiores, lo cual va reduciendo su solubilidad en estratos inferiores (Smith, 1972; Khan y Frankland, 1983)

Los suelos pueden retener elementos metálicos debido a las siguientes características:

- Movimiento de los metales en forma soluble o por acarreo físico en los coloides del suelo.
- Contaminación por contacto de la porción superficial orgánica de 0 a 5 cm.
- Las cargas de las partículas coloides del suelo cuya ionización es catiónica.
- El pH, al disminuir permite la formación de complejos estables orgánico-metálico, como resultado de la interacción con la materia orgánica (Santillan, 1975; Weinberg, 1976; Kabata, 1984; Page, 1982.)

El complejo de intercambio catiónico del suelo retiene con mayor facilidad a los metales pesados cuando están como cationes

intercambiables; mientras que, en los hidróxidos metálicos la retención es menor (Elliott, 1976; Huang, 1976). El limo es importante en la retención y disposición de los metales en el suelo. Se sabe que la mayoría de las sales de los metales pesados incrementan su solubilidad conforme el pH disminuye, y por tanto, tienen mayor disponibilidad de entrar en las plantas por disolución en suelos ácidos (Coutiño, 1989; Elias, 1991)

Los metales pesados pueden inhibir las actividades microbianas que intervienen en la descomposición del material vegetal, la reducción en la mineralización de C y N, y descomposición en la celulosa y almidón (Bidwell, 1979)

La primera barrera que encuentran los contaminantes atmosféricos para llegar al interior de las hojas es la cutícula y las células oclusivas que permiten el cierre estomático, trayendo como consecuencia la inhibición para la fijación de bióxido de carbono, respiración mitocondrial, fosforilación, producción del ácido indolacético (regulador del crecimiento vegetal que controla la expansión celular), la actividad de los cloroplastos y la transpiración. También las condiciones meteorológicas: la dirección y velocidad del viento, la lluvia, la concentración de partículas contaminantes existentes en la atmósfera y el tiempo de exposición. En el caso de *P. silvestris* tiene cámaras subestomáticas cubiertas por cristales

cerosos muy finos, los cuales representan un filtro donde las partículas son retenidas por los estomas, por lo tanto, cualquier especie que tenga estas características quedará protegida y no pase al resto del vegetal (Godzink et al, 1979; Turunen y Huttunen, 1990).

Heichel (1976) indica que las coníferas son consideradas las especies más eficientes en la captación de partículas atmosféricas, estipula que un pino que mide 12 m de altura con una superficie leñosa de 15 X 10 000 cm cuadrados y una superficie foliar de 15 X 100 000 cm cuadrados llega a retener en la superficie leñosa 2 terceras partes de los contaminantes y solo una tercera parte en las acículas.

COBRE.

Es un elemento que se encuentra como mineral y componente orgánico del suelo en los horizontes, se precipita con aniones como fosfatos, carbonatos e hidróxidos (Baker y Amacher,1982). Su adsorción depende del pH. En la materia orgánica forma complejos con los ácidos fúlvicos y húmicos (Fiskell, 1965). En componentes orgánicos actua cuando el suelo presenta un pH menor a 7 y mayor a este con hidróxidos, nitratos, cloruros y sulfatos. El 80% de las reacciones del Cu es con quelatos orgánicos, además de ser uno de los metales pesados que menos movilidad tienen. Las fuentes contaminantes que los producen son los fertilizantes,

aerosoles, emisiones industriales. Con el Fe y Cr se reduce la absorción de Cu pues son antagonistas. Los rangos para el area forestal registrados en los Estados Unidos, China y URSS, van de 12.5 a 32.0 ppm en los suelos en forma total.

En las plantas el Cu es absorbido a nivel xilema o floema, reacciona con componentes moleculares pequeños, proteínas y enzimas que son necesarias para el metabolismo, fotosíntesis, respiración, distribución de carbohidratos, fijación de nitrógeno, metabolismo celular, (Loneragan, 1984). El exceso provoca la elongación de las células de la raíz, alteración de la membrana permeable, peroxidación en las membranas de los cloroplastos, inhibición del transporte de los eletrones de la fotosíntesis, inmovilización en células de la vacuola y pared celular. Cuando hay una concentración alta o no tolerante, los daños en la semilla se producen como un retraso en la germinación y desarrollo de la raíz (Woolhouse y Walker, 1981)

ZINC.

Se encuentra en rocas extrusivas magmáticas en concentraciones de 17 a 125 ppm total; se solubiliza en ácidos; su acumulación la realiza en los diferentes horizontes de un perfil. El pH es factor importante en la solubilidad del zinc en el suelo; mientras que, la adsorción se reduce con pH menores a 7 y se encuentra en movimiento en los suelos ácidos (Frank,

1964). Se relaciona con los óxidos de Fe y Al. Slukla et al (1980), reportan que la adsorción con respecto a diferentes cationes es $H < Ca < Mg < K < Na$. Hay una reducción en la concentración del Zn en presencia de Ca y P, ya que lo inmoviliza. Su depósito en el suelo se debe a los fertilizantes y a la contaminación industrial; puede sufrir traslocaciones con el Cd, compete en los sitios intercambiables con el Mg; el exceso de Zn disminuye la presencia de Fe. Los rangos van de 25 a 155 ppm de suelo en el área forestal; en plantas se tienen rangos para el área agrícola, pero no se reporta nada para la forestal (Olsen, 1972).

En el período de crecimiento de las plantas se encuentra en las hojas, vainas, entrenudos, y en organelos como los cloroplastos, vacuolas y membrana celular (Kabata, 1984).

CADMIO.

El cadmio se comenzó a usar al tratar de refinar metales como Zinc, Plomo y Cobre. En la actualidad se considera como uno de los elementos más tóxicos. La mayor parte de este metal que se emite a la atmósfera se deposita en el suelo y agua cercana a la fuente de emisión (Badillo, 1990). En el suelo se puede incorporar a través de los fertilizantes, abonos, agroquímicos y contaminantes atmosféricos. En los suelos ácidos se intercambia fácilmente y se presenta en forma disponible para las plantas.

Es abundante en las rocas sedimentarias, los componentes que actúan como iones isotópicos son Zn, Co, Ni, Fe, Mg y Ca. Su movilidad esta dada por materia orgánica y el pH con rango de 4.5 a 5.5 , si el suelo se vuelve alcalino, el Cd actúa como un ión monovalente y puede ocupar sitios de complejos con cationes intercambiables, se acumula con los fosfatos; en el suelo se encuentra hasta una profundidad de 30 cm.; en suelos forestales se reportan rangos de 0.5 a 1.5 ppm total. No es un elemento esencial para las plantas; actúa como quelato; en presencia de sulfatos sufre traslocaciones con el zinc (John.M.K; 1972. Kabata, 1984).

En las plantas se encuentra en los tejidos de la raíz, nudos, peciolo, vainas y sistema foliar, provocando problemas en la raíz, clorosis en las hojas, y en las líneas marginales, se observa una coloración cafe-rojizo. La toxicidad afecta el metabolismo en la asimilación de algunos micronutrientes e inhibición en la fotosíntesis, problemas en la fijación de bióxido de carbono, permeabilidad en la membrana celular, interfiere en la simbiosis con microorganismos, predisponiendolo a invasión de hongos para la planta. La tolerancia es de 5 ppm, interactua con el Cu, Zn y Mg; hace traslocaciones con nutrientes como N y K, también con el Al; aún no se estudia con exatitud los efectos secundarios. Al acumularse en la planta

puede dañar al hombre y ganado; la mayoría de los estudios están enfocados al área agrícola en granos y legumbres (Haan and Zwerman, 1978; Elliot, 1986; Kitagishi and Yamane, 1981).

ALUMINIO.

Es constituyente de varias rocas y su origen en los suelos depende de la roca madre; se encuentra estable como un catión trivalente; se solubiliza en un rango de pH de 5 a 8; en los coloides del suelo es adsorbido como anión; con pH de 5.5 tiene una gran actividad con otros cationes cambiando por sustitución.

Se ha estudiado en plantas y se mencionan valores de hasta 200 ppm, pero este valor puede variar por el tipo de suelo y planta. La función fisiológica todavía no es clara, en ocasiones ayuda a la planta en el crecimiento, cuando el valor es tolerable. En la planta se acumula en raíz, y la toxicidad se manifiesta por interferencias en la división celular, protoplasma y pared celular; los nutrimentos como P, Ca, Mg, K y N son reducidos por el exceso de Al, incrementándose el Fe y Mn. La manera de reducir la toxicidad en suelos es incrementando el Ca y Mg, pues en los suelos ácidos se encuentra en concentraciones altas y las plantas lo controlan genéticamente.

PLOMO.

Esta presente en rocas magmáticas y sedimentos arcillosos con rangos de 10 a 140 ppm, en sedimentos calcáreos de 0.1 a 10 ppm. En suelos se encuentra, por lo general, como catión divalente; reemplaza al K, Ba y, en ocasiones, al Ca provocando la inhibición de enzimas; se asocia con óxidos de Mn e hidróxidos de Fe y Al; interacciona con Zn y Cd, con este último realiza traslocaciones; el Pb forma complejos orgánicos, suele adsorberse en el humus. Es poco móvil en la superficie del suelo, las concentraciones son aumentadas por la contaminación generada por automotores y la antropogénica. Es absorbido por las raíces en forma pasiva y es inhibido en temperaturas bajas. En suelos forestales el rango va de 10 a 30 ppm actuando en forma estable, algunos autores reportan concentraciones de 100 a 500 ppm en forma total que causan daños severos irreversibles. Afecta la microflora dependiendo de la concentración y limita la actividad de la misma, además se va depositando en las paredes celulares alterando su flexibilidad y plasmolemas. La interacción del Pb con otros elementos, además de los factores ambientales, provocan efectos adversos en procesos vitales para la planta como la fotosíntesis, mitosis y absorción del agua, pero no se conocen síntomas específicos en ella. No es un elemento esencial para las plantas en su metabolismo, sin embargo se ha visto que los niveles de concentración que requiere la planta es de 2 a 6 ppb, pero se le ha concedido atención por el nivel de toxicidad

que presenta en las plantas, pues algunas lo absorben por el suelo y por adhesión en las hojas, ya que es transportado por el aire como partícula, y es así como los genotipos se van adaptando (Broyer, 1972).

CROMO.

Su origen es de rocas extrusivas, en sedimentarias los contenidos en promedio van de 5 a 120 ppm. En estado de oxidación las valencias son de 2+, 6+, aunque su valencia 3+ es la más conocida y como cromato 6+, por sus propiedades se relaciona con Fe y Al. Tiene potencial redox con un pH entre 5 y 7, el Cr 6+ disminuye cuando el pH se incrementa y el Cr 2+ se incrementa al aumentar el pH. El Cr 6+ es tóxico en el suelo, plantas y animales, ya que se acumula en la superficie de los estratos, lo acidifican y reducen los agentes del suelo (Bartlett, 1979).

Si se encuentra en el suelo es seguro encontrarlo en plantas, raíces, hojas y retoños. Se manifiesta en el color del suelo, en áreas serpentinas o depósitos cromáticos. Las concentraciones de cromo provocan deficiencias en el crecimiento de los árboles forestales; cuando se encuentran en los tejidos de la raíz se crea un proceso por el cual hay absorción de Fe, existiendo una traslocación de Fe-Cr. El Cr es transportado por complejos iónicos en las plantas, los cuales han sido

identificados en extractos de tejidos de la planta y fluidos del xilema. Su concentración en ellas tiene una atención especial, ya que participa en el metabolismo de la glucosa y almidón en concentraciones de 0.02 a 0.2 ppm, variando según la planta de estudio. La adición de Cr provoca la disminución de concentraciones de K, P, Fe y Mg en raíces. Hay interacción antagónica entre el Cr y Mn. La toxicidad del cromo va a depender del estado oxidativo que presente; los síntomas son clorosis en las hojas jóvenes y, en las hojas en general, un color café-rojizo; los organelos que afecta son los cloroplastos y membrana plasmática (Ruhling, 1973).

MANGANESO.

El manganeso es uno de los elementos más abundantes en la litósfera, en las rocas máficas las concentraciones van de 350 a 2000 ppm. Su estado principal es Mn^{2+} , el cual reemplaza elementos de la misma valencia como en el caso de Fe y Mg, en óxidos y silicatos; se asocia con metales pesados como Co, Ni, Cu, Zn y Mo. El estado en la litósfera es $(Al, Li) Mn O_4(OH)_2$ que ocurre en suelos neutros o ácidos. Es un elemento esencial para la asimilación de otros micronutrientes. Su solubilidad va a depender de su potencial redox y pH. Cheshire et al (1977), menciona que el Mn está muy asociado con los ácidos fúlvicos, además existen procesos microbiológicos directos e indirectos que

transforman al Mn en compuestos del suelo. Se le puede encontrar en altas concentraciones en suelos que contengan rocas máficas, suelos ricos en Fe y materia orgánica. En suelos forestales se registran rangos de 150 a 1500 ppm en forma total.

En plantas se ha observado que tiene ciertas características metabólicas similares a los cationes divalentes como el Mg y Ca. Sin embargo, la absorción del metal solo se logra cuando se encuentra en rangos elevados, provoca traslocaciones en las uniones orgánicas, tejidos de la raíz y el fluido del xilema (Labanauskas, 1968). Van Goor (1976), reporta que es transportado por el tejido meristemático; las altas concentraciones se encuentran en exudados del floema, tejidos de las hojas, en frutos, semillas y se almacena en las raíces. Scheffer et al (1979), lo encuentran acumulado en hojas viejas y vainas. Es un elemento esencial para dos enzimas: arginas y las fosfotransferasas y, en ocasiones, sustituye al Mg en otras enzimas; en la fotosíntesis se utiliza para formar anillos pirrólicos con el oxígeno. La deficiencia del Mn se manifiesta como clorosis intervenal en las hojas jóvenes, en otros estados es necrosis y las raíces se tornan cafés. Es tóxico en altas concentraciones en suelos ácidos con pH de 5.5 o menores. Fisiológicamente puede provocar cambios genotípicos; altera el metabolismo con el Fe provocando clorosis.

FIERRO.

Es uno de los elementos más abundantes en la litósfera, se encuentra en rocas magmáticas. Es propulsor de los macroelementos; se encuentra en suelos ácidos, neutros y alcalinos con rango de 0.5 al 5 %. La presencia de este elemento sirve para clasificar suelos, predominando en los ácidos. Un suelo rico en Fe provoca efectos tóxicos en las plantas. Actúa como quelato, óxido e hidróxido, en procesos microbiológicos y químicos. En las raíces reduce el Fe^{3+} a Fe^{2+} ; su interacción con el P es de competencia iónica; los valores de pH son fundamentales para la nutrición y la absorción; en los tejidos ayuda a las áreas de crecimiento, su deficiencia provoca severos daños en procesos fisiológicos como es el retraso de crecimiento; rendimiento de la planta y clorosis en las hojas jóvenes. Los contenidos naturales en las plantas van de 18 a 1000 ppm en follaje (Terry, 1979).

Actúa en la síntesis de proteínas; en los cloroplastos forma complejos en los mecanismos fotosintéticos de la clorofila (transferencia de electrones), está implicado en el metabolismo del ácido nucleico; actúa en reacciones redox de cloroplastos, mitocondrias y peroxisomas. Su absorción depende del estado genotípico de las plantas, factores climáticos y nutrición (Ellis, 1968).

NIQUEL.

Las concentraciones que se encuentran en el suelo van a ser dadas por la roca madre, procesos de formación del suelo y la contaminación. Se asocia con carbonatos, fosfatos y silicatos; interacciona con elementos como Cu, Zn y Fe donde hay traslocaciones con óxidos de Fe y Mn que son aprovechados por las plantas; en presencia de materia orgánica hay una mayor estabilidad y absorción (Sarkunan, 1989); en los horizontes del suelo se presenta en forma de quelato, su solubilidad es inversamente proporcional al pH del suelo; los rangos van de 1 a 100 ppm en forma total, y en suelos forestales, las concentraciones van de 22 a 55 ppm (Kabata, 1984).

En las plantas no hay evidencia de que el Ni sea un elemento esencial en el metabolismo. Welch (1979), menciona que es un componente esencial para la enzima ureasa. Es movable y se acumula tanto en hojas como en semillas; su absorción en plantas es directamente proporcional a la concentración que se encuentre en el suelo; cuando provoca toxicidad se manifiesta por clorosis. Cuando la planta esta estresada hay una disminución de absorción de nutrimentos, desarrollo de la raíz, y un fuerte retraso en el metabolismo, inhibiendo la fotosíntesis, transpiración y la fijación del nitrógeno; los rangos van de 10 a 100 ppm, aunque

depende también del ambiente, factores biológicos y las fuentes exteriores causadas por las emisiones industriales.

En México, en los años setentas, la Universidad Nacional Autónoma de México, el Colegio de Posgraduados, la Universidad Autónoma de Chapingo, entre otras instituciones, comienzan a realizar estudios de contaminación por metales pesados. Guajardo, R. (1990); Flores, L. (1990); Maples, M. (1990) entre otros, del Instituto de Geología, de la U.N.A.M, analizan los problemas de riego con aguas residuales en el Estado de Hidalgo, en los distritos 03 y 063, donde se encuentran cultivos agrícolas. Los contenidos de Ni, Cd y Co en maíz y alfalfa se encuentran por arriba de los contenidos normales, pero no se presentan en forma uniforme en la zona, concluyen que estos valores variaron a través del tiempo. La Facultad de Química, de la UNAM cuenta con un programa de ingeniería química ambiental y química ambiental donde su objetivo es buscar alternativas para prevenir la contaminación de suelos y aguas por residuos industriales.

Cajuste et al (1991) del Colegio de Posgraduados en Chapingo, México, realizan estudios, en el Valle del Mezquital sobre los efectos causados en cultivos por el riego con aguas negras, encontrando que el Zn es absorbido por alfalfa y avena al estar diluido en el agua en altos rangos, así como el incremento de Ni,

Pb, Cr y Co en raíz y parte aérea; concluyendo que el incremento de estos puede ser perjudicial para las plantas, animales y el mismo hombre.

Falcón, Y.; L.Nuno y M.L. Sánchez de la Universidad Autónoma Metropolitana (1992), realizan estudios sobre partículas suspendidas de metales pesados en la zona metropolitana de la Ciudad de México, encontraron que las concentraciones más alta de Pb (1.75 ug/m^3), Cu (1.88 ug/m^3) y Fe (4.28 ug/m^3) se registran en el noreste (Xalostoc), donde se encuentra una zona industrial importante y con un gran flujo vehicular; mientras que, la más baja fue en el suroeste (Pedregal), ubicada en una zona residencial con áreas verdes, registrando para el Pb (0.65 ug/m^3), Fe (1.45 ug/m^3) y Cu (0.62 ug/m^3).

Colli, J. (1990), del Instituto Mexicano de la Tecnología del Agua, investiga sobre aguas residuales utilizadas para riego derivadas del Río Salado con contenidos de metales pesados, y otros compuestos en el Estado de Hidalgo. El autor menciona los impactos negativos en los suelos y tóxicos en las plantas. Los valores máximos y promedios más elevados para las sales son de 2108 a 2860 mmhos/cm y cloruros 7.6 a 12.8 meq/l considerados como tóxicos a las plantas. Para el caso de los metales las concentraciones de Fe son excesivas (162 a 631 ppm) en muestras de alfalfa, lo que presentó el lavado de Ca, Na y SO hasta en un 200%.

La Seretaria de Agricultura y Recursos Hidraulicos (S.A.R.H.) en el Centro Nacional de Investigacion Disciplinaria-Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales (CENID-COMEF) llevan a cabo un proyecto de contaminación por metales pesados en el parque Desierto de los Leones, D.F. De igual manera en el Estado de Hidalgo, se tiene un proyecto con un enfoque de toxicidad causado por el contenido de metales pesados en el suelo, planta, agua y producto del cultivo agrícola causado por riego con aguas residuales. Se realizaron 3 muestreos en diferentes épocas del año, y se encontró que para el Pb las concentraciones más altas fueron en el tercero (140 a 600 ppm), al igual que el Fe (80 a 146 ppm), mientras que para el Cu fue en el primero (1.0 a 2.8 ppm), mientras que los mínimos para los tres se encontraron en el segundo muestreo, Cu 0.6 a 1.8 ppm, Fe 24 a 170 ppm y Pb 120 a 320 ppm.

Pérez, G. A. (1981), analizó los contenidos de metales pesados en muestras de suelos y plantas provenientes de vías de mayor transito vehicular en el área de la Ciudad de México. Los datos obtenidos en muestras de suelo en la clasificación de contaminación alta para el Pb fueron de 107 a 980 ppm, en la media de 33 a 88 ppm y la baja de 0.5 a 9 ppm. En las muestras foliares no lavadas las concentraciones fueron mucho mayores que en las lavadas. Concluyendo que las concentraciones más

elevadas de los metales pesados (Pb, Cd, Cu, Cr y Zn) provinieron de zonas y avenidas con mayor flujo vehicular, clasificando arbitrariamente las zonas como: de contaminación alta: más de 100 ppm, moderada: entre 10 y 100 ppm y baja o nula: menos de 10 ppm.

El Departamento de Fertilidad de Suelos en Murcia, España (1983), realizó un análisis de las concentraciones de metales pesados en la especie Picea sitchensis donde los valores obtenidos fueron los siguientes: Cd 4.8, Ni 5.8, Pb 19.0, Cu 88 y Zn 22.6 mg/Kg, donde los daños causados se manifestaron en el área foliar, al disminuir su tamaño y crecimiento; en el suelo interfirieron en la asociación que hay con las micorrizas y alteraron la asimilación de los nutrimentos en la planta.

Brian, E. D. y Nicola J. H. (1984), realizaron un experimento en relación con la distancia que existía entre la ciudad y localidades rurales que se encontraban a 22 Km del centro de Birmingham, los metales analizados fueron el Cd, Cu, Pb y Zn en suelos y plantas, donde se llegó a la conclusión de que la zona más contaminada es la urbana > suburbana > rural y que los efectos de los metales dependen de las plantas, acidez del suelo, humedad y asimilación de estos en el suelo.

Sadovnikova L. K. y N.G. Zyrin (1985), hicieron un monitoreo en diferentes áreas de suelos que contenían metales pesados,

para evaluar la degradación que existía en el, y poder asignar cual era la más adecuada para la agricultura. Dando como respuesta que las concentraciones de los metales deben ser menores al límite tolerante para las plantas, que no se acumulen en el follaje o frutos de las plantas y que no alteren las propiedades fisiológicas y bioquímicas de las plantas y suelo.

Schirado T. *et al* (1986), estudiaron los riegos con aguas residuales en un suelo vertisol, donde se obtuvieron las concentraciones extractables de Cd, Co, Cu, Mn, Zn y Ni. Los valores para Co, Ni y Zn fueron uniformes a lo largo de un perfil de 150 cm. Los contenidos más altos para el agua residual fueron para el Cu con valores de 440 a 553 ug/L, y los mínimos para el Co de 5 a 13 ug/L del año 1977 a 1983. Las muestras de suelo tomadas a diferentes profundidades manifestaron un incremento de contenidos hasta los 60 cm de profundidad, a partir de ahí comenzó a haber variaciones en los metales y se vio que los contenidos mayores para todos los metales se encuentran en los primeros 5 cm de profundidad.

Barrie L.A. *et al* (1986) del servicio Atmosférico Ambiental de Ontario, Canada, realizaron un estudio meteorológico, donde analizaron la acumulación de metales pesados en zonas rurales y se encontró que las acumulaciones de Cd, Cu, Pb, Ni, V y Zn, no tienen un comportamiento particular, pero si va a depender de

los valores de las emisiones antropogénicas que se encuentren alrededor de las áreas, y que se manifiestan mejor, cuando se presentan las precipitaciones, además de favorecer la velocidad del viento.

Sarkunan V. et al (1989) del Instituto de Cuttack, India, estudiaron el comportamiento de Zn en contenidos de 200, 400 y 800 mg Kg en suelo, de Cu en dosis de 50, 100 y 200 mg/Kg y de Ni con 25, 50 y 100 mg/Kg. Se interrelacionaron el Zn-Cu, Cu- Ni y Zn-Cu-Ni lo cual se observó, por medio de análisis de regresión lineal con los valores obtenidos, dando como resultado que el orden de acumulación en el suelo fue de Zn (23%), Cu (22%) y el Ni (16%), y que la mayor relación que se presenta en estos metales es de Zn-Cu.

LOCALIZACION DEL AREA DE ESTUDIO.

San Rafael, pertenece al municipio de Amecameca, en el Estado de México; a $19^{\circ} 13'$ latitud norte y $98^{\circ} 15'$ longitud oeste con un altitud de 2530 msnm. Se encuentra en las estribaciones noroccidentales del sistema montañoso Ixtacihuatl y Popocatepetl. El área de estudio esta situada a 2 Km. al sureste de las instalaciones del U.I.E.F. San Rafael (Figura 1).

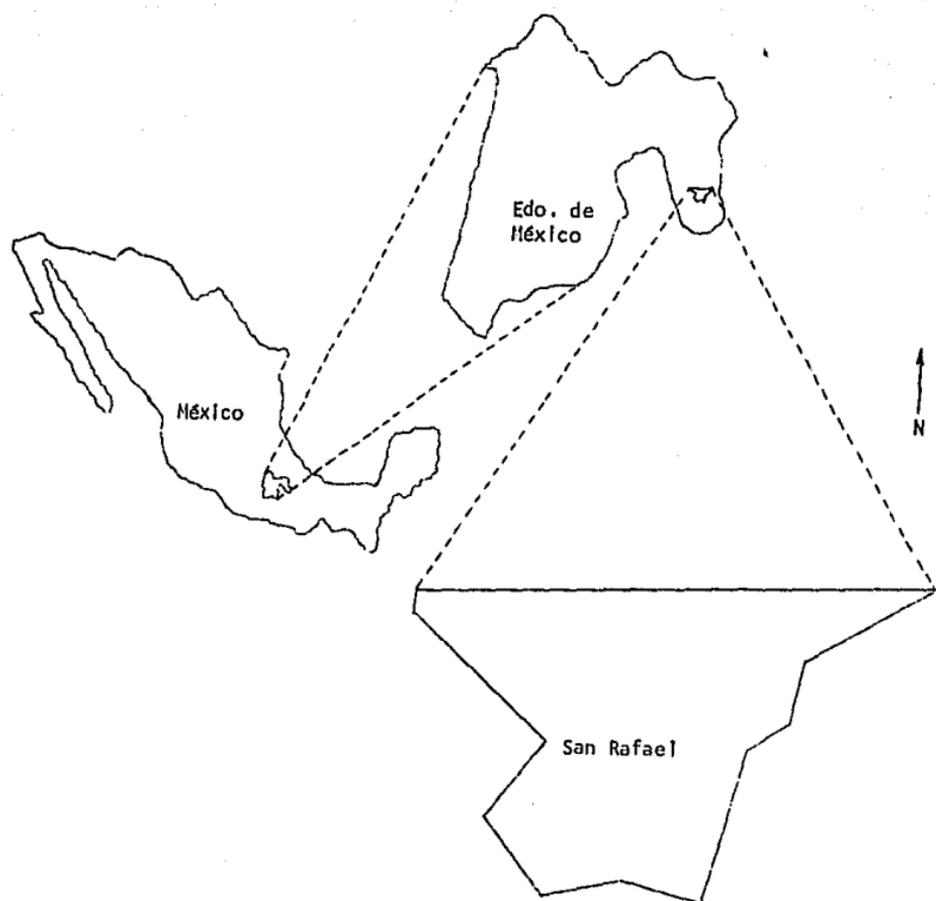


Figura 1. Ubicación del área de estudio; San Rafael, Edo. de México,
($19^{\circ} 13'$ latitud Norte y $98^{\circ} 15'$ longitud Oeste).

CLIMA.

Según García (1987), el clima de la zona es templado, el más húmedo de los subhúmedos con verano fresco largo. Se encuentra dentro de la clasificación Cb (w2)(w) i g. (Figura 2). La temperatura media para el mes más frío está entre los -3° y 16° C, la media anual va entre los 12° y 18° C; el mes más caliente tiene temperaturas entre los 6.5° y 22° C. La precipitación del mes más húmedo que corresponde a la mitad del año, en el verano, es 10 veces mayor a la del mes más seco, siendo la precipitación del mes más seco menor a los 40 mm, y la del mes más húmedo a 228.8 mm. Con una oscilación isotermal anual de las temperaturas medias mensuales menores a los 5° C, el cociente P/T mayor a los 55 mm y la precipitación total de 1092.6; la marcha de la temperatura es de tipo ganges.

VEGETACION.

La vegetación está establecida por las especies Pinus leiophylla, Pinus ayacahuite, Pinus patula, Pinus moctezumae, Cupressus lindleyi, con una gran diversidad en su sotobosque y perturbación en arbustos e hierbas.

El pino ayacahuite tiene una altura de 20 a 30 metros, ramas extendidas, verticiladas, ramillas morenas grisáceas, flexibles, las hojas en grupos de 5 que van de 11 a 13 cm y hasta 15.5 a 20

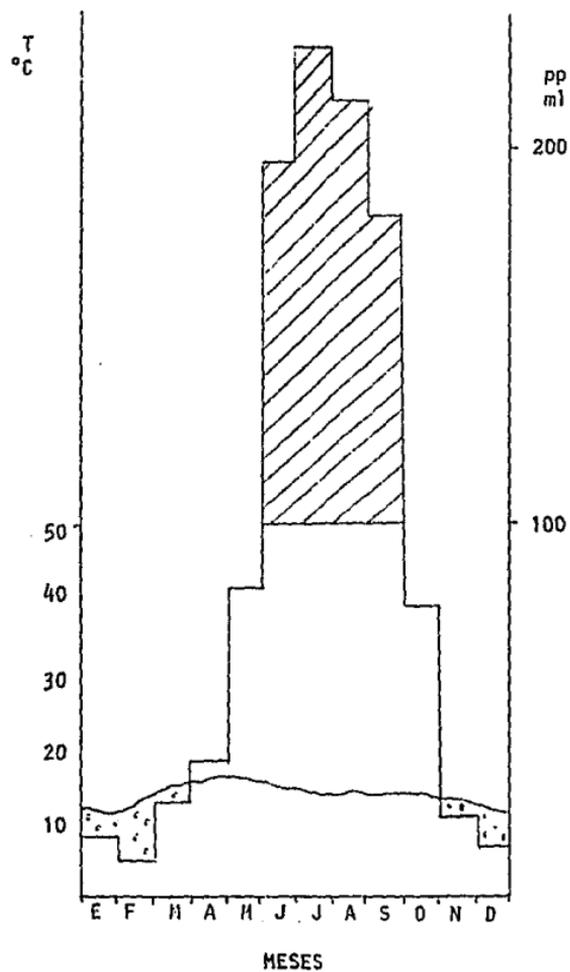


Figura 2. Diagrama ombrotérmico de San Rafael, Edo. de México.

cm. ; presentan estomas en la cara interior, haz vascular y canales resiníferos externos en números de 2 y 3, y a veces hasta 7; las vainas miden de 12 a 17 mm, son amarillentas pajizas, escamosas y caedizas. Sus conos de 22 a 37 cm. Las semillas miden 12 mm y son de color moreno obscuro, con alas de 15-20 mm de largo y 6-10 mm de ancho (Martínez M, 1954) .

El pino pátula mide de 15 a 20 mt., tronco de 50 a 90 cm. de diámetro y corteza morena rojiza. Sus acículas con una longitud de 12 a 25 cm en fascículos que contienen de 3 a 5, delgadas, suaves y flexibles, inclinadas hacia abajo, de color brillante, bordes finamente aserrados. Estomas en las 3 caras, 2 canales resiníferos, conos ovoides de 5 a 8 cm de largo y de 2 a 3 cm de diámetro en la base; prdúnculo de 0.5 a 1.5 cm. Semillas pequeñas y negras con manchas morenas (Martínez M. 1954).

GEOLOGIA Y EDAFOLOGIA.

El uso del suelo se establece como parcela experimental con una geoforma plana y lomerio.

El espesor medio del suelo es de 40 cm., relieve lomerio, espesor de las capas masisas del Terciario Superior, con permeabilidad media. Brecha sedimentaria constituida por una composición andesítica de color gris, sus tamaños varían de 2 cm

a un metro; se observan lentes arenosos y pequeñas copas arenosas que se acuñan lateralmente.

Los suelos estan clasificados como andosol ócrico húmico, clase textural gruesa y media en los 30 cm superficiales del suelo automórfico.

MATERIALES Y METODOS

El trabajo se llevó a cabo en el campo y laboratorio. Para el muestreo estacional en el campo, se realizó un análisis meteorológico previo de la zona, programandose 4 salidas: febrero, junio, agosto y diciembre de 1992, que abarcaron diferentes niveles de precipitación, y fue tomada como variable independiente durante el ciclo anual.

Se establecieron 8 sitios de muestreo de suelo y vegetación al azar (Figura 3), tomando como criterio los menos perturbados por la actividad humana y el ganado; en cada salida se tomaron muestras de suelo a dos profundidades de 0-15 cm y de 15-30 cm, y 8 muestras de follaje del pino más cercano (Pinus ayacahuite o P. patula) de donde se tomaron las muestras de suelo.

En cada muestreo de suelo se tomaron los siguientes datos

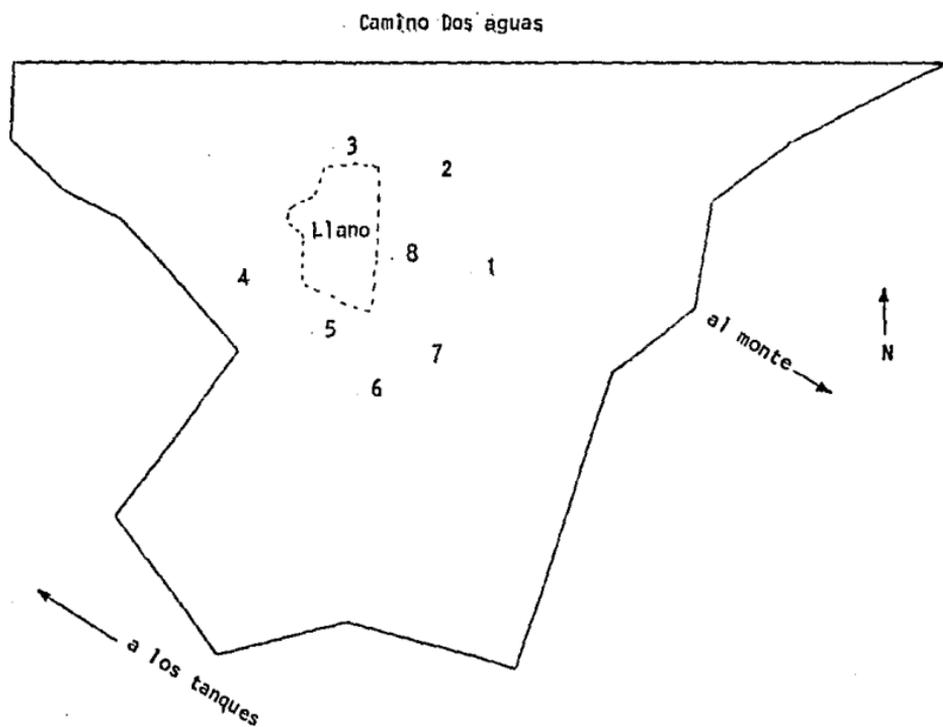


Figura 3. Establecimiento de los 8 sitios de muestreo de suelo y vegetación.
 Plano Esc. 1: 2000 del terreno con reforestación artificial
 (UIEF).

de campo:localidad; temperatura, con un termómetro de suelo escala de 0 a 80° C (Teylor con 5 divisiones); pH y porcentaje de humedad del suelo, con un medidor de humedad y acidez del suelo Kelway Mod. 221175 con escalas de 3.5 a 8 de pH y de 0 a 100% de humedad; fecha de muestreo y profundidad de la muestra. En el caso de la parte vegetal la altura de las muestras fue de aproximadamente 2 metros, se registraron los datos de localidad, fecha del muestreo, número de muestra y nombre de la especie colectada.

Tanto para las muestras de suelo, como para las de vegetación se ocuparon bolsas de polietileno con capacidad de un kilo (21 x 30 cm), para ser transportadas. Una vez en el laboratorio se les asignó el número de registro para su posterior análisis. Después se procedió a secar las muestras; las de suelos fueron al aire libre, puestas sobre papel y en un lugar donde no se contaminaran y para la vegetación su secado fue por medio de deshidratación en una estufa de secado con control de la temperatura.

Ya que estuvieron secas las muestras de suelo, se les molió con un maso de madera con el fin de no obtener contaminación de fierro con la molienda. Las muestras no se tamizaron para evitar otra posible fuente de contaminación. Al haber obtenido su homogeneidad se les colocó en frascos de vidrio con el registro

de laboratorio para, posteriormente realizar los análisis correspondientes.

En el caso de la vegetación, una vez que se pesaron para obtener el porcentaje de humedad en el momento de la colecta, se les lavó con agua desionizada y se secaron en una estufa Felisa a 80° C durante 8 horas. Se separaron las hojas de los tallos y se molieron en forma independiente en morteros de porcelana, y se almacenaron en cajas de Petri con el registro de laboratorio. Con dichas muestras preparadas se iniciaron los análisis.

1. Determinación de las propiedades físicas del suelo:

a) Contenido de humedad por el método gravimétrico secado en estufa (Martínez, 1971). Al llegar del campo se pesan 10g de suelo, se colocan en cajas de aluminio para humedad con capacidad de 100 ml y se colocan en una estufa a temperatura constante (105° C) durante 2 horas; se utiliza una estufa Felisa Mod.293 con capacidad de 220 grados C. Posteriormente, se dejan enfriar en desecadoras, para proceder a medirles el peso seco, en balanza analítica (Sartorius 2472 d=0.1mg). Así, al obtener los valores y por diferencia de peso, se sustituyen en la siguiente ecuación:

Peso fresco - Peso seco

% Humedad= ----- X 100

Peso seco - Peso de la caja de Hum.

b) El Color en los suelos se determina en seco y humedo por medio de tablas Munsell (1975). En una placa de porcelana se colocan dos repeticiones para cada muestra, una seca y la otra saturada con agua destilada; se comparan con las cartas Munsell para obtener los parámetros de brillo, tono e intensidad y saber el color del suelo, mediante relaciones que se obtienen de las cartas.

c) La Densidad aparente (D.A.) se determina por el método de la probeta (Tisdall, 1951). Para conocer el peso por volumen de las partículas sólidas y del aire contenido en los poros existentes en las partículas, se ocupa una probeta Pirex con capacidad de 10 ml. Para obtener el valor de la D.A., se obtienen los valores de pesos señalados en la siguiente fórmula, en la cual se sustituyen:

$$\frac{\text{peso de la probeta con suelo} - \text{peso de la probeta}}{\text{capacidad de la probeta}} = \text{D.A.}$$

d) Densidad real por el método del picnómetro (Blake, 1965). Se conoce el volumen de un recipiente (matraz aforado de 50 ml), se llena de agua destilada hervida y fría, que ayuda a calcular el volumen ocupado por las partículas del suelo, así los datos que se obtienen son los siguientes:

Pm= peso del matraz

Pm + S = peso del matraz con suelo

Pm + S + a = peso del matraz con suelo + agua destilada
hasta su aforo.

Pm + a = peso del matraz con agua destilada hasta su aforo.

Se elimina el peso del matraz y se efectúa la siguiente ecuación:

$$Dr = \frac{\text{peso del suelo}}{\text{peso del agua desplazada por el suelo / dens. del agua}}$$

e) Porosidad (Santelises, 1988). Es un dato complementario que se toma como parámetro de la densidad aparente y real; se obtiene por medio de la siguiente ecuación:

$$\% Pt = 1 - \frac{Da}{Dr} \times 100$$

f) Textura de suelo por el método del hidrómetro de Bouyoucos (ISSS, 1929). Mediante aplicación de agua oxigenada

al 8% se elimina la materia orgánica; se dispersa la muestra con hexametafosfato de sodio ajustado a 36, y con la agitadora eléctrica obtenemos la separación individual de las partículas, que son depositadas en una probeta de 1000 ml. La densidad de la suspensión del suelo se tiene en la muestra homogénea, al agitarla previamente con un agitador mecánico, y tomando las lecturas del hidrómetro a los 40 segundos y a las 2 horas. La temperatura se registra con un termómetro (Taylor $-35^{\circ} + 50^{\circ} \text{C}$); y para la densidad se utiliza el hidrómetro de Bouyoucos (ASTM-152 H G/L A 20 C, Robsan). Teniendo los datos necesarios, éstos son sustituidos en la ecuación para obtener el porcentaje relativo de cada partícula.

$$\% \text{ arena} = 100 - \frac{\text{1a. lect. corregida}}{\text{peso de la muestra}} \times 100$$

$$\% \text{ arcilla} = \frac{\text{2a. lect. corregida}}{\text{peso de la muestra}} \times 100$$

$$\% \text{ limo} = 100 - (\text{arena} + \text{arcilla})$$

Para corregir las lecturas se utiliza una tabla de correlación, la cual indica el valor que se debe de sumar o

restar a la lectura del hidrómetro, dependiendo las variaciones de temperatura. Al obtener los tres porcentajes de la muestra, se interrelacionan y se obtiene la clasificación textural en el triángulo de texturas.

2) Determinación de las propiedades químicas del suelo:

a) pH con agua destilada y cloruro de calcio 0.01 M (Goijberg y Aguilar, 1987), en relación 1:2.5 y se utiliza un potenciómetro con electrodo de vidrio y calomel saturado (Sargent-Welch modelo PBL), calibrados previamente con soluciones reguladoras de pH 4 y 7 . Las condiciones de agitación (varilla de vidrio) y reposo, así como temperatura (termómetro Taylor con 50 ° C) deben ser lo más semejantes posibles, para tener condiciones homogéneas. En el caso del CaCl el ión calcio provoca la floculación del suelo. Y desplaza los iones hidrógeno de los sitios de intercambio, teniendo valores más bajos que los obtenidos con el agua.

b) Materia orgánica por la técnica de Walkley y Black (1947). En la muestra de suelo (0.1 g) se le agrega dicromato de potasio 1.0 N y ácido sulfúrico concentrado (98%), provocando una reacción exotérmica que permite la oxidación completa de la M.O. con el ácido crómico formado. El ácido crómico que no se

utilizó en la oxidación de la M.O. se mide por titulación con sulfato ferroso (1.0 N) utilizando el indicador de bariosulfonato de difenilamina. Para los calculos se aplica la siguiente ecuación:

$$\% \text{ M.O.} = \frac{6.7}{P} \left(1 - \frac{T}{S} \right)$$

P= peso de la muestra

T= ml. gastados de sol. ferrosa en cada muestra

S= ml. gastados de sol. ferrosa en el blanco

El 6.7 es una constante

c) Capacidad de intercambio catiónico, método para suelos ácidos de Gillman y Backer (1979). Se satura la superficie con acetato de amonio normal con pH 4.8, para los suelos que tienen valores de pH entre 4.5 y 6.5.; para los suelos neutros o ligeramente alcalinos, se utiliza la solución del acetato con un pH de 7. Se filtra la muestra con papel Whatman # 42, eliminando del filtro con alcohol etílico absoluto el exceso del acetato. En un matraz Kjeldahl con capacidad de 800 ml se lleva a cabo la destilacion con NaCl grado analítico y NaOH al 4% para la reacción; gránulos de zinc como catalizador, recibiendo el destilado en matraces Erlenmeyer de 500 ml con ácido bórico al 4%

y una mezcla de indicadores rojo de metilo azul de metileno; el amonio se titula con HCl 0.1 N. Los valores se sustituyen en la siguiente ecuación:

$$\text{C.I.C.} = \frac{\text{ml. de HCl gast.en la titul. x N del HCl x 100}}{\text{peso de la muestra}}$$

d) Fósforo disponible por el método de Bray 1 (Cajuste, 1987). Con la solución extractora de fluoruro de amonio 0.03 M en HCl 0.025 M, se extrae el fósforo de la muestra, el cual se cuantifica desarrollando una sal doble sulfúrico molíbdica (molibdato de amonio y ácido sulfúrico concentrado) que está reducida con cloruro estanoso formando un complejo de color azul, cuya intensidad fue determinada usando un fotocolorímetro (Spectronic 20 Bausch lomb) a 880 nm. Los valores se obtienen al interpolar los datos de las lecturas en una gráfica estandar preparada en igual forma que las muestras problema.

e) Nitrógeno por el método modificado de Kjeldahl (Bremner, 1965). Se oxida la materia orgánica con ácido sulfúrico concentrado en presencia de mezcla digestora que contiene sales catalizadoras (10 partes de sulfato de sodio y 1 parte de sulfato de cobre) en un matraz Kjeldahl. En la destilación el NaOH al 40% reacciona con lo digerido y se recibe el amonio en un matraz

Erlenmeyer de 500 ml que contiene ácido bórico al 4% con indicador rojo de metilo azul de metileno y es titulado con HCl 0.1 N. Para obtener los valores se ocupa la siguiente ecuación:

$$\% N = \frac{\text{gast. de HCl} \times N \text{ del HCl} \times 1.4}{\text{peso de la muestra}}$$

f) Los elementos Na, K, Ca y Mg intercambiables (Gillman y Bakker, 1979) con extractante acetato de amonio a pH 4.8 (cuando los valores de pH en el suelo son menores de 5.5) y 7 (con valores de pH de 5.5 a 7.5); fueron determinados por espectroscopia de absorción atómica (E.A.A.) PERKIN-ELMER Mod. 5000, con flama de aire-acetileno, y lámparas de catodo hueco para cada elemento. El filtrado obtenido en la determinación de C.I.C. se ocupa para hacer las diluciones necesarias para analizar los elementos mencionados.

En la determinación de Na se ocupa una solución de KCl en una concentración de 20,000 ppm para evitar interferencias; 2 estandars, uno de 1ppm y el otro 3 ppm; una longitud de onda de 589.0 nm. y slit de 0.7 nm.

En la determinación de K se ocupa NaCl en una concentración 20,000 ppm para evitar interferencias de ionización; 2 estandars uno de 2 ppm y el otro de 6 ppm; una longitud de onda de 766.0

nm. y slit de 2.0 nm.

Para los elementos Ca y Mg, se preparan estandars para ambos elementos, pero en el primero las concentraciones son de 5 y 15 ppm, y para el segundo 0.5 y 1.5 ppm. Se aplica una solución de lantano al 1% para evitar interferencias de compuestos refractarios, usando una longitud para Ca de 422.7 nm, slit 0.7 nm; y para Mg de 285.2 nm., slit de 0.7 nm. Los valores obtenidos se sustituyen en la siguiente ecuación :

lect. x dilución

$$\text{Meq/100g} = \frac{\text{lect. x dilución}}{\text{peso equivalente del elemento x 10}}$$

g) Cadmio, níquel, plomo, zinc, fierro, manganeso, aluminio, cromo y cobre en forma disponible se extraen usando una solución de D.T.P.A. (ácido dietilentriaminopentaacético) 0.005 M., cloruro de calcio 0.01 M y trietanolamina (T.E.A.) 0.1 M, en una relación 1:2 (Lindsay, 1969). Se filtra la suspensión a través de papel whatman # 42 y el extracto se analiza por E.A.A. usando las siguientes longitudes de onda: 279.5 nm, slit 0.2 nm.; Ni 232.0 nm, slit 0.2 nm.; Pb 283.3 nm, slit 0.7 nm.; Zn 213.9 nm, 0.7 nm.; Al 309.3 nm, slit 0.7 nm.; Cd 228.8 nm, slit 0.7 nm.; Co 240.7 nm, 0.2 nm.; Cr 357.9 nm, slit 0.7 nm. y Cu 324.8 nm, slit 0.7 nm. El cálculo se obtiene:

ppm del elemento en el suelo = 2 x concentración en el extracto

h) En la parte vegetal se determinan exclusivamente metales pesados Ca, Mg, K, Na, Cu, Zn, Fe, Mn, Pb y Al en forma total, por oxidación con ácido nítrico y perclórico (Risser y Baker, 1990), en una parrilla eléctrica con plato de teflón (SYBRON Mod. SP- 18425) a 120 ° C durante 40 min aproximadamente, en un matraz Erlenmeyer de 125 ml. Los residuos se filtran en papel Whatman # 42 y se llevan a un volumen conocido (50 ml), obteniendo los extractos que serán analizados por E.A.A. bajo las mismas condiciones de las muestras de suelos. Los valores se obtienen de la siguiente manera:

$$\text{ppm} = \frac{\text{lect. x sol. aforada x dil.}}{\text{peso de la muestra}}$$

Para determinar su grado de relación que existe entre los diferentes metales pesados y sus propiedades químicas, los datos obtenidos en las muestras de suelo, con profundidad de 0 a 15 cm, durante los cuatro muestreos del estudio, se les efectuó una prueba de correlación simple (prueba estadística de Pearson), y así determinar las asociaciones de algunos metales con respecto a

las condiciones físicas y químicas que presenta el área de estudio. El nivel de significancia utilizada fue de 95%.

RESULTADOS Y DISCUSION

En las propiedades físicas, se manifiestan las características propias de un suelo forestal. Para un suelo seco el color va de café grisáceo a café, en el caso del húmedo va de café grisáceo muy oscuro a negro, lo cual indica que la mayor parte de la materia orgánica se encuentra totalmente humificada. Bramao (1968), clasifica a estos suelos como Andosoles, los cuales son derivados de cenizas volcánicas, tienen una alta capacidad de retención de agua y nutrimentos, son susceptibles a la erosión y forman parte del grupo de suelos forestales húmedos ácidos no podzolizados.

La composición textural del suelo es franco (Cuadro 2), las partículas que lo constituyen tienen un porcentaje equilibrado de arena, arcilla y limo, dando un suelo homogéneo y ligeramente plástico; si está seco y se le comprime presenta una resistencia al manipuleo, y cuando está húmedo se maneja sin que se quiebre; la arcilla, en relación con el limo, tiene un comportamiento inverso ($r = -.73$, $P > 0.03$), es decir, si se incrementa cualquiera de estos disminuye el otro. La arcilla presenta una relación directa con el sodio ($r = .76$, $P > 0.02$), debido a que se incrementan las áreas de contacto porque las partículas son tan pequeñas que permiten una mayor adsorción del elemento; esto sin

embargo no ocurre con los coloides orgánicos, los cuales tienen preferencia por los metales pesados (Bidwell, 1979); mientras que, en el caso del Pb, Zn, Ni y Cu es inverso ($r = -.76$, $P > 0.02$), ya que al disminuir el porcentaje de la arcilla en el suelo, se incrementa la adsorción de estos (Cuadro 20 y 22) como cationes con la materia orgánica, que actúa como coloide orgánico.

Con referencia al peso del suelo, los valores para el caso de la densidad aparente son de 0.63 a 1.13 (Cuadro 3), lo cual manifiesta que dichos valores están dados por el contenido de materia orgánica, composición y cantidad mineral que contienen, y la no comparación del suelo; presenta una textura fina y se considera como una tierra de buena calidad arable. Con los valores de densidad relativa que son de 1.6 a 2.5 (Cuadro 3), se aumenta la susceptibilidad a la erosión, retención de nutrimentos y agua. La humedad del suelo obtenida en el campo es de 10% para la mínima precipitación y de un 64% en época de máxima precipitación (Cuadro 1) y los datos obtenidos en laboratorio oscilan de 19% a 62%; dichas cantidades de agua en el suelo se relacionan con los espacios porosos, que para esta zona, tal porcentaje es de 51% a 70%, es así como el agua retenida por el suelo forma fuerzas de adsorción de las partículas en la materia orgánica y los elementos inorgánicos, así las moléculas de agua se incrementan a las fuerzas cohesivas de otras moléculas de agua

adyacentes y forman películas de agua que se retienen fuertemente.

Respeto a las propiedades químicas, el pH se clasifica como moderadamente ácido, los valores obtenidos con agua en una relación 1:2.5 son de 5.0 a 6.5 y con CaCL 0.01 M van de 4.2 a 5.8 (Cuadros del 4 al 11), con una moderada deficiencia de bases. La acidez que presenta el suelo es común por la región en donde se encuentra, pues su humedad es suficiente para lixiviar las bases intercambiables en los niveles superficiales. Con relación a los cationes Mg y Ca, presentan una correlación positiva y significativa, es decir, si el pH se incrementa con valores hacia la neutralidad, las concentraciones de estos elementos también; mientras que, con la materia orgánica ocurre lo contrario, si el pH se va acidificando los valores de materia orgánica se incrementan, esto se debe a que cuando el pH tiene valores ácidos es por la presencia de la humedad en el suelo y la presencia de altos contenidos de los ácidos húmicos y fúlvicos. La lixiviación de Ca y Mg provoca en los suelos la presencia de aluminio intercambiable, lo cual puede originar la aluminización del suelo (McLean, 1976).

La materia orgánica entra en los rangos de media a alta dentro de la clasificación hecha por Aguilera (1989), esto se debe a que es un suelo que presenta una gran cantidad de hojas,

corteza de arboles y con la precipitación y actividad de los microorganismos se logra una desintegración y acumulación, por lo que los valores obtenidos van de 2.1% a 11.7% (Cuadro 6 y 9); característica fundamental para los suelos, ya que a partir de esta se forman los quelatos, ácidos fúlvicos, húmicos, huminas, aminoácidos, proteínas, azúcares, macro y micronutrientes, indispensables en el metabolismo de la vegetación; además, la materia orgánica actúa como regulador del pH, modifica la estructura superficial; en el caso de Ca, Mg y Na hay una relación directa ($r = .84$, $P > 0.00$), pues realizan el intercambio catiónico en sus áreas de contacto; mientras que, el Al y Cu no son adsorbidos por la materia orgánica.

Para la C.I.C, los valores varían de media a muy alta (15 a 76 meq/100 g de suelo), de acuerdo a la clasificación reportada por Aguilar (1984); esto influye en el almacenamiento o reserva nutricional abundante, la cantidad de cationes que se encuentran es alta (Cuadros 20 y 22); esta acumulación está dada por la materia orgánica y la arcilla, ambas cuentan con áreas intercambiables y de adsorción para ciertos elementos y bajo ciertas circunstancias; también se debe de tomar en cuenta que la precipitación se manifiesta durante todo el año en esta región, lo cual permite a los iones tener una mayor dilución en el suelo para su absorción, adsorción y formación de compuestos.

El nitrógeno es un elemento esencial para las plantas, y de acuerdo con la clasificación dada por Aguilar (1984), este tipo de suelo queda dentro de la clase alta. En la parte mas superficial (0-15 cm) se encuentran los valores mas elevados, con un promedio de 0.33% a 0.36% (Cuadro 20), pues es donde se encuentran los mas altos porcentajes de materia orgánica y tiene una buena relación C/N, ademas se manifiesta la mayor actividad microbiana, enzimática, residuos de plantas, ácidos orgánicos, la nitrificación, denitrificación, reducción de nitratos, aminoácidos y urea; también intervienen los factores como humedad, aereación, temperatura y el cambio de pH del suelo a lo largo del ciclo anual. Estos factores permiten la adsorción de los elementos, en forma de cationes, en la materia orgánica y arcillas en sus sitios intercambiables.

El fósforo, dentro de la clasificación dada para el método Bray 1, es bajo, ya que los valores encontrados son de 4 a 12 ppm (Cuadro 4 y 5). En los suelos forestales la actividad microbiana, la descomposición y mineralización, así como la temperatura, humedad y pH, provocan la baja adsorción del mismo. Los ácidos orgánicos de bajo peso molecular que sirven como quelatos activos, son capaces de formar complejos de coordinación con las sales de fosfato, como son las de Cu, Mn, Pb y Zn, dando como resultado la solubilización del fósforo. La arcilla en presencia de los enlaces químicos, hace que los iones fosfato estén

retenidos con la misma fuerza que los fosfatos de Al, aunque estos últimos tienen baja solubilidad y los iones PO³⁻ están ligados fuertemente a las arcillas, aunque su capacidad de absorción sea baja (Kabata, 1984).

El potasio intercambiable se presenta en el suelo con rangos de 0.01 a 0.83 meq/100 g, indicando que su nivel es normal, los contenidos mas altos se encuentran en diciembre (Cuadros 10 y 11), mientras que los mas bajos corresponden a agosto (Cuadros 8 y 9) debido a las lluvias registradas en ese mes provocan la lixiviación de los elementos. Para el caso de las plantas, los contenidos mas altos se tienen en el tallo, los cuales varían de 0.02% a 0.1% (Cuadro 16), en el mes de agosto; debido a que con anterioridad la planta ya lo había asimilado para sus funciones metabólicas; y las concentraciones mas bajas, se registran en febrero (Cuadro 12), esto se debe a que termina la temporada de lluvias, y sin embargo puede haber lixivitaciones que no permiten la acumulación del K y, por lo tanto, la asimilación en la planta se muestra baja. Los promedios para cada muestreo durante 1992, guardan el mismo comportamiento de adsorción durante el año ($r=0.72$, $P>0.04$) en el tallo con el Zn, Fe, Cu y Ca (Figura 13 y 14), debido a que las condiciones son óptimas para estos elementos que actúan como cationes, mientras que, en las hojas se relaciona con el Pb, Al y Cu; para los dos primeros el comportamiento de adsorción, que se da por las condiciones del

ambiente, ya que solo pueden ser retenidos por las cámaras subestomáticas que presentan las acículas, mientras que, con el Cu además de poseer la misma actividad catiónica pueden formar quelatos orgánicos que son asimilados por la planta.

Los contenidos de calcio intercambiable son de 5.7 a 76 meq/100 g de suelo, presentan los valores mas altos en el mes de febrero, debido a que en este mes se encuentra la mínima precipitación, el pH es menos ácido, la materia orgánica no esta en su máximo grado de descomposición y no hay lixiviación, permitiendo así una buena adsorción de bases intercambiables sobre la materia orgánica en la parte superficial. En el mes de junio comienzan a decrecer los contenidos de Ca $2+$ debido a que comienzan las lluvias y alteran los valores del pH que se vuelven mas ácidos, el porcentaje de humedad aumenta y la materia orgánica continua formando ácidos orgánicos. Para los dos últimos muestreos las características son mas evidentes, ya que se presentan las precipitaciones mas abundantes, por lo que los contenidos de Ca disminuyen. Para la parte vegetal los contenidos mas altos se encuentran en las hojas con valores promedio de 0.88% en febrero y 2.68% en el mes de diciembre (Cuadro 23); mientras que, en el tallo van de 0.71% a 2.4% (Cuadro 21), esto se debe a que en vez que la planta haya asimilado este elemento, se inmoviliza en la partes maduras; mientras que, en la parte foliar hay una gran actividad al formar tejidos y pared celular.

El sodio no es un elemento esencial, sin embargo en ocasiones, se encuentra en forma activa disponible en el suelo y plantas; en el muestreo de febrero se encuentran las concentraciones mas altas con contenidos de 0.07 a 0.15 meq/100g suelo (Cuadros 4 y 5), debido a que es la época de mínima precipitación; mientras que, en diciembre hay una estabilidad en el suelo con valores de 0.5 y 0.6 meq/100g suelo para ambas profundidades (Cuadros 10 y 11), por consiguiente, los contenidos mas bajos se dan en las máximas precipitaciones, es decir, en los meses de junio y agosto. En la parte vegetal se encuentra en forma constante en concentraciones de 0.01% y 0.02%; en tallo y hoja, estos valores son considerados como normales tomando como criterio los rangos reportados por P.F. Smith (citado por Bidwell, 1979).

El cobre manifiesta las concentraciones mas elevadas en el rango de de 0.3 a 2.3 ppm, durante el mes de febrero, mientras que, los mínimos se encuentran en el mes de diciembre, en particular en el sitio 7 (Figura 3), debido a que es la zona menos perturbada. En el sitio 3 se encuentran las concentraciones mas elevadas por una mayor perturbación. En el primer muestreo hay una relación del Cu con el P ya que se precipita con los iones fosfatos, y con el K ($r=0.77$, $P> 0.03$), esta relación se debe a la gran movilidad que presentan y por

ser su actividad iónica semejante. En el mes de agosto hay una correlación negativa del Cu con la materia orgánica y arcilla ($r=-0.73$, $P> 0.03$), ya que las altas precipitaciones provocan la lixiviación de los iones no móviles, por lo que no hay intercambio con ambas (Cuadro 22). Con el zinc hay una fuerte relación ($r= 0.88$, $P> 0.00$) debido a que las condiciones para ambos son las mismas, por lo que se observa un incremento simultáneo. En la parte vegetal los contenidos más altos los encontramos en febrero (Cuadro 1) en los tallos, específicamente en el sitio 4, esto se debe a características del lugar, como: el pH más bajo, la pendiente que presenta, así como la humedad (Cuadro 1), mientras que los mínimos se encuentran en las hojas, en el mes de diciembre. En junio se presentan en el tallo las concentraciones más homogéneas (Cuadro 14) pues es asimilado, ya que la humedad permite a la planta su disponibilidad y absorción, lo cual no sucede en diciembre, donde las características meteorológicas provocan la disminución del contenido (Cuadros 18 y 19). Los promedios por muestreo van de 0.4 a 8.3 ppm en el tallo (Cuadro 21) y de 0.2 a 6.3 ppm en las hojas (Cuadro 23). Las concentraciones son superiores a las registradas por González y Esquivel (1981) en el Desierto de los Leones, quienes reportan un promedio de 2.6 ppm y lo clasifican como normal. Si los valores para la especie superan los rangos tolerables comienzan a existir alteraciones en las plantas tales como la formación de complejos orgánicos que no permiten la

asimilación de otros nutrimentos esenciales para su metabolismo, interfiere en la fotosíntesis y reduce la fijación del nitrógeno, entre otras alteraciones (Kabata, 1984).

En el suelo los valores de Zn son de 0.4 a 14.6 ppm. , las concentraciones mas elevadas se observan en el muestreo de agosto (Cuadro 8), donde se presenta la máxima precipitación, que le permite su solubilidad y actividad iónica; mientras que, los mas bajos se presentan en diciembre, donde el contenido de humedad es escasa y, por lo tanto, su actividad se reduce. Tomando como referencia los datos obtenidos para el Desierto de los Leones, González y Esquivel (1981), encuentran concentraciones menores a las registradas en San Rafael, y tolerantes de 10.2 ppm en suelo. El sitio 7 con profundidad de 15-30 cm (Cuadro 5) tiene un valor de 14.6 ppm, lo cual probablemente se deba a que la M.O. y C.I.C. son altos, lo que permite una alta actividad iónica del elemento; ademas, se presenta una correlación positiva y significativa del Zn con el Pb, Na, Cu y Ni (Figura 4 y Cuadro 37), donde la competitividad de estos elementos en el suelo se debe a condiciones ácidas que les permiten su hidrólisis como lo menciona Elliot (1986). Con la arcilla tiene una correlación negativa ($r = -0.81$, $P > 0.01$) ya que la mayor parte del zinc no es adsorbida por esta. En las plantas los contenidos mas altos se presentan en junio (Cuadro 14). En el mes de febrero se encuentran los contenidos mas bajos (Cuadro 4) debido

a que el pH se incrementa hacia la neutralidad y el Zn disminuye su solubilidad y asimilación. Los valores promedio por muestreo son de 6.3 a 116.3 ppm mostrando valores superiores a los encontrados para las zonas agrícolas, en donde los rangos normales van de 1.2 a 73 ppm; como se han encontrado concentraciones de 22 a 33 ppm en semillas, de 12 a 47 ppm en gramíneas y de 24 a 45 ppm en tréboles (Kabata, 1984). Barrie et al (1987), encuentran contenidos en una zona rural de 36 ppm. Para las áreas forestales los contenidos se deben de considerar superiores ya que el pH es ácido y el elemento puede ser aprovechado por las plantas con mayor disponibilidad. Burton et al (1983), consideran para hojas de *Picea sitchensis* contenidos de 226 ppm; en las especies estudiadas (*Pinus ayacahuite* y *P. patula*), se tiene que conocer que tan resistentes son genotípicamente, para dar a conocer el grado de toxicidad que puede presentar este elemento; sin embargo, Davis R.D. (1978) menciona que para que el Zn sea considerado como fitotóxico debe de presentar contenidos superiores a 300 ppm.

Para el hierro los rangos obtenidos son de 13 a 67 ppm, siendo los valores mas altos en agosto durante la máxima precipitación (Cuadros 8 y 9), mismo que se puede asociar con otros elementos para formar complejos con materiales orgánicos, óxidos e hidróxidos (Hem, 1978) y ser retenido por el suelo y absorbido por las plantas; mientras que los contenidos mas bajos

se dan antes y después de dicha fecha (Cuadros 6 y 10), ya que la humedad es importante para su actividad iónica, y sin esta no se puede asimilar con la misma efectividad que las obtenidas en agosto. En los suelos ácidos es abundante y los rangos están dentro de los normales reportados por Kabata et al (30 a 550 ppm), no se puede considerar como tóxico; sin embargo, esto no significa que no compita con el P y K en el suelo y planta para su fijación, y que compita con ellos y les provoque su inhibición. En las plantas los rangos van de 15 a 985 ppm encontrando los más altos en los tallos (Cuadro 21); Terry (1979) menciona que los contenidos naturales en plantas van de 18 a 1000 ppm en suelos ácidos, ya que esta característica permite una mayor fijación para la planta sin provocar toxicidad, pues es un micronutriente necesario para los cloroplastos, mitocondrias, respiración y otras funciones múltiples del metabolismo.

El manganeso es uno de los elementos más abundantes, en febrero se encuentran los valores mas altos (Cuadro 4), mientras que en diciembre los más bajos (cuadro 10), siendo en forma general las concentraciones de 1.6 a 22.6 ppm para el suelo; Kabata et al (1984) menciona contenidos de 150 a 1500 ppm para las áreas forestales. Los encontrados aquí probablemente estén dados por las asociaciones que presenta con el fierro; sin embargo, si la presenta con el Pb, Zn y Ni, su comportamiento a lo largo del año es semejante debido a que los iones de estos

requieren las mismas condiciones para su asimilación o adsorción, principalmente cuando se encuentran en concentraciones altas. Los valores en las plantas son muy variados, y no se puede establecer un muestreo para asignar los contenidos máximos o mínimos, pero en general son de 10 a 150 ppm y los valores encontrados están dentro de los rangos normales, tomando como criterio a K.Labanauskas (1969), quien menciona rangos de 20 a 500 ppm para la vegetación agrícola, lo cual no se puede asignar a lo forestal, pues varía dependiendo del lugar de que se trate y no se tienen parámetros en los estudios realizados. En la Figura 16 se puede ver como el Pb tiene el mismo comportamiento a través de los muestreos con el Mn, debido a que las propiedades físicas, químicas y biológicas, sirven a ambos elementos en forma semejante.

El plomo en el mes de febrero presenta una correlación lineal negativa con la arcilla ($r = -0.86$, $P > 0.00$), ya que le impide tener una adsorción con esta y tener un mayor contacto con la materia orgánica y por lo tanto, la formación de compuestos metálico-orgánicos con los coloides; mientras que, con el Zn, Ni y Cu hay una correlación positiva ($r = 0.79$, $P > 0.02$), debido a que ambos tienen el mismo comportamiento de fijación con la materia orgánica y valencia catiónica. En el mes de junio, las condiciones de humedad le permiten al K ser absorbido y provoca que el Pb no sea fijado, debido a que hay una prioridad

catiónica por el K, manifestando en este muestreo las concentraciones mas bajas (Cuadro 6). En el mes de agosto es donde se presentan las concentraciones mas altas (Cuadro 8) con un promedio de 2.2 a 3.2 ppm en el suelo. La precipitación es abundante permitiendo al Pb unirse con el agua y formar hidroxilos. En diciembre se manifiesta nuevamente la relación directa con el Zn e inversa con el Ni ($r = -0.82$, $P > 0.01$), que es absorbido por la materia orgánica. En la parte vegetal en particular en los tallos, los rangos van en promedio de 26.3 a 38.1 ppm. Coutiño (1989), menciona valores de 3-90 ppm para tallos de *Pinus taeda*; Brian (1984), encuentra en hojas de vegetación de localidades que se encuentran a 22 Km de la ciudad de Birmingham, Inglaterra, valores de 20 ppm, lo cual es inferior a los encontrados en San Rafael, donde los contenidos van de 26.3 a 38.1 ppm en promedio (Cuadro 21). No se conocen rangos de toxicidad para el área forestal, pero este elemento no es esencial para las plantas y provoca la insolubilidad de los fosfatos y sulfatos en los tejidos, inhibe el transporte en las raíces de algunas enzimas y el crecimiento de las plantas (Jones, et al. 1973 ; Coutiño, 1989).

El aluminio en el primer muestreo, tiene un promedio de 162.8 ppm (Cuadro 20) presentando una correlación lineal negativa con la materia orgánica ($r = -0.84$, $P > 0.00$), pues no le permite su adsorción; en junio hay un incremento en las concentraciones

promedio llegando a 178.3 ppm, tiene una relación directa con el Pb ($r=0.7$, $P>0.05$), esto se debe a que la cantidad de agua que se encuentra en el suelo permite al plomo formar óxidos y al aluminio oxhidrilos . En agosto se encuentran las concentraciones mas altas (Cuadro 8), la precipitación provoca el cambio del pH permitiendo una mayor actividad catiónica por sustitución con otros elementos. Para el mes de diciembre la falta de humedad provoca una disminución en la actividad catiónica, además la concentración de Ca inhibe al aluminio, por lo tanto la mas baja del muestreo anual va de 53.0 a 155.6 ppm (Cuadro 10), además mantiene una relación con el Zn por medio de los óxidos que forma. Es considerado el Al como tóxico porque interfiere en la absorción de elementos esenciales como Fe y Ca. Los pinos guardan en los tallos una relación directa con el Mg en los cuatro muestreos (Figura 15), mientras que en la hojas se relaciona con el K, Pb y Cu; los contenidos encontrados para la parte vegetal es de 593.1 a 1245 ppm (Figura 16). Los valores registrados por Kabata et al (1984) son de 200 ppm, menciona que los rangos varían dependiendo de la especie, lugar, pH del suelo y otros factores fisiológicos, propios de la vegetación. El Al como otros metales pesados afectan la biota del suelo, alteran el mecanismo de descomposición de la capa de hojarasca y el ciclo de nutrimentos, ya que al contaminarse la materia orgánica se producen interferencias en el sistema enzimático de los microorganismos encargados de llevar a cabo su descomposición

(Ruhling, A. y Tyler G., 1973); en la parte vegetal al aumentar la edad de las hojas aumenta la concentración de los metales, esto se debe a que sus capas epidérmicas, especialmente en las cutículas, se vuelven permeables al agua y diversos materiales (Heichel y Hankin, 1976).

En febrero es donde se presentan las mayores concentraciones de níquel que van de 0.4 a 2.4 ppm (Cuadro 4) y tiene una correlación positiva y significativa con el Zn ($r=0.94$, $P>0.00$) para hacer traslocaciones, mientras que con el Mn forman óxidos que son aprovechables posteriormente por la planta. En junio y agosto el promedio es de 1.0 ppm (Cuadro 20) y presenta una correlación negativa con la arcilla ($r=-0.78$, $P>0.03$) debido a que el porcentaje de esta depende en la absorción del Ni, manifestando nuevamente un relación directa con el Zn. Sin embargo el Pb y Zn en diciembre mantienen una correlación negativa ($r=-0.76$, $P>0.03$), debido a que las condiciones meteorológicas alteran las propiedades químicas como el pH y C.I.C. permitiendo una mayor actividad a estos y disminuyendo la del Ni, que tiene concentraciones de 0.2 a 0.8 ppm (Cuadro 10), sin embargo se relaciona con el Al, ya que las condiciones son favorables para ambos, y se adhieren al limo, fosfatos y materia orgánica.

El cromo presenta en diciembre las concentraciones mas bajas

y en agosto las mas altas con promedios de 0.3 a 1.5 ppm (Cuadro 20), no se relaciona con ningún nutrimento, ni metal, debido a que sus condiciones iónicas son muy particulares; en los suelos ácidos solo puede ser fijado, o formar compuestos con valencia 6+, siendo uno de las elementos mas tóxicos para el suelo. Puede relacionarse con el Fe y Al trivalentes cuando el pH sea de 5.5 o más ácido, ya que se precipita y compite con otros elementos (Cary, et al., 1977) para ser adsorbidos por la arcilla o materia orgánica.

CONCLUSIONES

La arcilla se relaciona con el Pb, Zn, Ni, Cu y Na, ya que las condiciones físicas, químicas y biológicas son las necesarias para ser adsorbidos por esta.

La materia orgánica y la arcilla reducen la solubilidad del P y Cu en presencia de porcentajes mayores de 34% de humedad, debido principalmente a que comienzan a fijar los metales pesados que se encuentran solubles en la parte superficial del suelo.

El Ca, Mg y Na son fijados por la materia orgánica con mayor facilidad que los metales pesados, en cualquiera de las variaciones estudiadas en San Rafael, Méx.

El Zn, Pb, Ni y Cu presentan el mismo comportamiento bajo las mismas condiciones para su fijación en la arcilla o materia orgánica, siendo la adsorción de la siguiente manera $Zn > Pb > Ni > Cu$.

El Al en el tallo de P. ayacahuite y P. patula se encuentra en contenidos mas altos que los registrados, ya que mantiene una relación directa con el Mg.

El Cu, Pb y Al en las hojas se acumulan en altas concentraciones en la cutícula y células oclusivas, provocando probablemente problemas en la fijación de bióxido de carbono y respiración mitocondrial.

La humedad, el pH ácido y la perturbación humana y ganadera son factores que permiten a los metales pesados tener una fijación en contenidos que pueden rebasar los rangos óptimos y provocar toxicidad como ocurre en este estudio con el Zn, Al y Pb.

BIBLIOGRAFIA

- Aguilar, S.A.; J.D. Etchevers B y J.Z. Castellanos R. 1987. Análisis químicos para evaluar la fertilidad del suelo. Sociedad Mexicana de la Ciencia del suelo. Universidad Autónoma de Chapingo, México. 217 p.
- Aguilar, S. A. 1988. Manual métodos de análisis de suelos Soc. Mex. de la Ciencia del Suelo A.C. U.A.Ch.
- Aguilera, H.N. 1989. Tratado de Edafología de México tomo I. Publicaciones Ciudad Universitaria, Fac. de Ciencias, UNAM. 222 p.
- Albert, A.L y A.M. García. 1990. Contaminación y Ecosistemas En: Toxicología Ambiental. Edit. Limusa. México. pp. 7- 15.
- Badillo, German J.F. 1990. Metales: Plomo. En: Toxicología Ambiental. Edit. Limusa, México. pp. 101-121.
- Baker, D.E. and M.C. Amacher. 1982. Nickel, copper, zinc and cadmium. In: Methods of soil analysis, Part 2, Agronomy. 9. Am. Soc. of Agron., Inc. Madison, Wis. U.S.A. pp. 323-336.
- Barcelo, J. y Ch. Poschenrieder. Estres vegetal inducido por metales pesados. Investigación y Ciencia. Barcelona, España. 3 (7): 54-63. 1989.
- Barrie, L.A.; S.E. Lindberg; W.H. Chan; H.B. Ross; R. Arimoto and T.M. Church. On the concentration of trace metals in precipitation. Atmospheric Enviroment. 21(5):1133-1135. 1987.
- Bartlett, R.J. and B. James 1979. Behavior of chromium in soil In: trace elements in soil and plants. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA. pp. 193-195 .

- Black, C.A.(Ed.). 1965. Methods of soil analysis, Part 2. Agronomy 9. Am. Soc. of Agron., Inc.,Madison, Wis. 1432 p.
- Bidwell, R.G.S. 1979. Fisiología Vegetal. AGT Editor, México. 784 p.
- Bolt, G.H. and M.G.M. Bruggenwert. 1978. Soil chemistry A. Basic elements. Elsevier Scientific Publishing Company. New York. USA. pp. 192-237
- Brian, E.D. and N.J. Houghton. Distance-Decline patterns in Heavy metal contamination of soils and plants in Birmingham, England. Urban Ecology. 8: 285-294. 1984.
- Broyer, T.J.C. and R. Paull . Some aspects of lead in plant nutrition. Plant soil 36: 301-313. 1972.
- Browning, B.L. 1969. Analysis of paper. Marcel Dekker, New York. USA. 342 p.
- Burton, K.W. and A. Roig. The influence of heavy metals upon the growth of sitka- spruce in South Wales forest. Plant and Soil. 73: 327-336. 1983.
- Cajuste, L. J. 1987. El fósforo aprovechable en los suelos. En: Aguilar et al (ed). Análisis químico para evaluar la fertilidad de los suelos. Sociedad Mexicana de la Ciencia del suelo. pp. 156-157.
- Cajuste, L. J.; R.G. Carrillo ; E.G. Cota and R.J. Laird. The distribution of metales from wastewater in the mexican valley of Mezquital. Water, Air and Soil Pollution 57-58: 763-771. 1991.
- Cary, E.E.; W.H., Allaway and O.E. Olson. 1977. Control of chromium concentrations in food plants. In: trace elements in soil and plants. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA. pp. 195.
- Cole, H.Jr.; C.S. Oliver and E.L. Bergman. Vegetation Damage. Center for Air Environment Studies The Pennsylvania, USA. VI 29-33. 1969.

- Colli, M.J. 1990. Remoción de metales pesados y otros compuestos en un tipo de suelo del Distrito de riego 03, Hgo. México. Primer Simposio Nacional Degradación del suelo. Instituto de Geología, UNAM. México. pp.50-51
- Coutiño A. M. 1989. Acumulación y traslocación de plomo en vegetales, en una zona urbana del D.F. Tesis de Maestría en Ciencias. Facultad de Ciencias, U.N.A.M. México, 237 p.
- Chapman, H.D. 1968. Micronutrients- The fertilizer shoe-nails National Fertilizer S. Association. Supplement 68-1 august . 495 p.
- Charles, K. L. Manganese. In: Micronutrients- The Fertilizer shoe- Nails. N.F.S.A. 68 (1): 264 -280.1968.
- Cheshire, M.V.; M. L. Berrow ; B. Goodman and M.C. Mundie.1977. Metal distribution and nature of some Cu, Mn and V complejes in humic and fulvic acid fractions of soil organic matter. In:trace elements in soil and plants. CRC press, Boca Raton, Florida, USA.pp. 222-223.
- Davis, R.D.; P.H.T., Beckett and E. Wollan. 1978. Critical levels of twenty potentially toxic elements in young spring barley. In: trace elements in soil and plants. CRC press, Boca Raton, Florida, USA. pp. 104.
- Elias, M.R.L. y M.V. Martínez. 1991. Suelos contaminados por hidrocarburos. En: Causas y consecuencias de la contaminación el suelo. Mesa Redonda, noviembre de 1990. Universidad Autónoma de Chapingo, México. pp. 46-53.
- Elliott, H.A.; M.R. Liberati and C.P. Huang. Competitive adsorption of heavy metals by soils. J. Environ. Qual. 15 (3): 214-219. 1976.

- Ellis, F. W. 1968. Iron. In: Micronutrients. Department of Soils and Plant Nutrition, University of California. USA. pp. 203-209.
- Falcón, Y.; L. Nuno y M.L. Sánchez. Metales Pesados en PM-10 colectadas en el NE, NO, SE, SO y Centro de la ZMCM. VIII Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, A.C. Cocoyoc, México Sep. de 1992.
- Fiskell, J. G. A. 1965. Copper. In: C.A. Black et al . Methods of soil analysis, Part 2. Agronomy 9: Am. Soc. of Agron., Inc. Madison, Wisconsin , U.S.A. pp. 1078-1089.
- Flores, D.L.; S.G. Hernández ; B.M. Mejía; M.R. Alcala y B.S. Sánchez.1990. Algunos metales pesados en suelos regados con aguas residuales. Primer Simposio Nacional Degradación del suelo. Instituto de Geología, UNAM. México. pp. 40-41.
- Frank, G. V. and L.C. Boawn. 1964. Zinc. In: Methods of soil analysis, Part 2. Agronomy 9. Am. Soc. of Agron., Inc., Madison, Wis., USA. pp. 1090-1101.
- García, E. 1987. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen 4a. Edición. Offset Larios, México. 220 p.
- Godzik, S.; T. Florkowski; S. Piorek and M. Sassen . An attempt to determine the tissue contamination of *Quercus rubor* L. and *Pinus silvestris* L. foliage by particulates from zinc and lead smelters. Environ. Pollut. 18: 97-106. 1979.
- González, P.A. y H.B. Esquivel. Cuantificación de metales pesados en suelos y plantas del D.F. Rev. Soc. Quím. Méx. 25 (4):483- 487. 1981.
- Haan de F.A.M. and P. Zuerman J.1978. Soil Chemistry Abstract Basic elements. Elsevier Scientific Publishing Company. New York, USA. pp. 192-237.
- Heichel, G. and L. Hankin. Roadside coniferous windbreaks

as sinks for vehicular lead emissions. J. Air Poll. Control Assoc. 26: 767-770. 1976.

Hem, J.D. 1978. Redox processes at surface of manganese oxide and their effects on aqueous metals ions. In: Trace elements in soil and plants. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA. pp. 229.

Hernández, S.G.; V.M., Maples; S.D., Hernández; M.G., Solorio y L.G., Villarreal. 1990. Tendencias en la acumulación de metales pesados en los suelos del Distrito de desarrollo rural 063, Edo. de Hidalgo, por efecto del riego con aguas negras. Primer Simposio Nacional Degradación del suelo. Instituto de Geología, UNAM. México. pp. 46- 47.

Huang, P.M. 1976. Retention of arsenic by hydroxy-aluminum on surface of micaceous mineral colloids. In: Trace elements in soil and plants. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA. pp. 134.

John, M.K. 1972. Cadmium adsorption maxima of soil as measured by the Langmuir Isotherm. In: trace elements in soil and plants. CRC press, Boca Raton, Florida. pp. 110-111.

Jones, L.H.P.; S.C., Jarvis and D.W. Cowling. 1973. Lead uptake from soils by perennial ryegrass and relation to the supply of an essential element. In: trace elements in soil and plants. CRC Press, Boca Raton, Florida. USA. pp. 155.

Kitagishi, K. and I., Yamane. 1981. Heavy Metal Pollution in soil of Japan. In: trace elements in soil and plants. CRC Press, Boca Raton, Florida. pp. 78.

Kabata, P.A. and H. Pendias. 1984. Trace elements in soil and plants. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA. 315 p.

Khan, D. and Frankland, B. Effect of cadmium and lead on radish plants with, particular reference to movement of metals through soil profile and plant. Plant Soil 70: 335-345. 1983.

- Lindsay, W.L and W.A. Norvell. Development of a DTPA nutrient soil test. Agron. Abstr. 84:55-63. 1969.
- Loneragan, J.T. 1984. The availability and absorption of trace elements in soil-plants systems and their relation to movement and concentration of trace elements in plants. In: trace elements in soil and plants. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA. pp. 82-83.
- Martínez, M. 1954. Las pinaceas mexicanas. Secretaría de agricultura y ganadería, subsecretaría de recursos forestales y de caza. México. 362 p.
- Olson, R.V. and E. Jr. Roscoe. 1972. Iron. In: Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties. Second Edition. Madison, Wisconsin, USA. pp. 301-303.
- Page, A. L. 1982. Methods of soil analysis, Part 2, Second edition. Agronomy 9. Am. Soc. of Agron., Inc. Madison, Wis, USA. 1435 p.
- Portilla Q. M., L.M., Navarrete y T.L., Martínez 1979. Contaminación por metales pesados. In: Memorias del Simposium sobre problemas ambientales en México. I.P.N. México. 47 p.
- Risser, J.A. and D.E. Baker. 1990. Testing soils for toxic metals In: Soil Testing and Plant Analysis. 3rd Edition. SSSA, Book Serie 3. Madison, Wisconsin, USA. pp. 275-298.
- Ruhling, A. and G. Tyler . Heavy metal deposition in Scandinavia. Water, Air, Soil, Pollut. 2: 445-455. 1973.
- Ruíz, F. J. F. 1991. Causas y consecuencias de la contaminación del suelo, Mesa redonda, noviembre de 1990. U. A. Ch. Chapingo, México. 63 p.
- Sadovnikova, L.K. and N.G. Zyrin. Indices of soil Pollution by heavy metals and nonmetals used for chemical soil

monitoring. Pochvovedeniye 10: 84-89. 1985.

Santillan, M.J. and K.J. Jurino. The chemistry of lead and cadmium in soil. Soil Phase formation Proc. Soil. Sci. Am. 39: 851-856. 1975.

Sarkunan, V.; A.K. Misra and P.K. Nayar. Interaction of zinc copper and nickel in soil on yield and metal content in rice. J. Environ. Sci. Health, 24 (5): 459-466. 1989.

Schirado, T.I.; I. Vergara; E.B., Schalscha and P.F. Pratt. Evidence for Movement of Heavy Metals in a Soil Irrigated with Untreated Wastewater. J. Environ. Qual. 15 (1): 9-12. 1986.

Shukla, U.C.; S.B., Mittal and R.K., Gupta. 1980. Zinc adsorption in some soils as effected by exchangeable cations. In: trace elements in soil and plants. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA. pp. 104.

Smith, W.H. 1981. Air Pollution and Forests. Springer-Verlag, USA. 381 p.

Smith, W. Lead and mercury burden of urban woody plants. Science 176: 1237-1238. 1972.

Turunen, M. and S. Huttunen. A review of the Response of Epicuticular Wax of conifer needles to air pollution. J. Environ. Qual. 19: 35-45. 1990.

Terry, N. 1979. Physiology of trace elements toxicity and its relation to iron stress. In: trace elements in soil and plants. CRC Press. Boca Raton, Florida, USA. pp. 233-238.

Tyler, G. 1978. Leaching rates of heavy metals ions in forest soils In: trace elements in soil and plants. CRC Press. Boca Raton, Florida, USA. pp. 158 .

Van Goor, B.J. and D. Wiersma. 1976. Chemical form of manganese and zinc in phloem exudates In: trace elements in soil and plants. CRC Press, Boca

Raton, Florida, USA. pp. 222-229.

Weinberg, E. 1977. Microorganisms and minerals. In: trace elements in soil and plants. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA. pp. 36-38.

Welch, R.M. 1979. The biological significance of nickel In: trace elements in soil and plants. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA. pp. 251-252.

Woolhouse, H.W. and S. Walker. 1981. The physiological basis of cooper toxicity an copper tolerance in higher plant In: trace elements in soil and plants. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA. pp 84.

Zimdahl, R. and J. Hasset. 1980. Lead in soil. In: lead in the enviroment. Bogggess, W. and Wixson, B. Washington, D.C. USA. pp. 93-95 .

CUADRO 1. DATOS OBTENIDOS EN EL CAMPO, DURANTE LOS CUATRO MUESTREOS, REALIZADOS EN LOS 8 SITIOS DE SUELO DE SAN RAFAEL.

SITIO	PENDIENTE	FEBRERO DE 1992			JUNIO DE 1992		
		T°C	pH	%HUM	T°C	pH	%HUM
1	45	5.0	5.9	50	7.8	5.2	60
2	25	3.4	5.8	40	8.9	5.9	40
3	0	5.6	6.8	10	8.9	6.8	20
4	70	4.5	5.6	50	6.7	5.0	60
5	80	4.5	5.7	52	7.8	5.3	58
6	30	3.4	6.2	30	8.9	5.2	58
7	40	4.5	5.8	40	7.8	5.6	50
8	10	3.9	5.9	40	11.1	5.5	51

AGOSTO DE 1992

DICIEMBRE DE 1992

T°C	pH	%HUM	T°C	pH	%HUM
8.9	6.0	58	4.5	5.8	50
10.0	6.0	52	3.9	5.8	50
8.4	5.8	58	3.9	6.6	20
6.7	5.2	60	4.5	5.2	59
6.7	5.4	58	3.9	6.4	40
10.0	6.0	58	3.6	6.4	30
8.9	5.6	58	5.8	6.6	20
10.0	5.5	64	4.2	6.0	40

CUADRO 2. COLOR Y TEXTURA QUE PRESENTAN LAS MUESTRAS DE SUELO EN LOS 8 SITIOS, DURANTE LOS CUATRO MUESTREOS REALIZADOS EN 1992.

SITIO	1		2		2	
PROFUNDIDAD	0-15 CM	15-30 CM	0-15 CM	15-30 CM	0-15 CM	15-30 CM
C SECO	10YR 5/2	10YR 5/3	10YR 5/4	10YR 5/4	10YR 5/4	10YR 4/2
O	CAFE GRISACEO	CAFE	CAFE PARDO	CAFE PARDO	CAFE PARDO	C.G.OBSC.
L HUMEDO	10YR 3/2	10YR 3/2	10YR 2/2	10YR 2/2	10YR 2/2	10YR 3/1
O	CAFE GRISACEO	CAFE GRISACEO	CAFE	CAFE	CAFE	GRIS MUY
R	MUY OBSCURO	MUY OBSCURO	MUY OBSCURO	MUY OBSCURO	MUY OBSCURO	OBSCURO
T % ARENA	53.8	49.8	49.8	49.8	49.8	45.8
E % LIMO	16.2	18.9	22.8	22.8	22.8	22.8
X % ARCILLA	30.0	31.3	27.4	27.4	27.4	31.4
T CLASIF.						
TEXTURAL	FRANCO	FRANCO	FRANCO	FRANCO	FRANCO	FRANCO
	3	3	4	4	5	5
0-15 CM	15-30 CM	0-15 CM	15-30 CM	0-15 CM	15-30 CM	15-30 CM
10YR 5/2	10YR 5/2	10YR 5/3	10YR 5/3	10YR 5/3	10YR 5/3	10YR 5/3
C.GRISACEO	C.GRISACEO	CAFE	CAFE	CAFE	CAFE	CAFE
10YR 3/1	10YR 3/2	10YR 3/2	10YR 3/2	10YR 2/1	10YR 3/2	10YR 3/2
GRIS MUY	CAFE G.MUY	C.GRISACEO	C.G.MUY	NEGRO	CAFE G.	CAFE G.
OBSCURO	OBSCURO	MUY OBSCURO	OBSCURO		MUY OBSC.	
	56.7	38.7	42.7	42.5	44.5	40.5
	29.6	39.7	37.7	21.5	25.5	23.5
	13.7	21.6	19.6	36.0	30.0	36.0
		MIGAJON				
FRANCO	ARENOSO	FRANCO	FRANCO	FRANCO	FRANCO	FRANCO
0-15 CM	15-30 CM	0-15 CM	15-30 CM	0-15 CM	15-30 CM	15-30 CM
6	6	7	7	8	8	8
10YR 4/2	10YR 4/2	10YR 4/2	10YR 4/2	10YR 4/2	10YR 4/2	10YR 4/2
CAFE GRISACEO	OBSCURO	CAFE GRISACEO	OBSCURO	CAFE GRISACEO	OBSCURO	OBSCURO
10YR 2/1	10YR 3/2	10YR 2/1	10YR 2/1	10YR 2/1	10YR 2/1	10YR 2/1
NEGRO	CAFE GRISACEO	NEGRO	NEGRO	NEGRO	NEGRO	NEGRO
	MUY OBSCURO					
	44.4	50.4	44.4	46.4	44.4	46.4
	35.3	35.3	37.3	37.3	33.3	35.3
	20.3	14.3	18.3	16.6	22.3	18.3
FRANCO	FRANCO	FRANCO	FRANCO	FRANCO	FRANCO	FRANCO

CUADRO 3. PROPIEDADES FISICAS DEL SUELO, EN LOS 8 SITIOS, EN LAS PROFUNDIDADES 0-15 Y 15-30 CM, DURANTE LOS 4 MUESTREOS DE 1992.

FEBRERO				
SITIOS	D.R.	D.A.	%POROSIDAD	%HUMEDAD
1	1.85	0.81	56.21	31.90
	2.38	0.84	64.70	32.90
2	2.27	0.85	62.55	36.30
	2.50	0.89	64.40	32.90
3	2.50	1.04	58.40	21.90
	2.08	1.02	50.96	19.00
4	1.92	0.78	59.37	37.50
	2.17	0.83	61.76	39.30
5	2.50	0.76	69.60	34.90
	2.08	0.83	60.00	33.30
6	2.17	0.80	63.13	21.60
	1.92	0.78	59.37	31.60
7	2.00	0.72	64.00	41.90
	2.08	0.74	64.42	38.90
8	2.08	0.82	60.57	26.60
	2.17	0.86	60.36	29.20

JUNIO			
D.R.	D.A.	%POROSIDAD	%HUMEDAD
2.17	0.72	66.82	33.8
2.08	0.75	63.94	30.2
2.08	0.80	61.33	46.7
2.27	0.84	62.99	44.8
2.50	0.98	60.80	44.5
2.50	1.13	54.80	43.3
2.17	0.69	68.20	25.8
2.50	0.80	68.00	24.0
1.92	0.74	61.45	62.0
2.21	0.80	64.75	52.3
2.38	0.73	69.32	51.3
2.17	0.80	63.13	46.0
2.00	0.70	65.00	49.0
1.92	0.73	61.97	43.5
2.00	0.76	62.00	56.1
2.00	0.88	56.00	48.4

AGOSTO

D.R.	D.A.	%POROSIDAD	%HUMEDAD
2.17	0.79	63.59	41.3
1.85	0.82	55.67	36.5
2.08	0.83	60.00	40.2
2.17	0.85	60.82	39.5
2.38	0.83	65.12	34.1
2.00	0.87	56.50	25.0
1.92	0.63	67.18	56.6
2.00	0.74	63.00	45.1
2.08	0.66	68.26	47.6
1.92	0.69	64.06	48.0
2.08	0.78	62.50	-
2.27	0.85	62.55	47.6
2.17	0.75	65.43	47.0
2.27	0.79	65.19	42.4
2.50	0.77	69.02	40.8
2.17	0.89	58.98	34.0

DICIEMBRE

D.R.	D.A.	%POROSIDAD	%HUMEDAD
1.66	0.80	51.80	35.6
2.17	0.81	62.67	33.1
2.00	0.77	61.50	41.1
2.00	0.80	60.00	40.6
2.27	0.89	60.79	29.9
-	-	-	-
2.00	0.73	63.50	46.5
1.85	0.71	61.62	48.8
2.17	0.78	64.05	54.1
2.00	0.72	64.00	36.8
1.92	0.83	56.77	40.3
2.00	0.72	65.00	37.5
1.66	0.69	58.43	51.4
2.27	0.77	66.00	35.4
2.27	0.77	66.00	48.2
1.85	0.82	57.67	29.5

CUADRO 4. PROPIEDADES QUIMICAS DE LOS DIFERENTES SITIOS, REALIZADO EN FEBRERO DE 1992, EN SUELO CON PROFUNDIDAD DE 0-15 CM.

	pH H2O	pH CaCl	M.O. %	N.T. %	C.I.C.	Ca Meq/100g de suelo	Mg	Na	K
1	5.9	5.1	6.0	0.31	38.0	5.9	6.1	0.15	0.83
s 2	5.8	5.1	7.0	0.29	34.0	12.8	5.7	0.10	0.38
i 3	5.8	4.9	3.8	0.20	18.0	7.5	5.2	0.14	0.60
t 4	6.1	5.5	7.8	0.36	21.0	13.2	5.7	0.08	0.69
i 5	6.1	5.4	7.2	0.40	63.0	12.9	6.3	0.09	0.13
o 6	6.4	5.8	8.4	0.42	71.0	13.3	7.4	0.09	0.10
s 7	5.9	5.2	9.2	0.51	76.0	15.0	6.0	0.14	0.20
8	5.8	5.1	6.7	0.31	57.0	10.7	5.9	0.07	0.60

P	Cu	Zn	Fe	Mn	Pb	Al	Ni	Cd	Cr	Co
p . p . m .										
9.0	1.8	2.0	34.6	17.4	1.4	123.6	0.4	-	1.0	-
12.0	1.9	5.6	62.6	22.6	2.6	172.2	1.0	-	1.6	-
6.0	0.8	5.8	54.6	19.4	4.0	412.8	0.8	-	1.2	-
10.0	2.3	2.8	62.6	18.4	2.4	78.8	0.8	-	0.6	-
10.0	1.6	1.2	60.8	16.6	0.6	170.2	0.4	-	1.6	-
10.0	1.4	5.8	56.0	19.0	3.0	155.4	1.2	-	1.2	-
6.0	0.8	10.0	26.0	22.6	3.6	36.2	2.4	-	2.2	-
10.0	1.6	8.6	65.0	22.6	3.0	153.2	1.8	-	0.8	-

CUADRO 5. PROPIEDADES QUIMICAS DE LOS DIFERENTES SITIOS, REALIZADO EN FEBRERO DE 1992, EN SUELO CON PROFUNDIDAD DE 15-30 CM.

	pH H2O	pH CaCl	M.O. %	N.T. %	C.I.C.	Ca Meg/100g de suelo	Mg	Na	K
1	6.2	5.4	5.0	0.29	34.0	10.0	5.0	0.12	0.78
s 2	6.2	5.3	4.8	0.26	32.0	11.5	5.5	0.09	0.24
i 3	5.6	4.7	3.2	0.17	23.0	6.6	4.4	0.15	0.40
t 4	6.4	5.6	5.8	0.29	60.0	10.9	5.7	0.09	0.21
i 5	6.0	5.5	3.8	0.19	37.0	10.7	5.8	0.08	0.14
o 6	6.5	5.8	6.7	0.25	65.0	11.8	7.5	0.08	0.10
s 7	6.1	5.3	6.9	0.31	66.0	11.4	5.6	0.13	0.10
8	6.0	5.1	5.1	0.28	53.0	10.4	5.4	0.09	0.30

P	Cu	Zn	Fe	Mn	Pb	Al	Ni	Cd	Cr	Co
				p . p . m .						
9.0	1.6	0.8	34.2	14.2	1.4	106.6	0.2	-	1.0	-
8.0	1.6	3.8	45.0	20.0	1.0	175.4	0.6	-	1.2	-
5.0	1.1	3.8	38.0	14.0	2.2	441.2	0.6	-	1.2	-
8.0	1.9	1.2	61.8	10.4	0.8	25.4	0.4	-	0.6	-
4.0	1.4	0.8	58.4	9.6	0.4	36.0	0.4	-	1.4	-
7.0	1.4	3.6	53.2	11.4	1.0	155.0	1.0	-	1.0	-
5.0	1.3	14.6	61.2	8.4	1.2	236.6	1.0	-	1.4	-
8.0	1.1	4.8	54.8	12.8	1.2	241.8	1.0	-	0.6	-

CUADRO 6. PROPIEDADES QUIMICAS DE LOS DIFERENTES SITIOS, REALIZADO EN JUNIO DE 1992, EN SUELO CON PROFUNDIDAD DE 0-15 CM.

	pH H ₂ O	pH CaCl	M.O. %	N.T. %	C.I.C.	Ca Meq/100g de suelo	Mg	Na	K
1	5.6	5.1	10.0	0.40	57.0	16.4	7.4	0.05	0.16
s 2	5.5	4.9	5.8	0.30	60.0	12.3	6.1	0.04	0.22
i 3	5.6	4.8	3.4	0.20	44.0	5.7	4.3	0.05	0.30
t 4	5.8	5.3	6.9	0.34	65.0	19.1	8.5	0.04	0.23
i 5	6.0	5.5	6.3	0.32	62.0	20.8	8.6	0.07	0.11
o 6	6.2	5.8	8.3	0.41	52.0	27.0	11.5	0.06	0.08
s 7	5.6	5.2	11.7	0.56	56.0	15.8	6.2	0.05	0.40
8	5.5	5.2	6.2	0.31	48.0	28.6	9.6	0.05	0.10

P	Cu	Zn	Fe	Mn	Pb	Al	Ni	Cd	Cr	Co
p . p . m .										
6.0	1.1	3.2	37.0	18.0	1.4	-	0.6	-	0.8	-
8.0	1.4	4.0	52.4	22.6	1.6	132.8	0.6	-	1.2	-
6.0	0.7	6.6	54.4	11.8	3.8	360.8	1.0	-	0.8	-
8.0	1.0	5.0	67.4	15.0	1.4	99.2	1.2	-	2.8	-
7.0	0.8	2.0	64.2	22.4	2.0	240.0	0.4	-	1.6	-
6.0	1.4	5.6	63.4	22.6	2.4	56.4	1.4	-	1.2	-
10.0	0.7	4.6	53.6	16.8	2.8	133.2	1.6	-	0.4	-
6.0	1.1	6.8	54.0	20.2	2.2	226.0	1.4	-	0.6	-

CUADRO 7. PROPIEDADES QUIMICAS DE LOS DIFERENTES SITIOS, REALIZADO EN JUNIO DE 1992, EN SUELO CON PROFUNDIDAD DE 15-30 CM.

	pH H2O	pH CaCl	M.O. %	N.T. %	C.I.C.	Ca Meq/100g de suelo	Mg	Na	K	
1	5.8	5.2	6.5	0.30	50.0	14.8	7.0	0.04	0.60	
s	2	5.8	5.2	3.4	0.20	35.0	10.2	5.5	0.04	0.30
i	3	5.9	4.9	3.5	0.17	36.0	3.2	4.6	0.05	0.20
t	4	6.2	5.5	4.7	0.26	55.0	18.5	7.4	0.04	0.20
i	5	6.1	5.6	3.8	0.17	57.0	20.6	7.5	0.05	0.11
o	6	6.4	5.8	5.5	0.90	45.0	20.9	11.0	0.05	0.20
s	7	5.6	5.2	5.9	0.29	52.0	10.5	5.1	0.05	0.20
8	5.6	5.2	3.5	0.19	34.0	11.4	6.0	0.05	0.60	

P	Cu	Zn	Fe	Mn	Pb	Al	Ni	Cd	Cr	Co
p . p . m .										
5.0	0.5	1.4	34.8	13.6	1.0	26.8	0.4	-	0.8	-
6.0	1.0	1.6	22.6	18.8	0.4	97.0	0.2	-	0.6	-
4.0	0.5	2.6	21.0	7.4	0.8	383.0	0.4	-	0.4	-
6.0	1.0	1.2	45.2	10.0	0.8	240.0	0.4	-	1.0	-
4.0	0.6	0.4	20.8	7.2	0.4	36.6	0.2	-	0.4	-
4.0	1.2	4.2	41.6	4.8	1.0	23.6	1.2	-	1.0	-
4.0	0.5	1.2	18.8	7.4	0.6	222.8	0.6	-	0.2	-
6.0	0.7	3.4	31.2	6.2	1.0	211.6	1.0	-	0.4	-

CUADRO 8. PROPIEDADES QUIMICAS DE LOS DIFERENTES SITIOS, REALIZADO EN AGOSTO DE 1992, EN SUELO CON PROFUNDIDAD DE 0-15 CM.

	pH H2O	pH CaCl	M.O. %	N.T. %	C.I.C.	Ca Meq /100g de suelo	Mg	Na	K
1	5.5	5.0	6.6	0.31	28.0	12.2	9.3	0.06	0.10
s 2	5.8	5.3	4.8	0.25	28.0	11.2	8.1	0.05	0.50
i 3	5.6	5.2	4.0	0.19	26.0	11.7	7.9	0.04	0.20
t 4	5.7	5.3	4.8	0.25	35.0	21.0	9.2	0.05	0.17
i 5	5.8	5.4	9.7	0.45	29.0	11.6	10.1	0.07	0.40
o 6	5.9	5.6	8.5	0.42	40.0	15.0	10.5	0.06	0.20
s 7	5.8	5.3	6.2	0.39	40.0	17.1	9.2	0.04	0.30
8	5.7	5.2	7.4	0.37	50.0	17.8	9.8	0.05	0.50

P	Cu	Zn	Fe	Mn	Pb	Al	Ni	Cd	Cr	Co
p . p . m .										
6.0	0.8	1.6	37.0	16.4	2.6	161.6	0.6	-	1.0	-
8.0	0.9	2.0	44.6	7.0	2.0	200.8	0.4	-	0.8	-
5.0	1.5	8.0	57.6	14.2	6.4	199.6	1.4	-	1.2	-
8.0	1.0	4.2	50.6	17.6	7.0	147.6	1.2	-	1.0	-
10.0	0.5	1.4	57.8	14.4	2.8	148.2	0.8	-	0.8	-
7.0	0.9	5.0	46.6	7.2	1.4	197.6	1.0	-	0.4	-
8.0	0.7	3.8	52.0	11.8	2.0	254.4	1.0	-	0.6	-
6.0	0.9	7.4	53.2	7.0	3.2	290.2	1.2	-	6.2	-

CUADRO 9. PROPIEDADES QUIMICAS DE LOS DIFERENTES SITIOS, REALIZADO EN AGOSTO DE 1992, EN SUELO CON PROFUNDIDAD DE 15-30 CM.

	pH H ₂ O	pH CaCl	M.O. %	N.T. %	C.I.C.	Ca Meq/100g de suelo	Mg	Na	K	
1	5.8	5.2	3.5	0.18	27.0	12.1	9.0	0.06	0.08	
s	2	5.8	5.2	4.5	0.22	28.0	9.6	6.0	0.04	0.05
i	3	5.7	5.3	4.0	0.19	29.0	11.4	6.1	0.05	0.20
t	4	5.9	5.5	2.1	0.10	26.0	13.3	7.7	0.05	0.12
i	5	5.9	5.6	6.7	0.34	31.0	18.1	9.2	0.05	0.05
o	6	6.0	5.6	4.5	0.28	36.0	14.7	10.4	0.06	0.10
s	7	5.9	5.3	3.8	0.20	41.0	17.8	8.2	0.04	0.20
8	5.7	5.1	2.4	0.13	35.0	6.2	6.7	0.05	0.50	

P	Cu	Zn	Fe	Mn	Pb	Al	Ni	Cd	Cr	Co
p . p . m .										
6.0	0.7	0.8	35.0	12.4	0.8	152.0	0.1	-	1.0	-
8.0	0.7	1.0	24.8	2.4	0.4	174.0	0.2	-	0.4	-
7.0	1.1	5.2	54.8	13.0	5.2	189.4	1.2	-	0.4	-
4.0	1.0	2.4	27.8	14.2	2.6	43.0	0.8	-	0.6	-
8.0	0.4	0.8	54.2	6.8	0.4	128.6	0.4	-	0.6	-
6.0	0.7	2.8	25.2	4.4	0.6	183.0	0.6	-	0.2	-
6.0	0.4	1.2	49.2	5.2	0.4	231.4	0.6	-	0.4	-
4.0	0.5	2.4	37.0	4.4	0.4	272.6	0.6	-	0.2	-

CUADRO 10. PROPIEDADES QUIMICAS DE LOS DIFERENTES SITIOS, REALIZADO EN DICIEMBRE DE 1992, EN SUELO CON PROFUNDIDAD DE 0-15 CM.

	pH H ₂ O	pH CaCl	M.O. %	N.T. %	C.I.C.	Ca Meq /100g de suelo	Mg	Na	K
1	5.5	4.9	8.8	0.35	46.9	11.0	8.7	0.05	0.6
s 2	5.2	4.3	7.2	0.36	48.9	11.5	7.8	0.06	0.4
i 3	5.0	4.2	9.1	0.43	31.6	8.2	5.2	0.05	0.2
t 4	5.7	5.3	5.0	0.24	51.0	13.3	8.6	0.06	0.2
i 5	5.4	4.6	8.5	0.34	48.9	11.7	6.8	0.06	0.1
o 6	5.6	5.4	5.9	0.28	47.9	12.5	9.1	0.06	0.2
s 7	5.4	4.9	8.8	0.37	47.9	10.2	6.0	0.05	0.6
8	5.4	5.0	4.7	0.29	42.8	11.3	8.2	0.05	0.2

P	Cu	Zn	Fe	Mn	Pb	Al	Ni	Cd	Cr	Co
p . p . m .										
8.0	0.5	2.0	49.8	6.4	1.4	150.0	0.8	-	0.2	-
8.0	0.8	1.8	40.4	4.8	4.8	155.6	0.6	-	0.4	-
5.0	1.4	7.0	42.0	3.8	5.6	104.4	0.4	-	0.4	-
7.0	0.6	0.6	46.2	2.6	5.6	53.0	0.2	-	0.4	-
6.0	0.5	1.4	36.0	2.0	2.4	80.6	0.6	-	0.2	-
8.0	0.7	2.6	29.4	2.0	0.6	133.8	0.6	-	0.2	-
8.0	0.4	1.0	37.6	1.6	0.6	153.2	0.8	-	-	-
6.0	0.5	1.6	33.0	4.0	1.2	145.2	0.8	-	0.2	-

CUADRO 11. PROPIEDADES QUIMICAS DE LOS DIFERENTES SITIOS, REALIZADO EN DICIEMBRE DE 1992, EN SUELO CON PROFUNDIDAD DE 15-30 CM.

	pH H2O	pH CaCl	M.O. %	N.T. %	C.I.C.	Ca Meq/100g de suelo	Mg	Na	K
1	5.5	4.8	5.6	0.29	43.8	7.7	8.2	0.05	0.5
s 2	5.8	5.1	4.3	0.19	38.7	9.9	6.8	0.05	0.4
i 4	5.9	5.3	10.0	0.48	53.0	18.2	9.0	0.06	0.2
t 5	5.5	5.1	5.9	0.28	46.9	11.2	5.8	0.05	0.8
i 6	6.1	5.6	4.6	0.23	44.8	11.3	9.0	0.05	0.1
o 7	5.9	5.2	6.6	0.31	48.9	10.1	5.5	0.05	0.5
s 8	5.8	5.1	4.7	0.25	40.8	14.6	8.1	0.05	0.8

P	Cu	Zn	Fe	Mn	Pb	Al	Ni	Cd	Cr	Co
p . p . m .										
5.0	0.5	0.8	44.0	3.6	0.6	119.8	0.6	-	0.2	-
6.0	0.6	0.6	27.4	2.0	0.4	52.4	0.2	-	0.4	-
6.0	1.1	4.0	45.2	4.0	0.4	36.4	1.0	-	0.4	-
6.0	0.4	0.4	32.6	2.0	0.2	37.8	0.2	-	0.2	-
6.0	0.5	2.0	13.6	1.6	0.2	56.4	0.6	-	0.2	-
8.0	0.3	0.6	35.4	1.6	0.2	137.8	0.6	-	-	-
6.0	0.4	2.0	29.4	1.8	0.2	125.8	0.6	-	0.2	-

CUADRO 12. PRIMER MUESTREO VEGETAL EN TALLOS, DE LOS DIFERENTES SITIOS, REALIZADO EN FEBRERO DE 1992.

	Ca	Mg %	K	Na	Cu	Zn	Fe p.p.m.	Mn	Pb	Al	Ni	Cd	Cr
1	0.37	0.15	0.04	0.02	5.5	35	15	85	5.0	1145	-	-	-
s2	0.71	0.17	0.04	0.02	7.0	50	50	50	4.5	985	-	-	-
i3	0.72	0.18	0.03	0.02	5.0	35	135	30	3.5	1750	-	-	-
t4	0.93	0.17	0.03	0.02	17.0	20	-	50	3.0	2090	-	-	-
i5	0.40	0.12	0.10	0.02	7.5	80	475	50	5.0	8240	-	-	-
o6	0.90	0.18	0.01	0.02	8.0	60	595	30	5.0	3235	-	-	-
s7	0.84	0.12	0.01	0.02	7.0	50	420	20	5.0	3250	-	-	-
8	0.86	0.18	0.05	0.02	5.0	50	155	95	4.0	1940	-	-	-

CUADRO 13. PRIMER MUESTREO VEGETAL EN HOJAS, DE LOS DIFERENTES SITIOS, REALIZADO EN FEBRERO DE 1992.

	Ca	Mg	K	Na	Cu	Zn	Fe	Mn	Pb	Al	Ni	Cd	Cr
	%												
	p.p.m.												
1	0.50	0.18	0.02	0.02	5.5	105	50	40	5.0	905	-	-	-
S2	0.82	0.13	0.02	0.01	4.5	175	35	25	5.0	605	-	-	-
I3	0.95	0.19	0.03	0.02	4.0	50	80	85	4.0	625	-	-	-
T4	1.24	0.11	-	0.02	3.0	90	290	35	5.0	710	-	-	-
I5	0.58	0.16	0.03	0.02	10.0	105	600	25	4.0	1760	-	-	-
06	0.95	0.17	0.02	0.02	6.5	125	390	15	4.5	880	-	-	-
S7	1.10	0.15	0.03	0.02	4.0	100	130	50	4.0	805	-	-	-
8	0.87	0.22	0.05	0.02	6.5	125	85	30	4.0	1610	-	-	-

CUADRO 14. SEGUNDO MUESTREO VEGETAL EN TALLOS, DE LOS DIFERENTES SITIOS, REALIZADO EN JUNIO DE 1992.

	Ca	Mg	K	Na	Cu	Zn	Fe	Mn	Pb	Al	Ni	Cd	Cr
	%												
	p.p.m.												
1	0.75	0.09	0.05	0.02	7.0	55	185	45	4.5	2200	-	-	-
S2	0.92	0.11	0.04	0.02	7.0	175	-	35	4.0	1175	-	-	-
I3	0.82	0.15	0.06	0.02	11.0	175	425	35	4.5	4180	-	-	-
T4	0.78	0.08	0.05	0.02	6.0	75	160	20	4.0	2086	-	-	-
I5	0.98	0.10	0.10	0.02	9.5	100	630	40	5.0	3410	-	-	-
O6	0.81	0.08	0.10	0.02	11.0	175	365	45	1.5	3630	-	-	-
S7	1.10	0.15	0.05	0.01	7.5	45	375	45	2.0	3830	-	-	-
8	1.14	0.13	0.05	0.01	7.5	130	-	40	4.0	1260	-	-	-

CUADRO 15. SEGUNDO MUESTREO VEGETAL EN HOJAS, DE LOS DIFERENTES SITIOS, REALIZADO EN JUNIO DE 1992.

	Ca	Mg	K	Na	Cu	Zn	Fe	Mn	Pb	Al	Ni	Cd	Cr
	%			p.p.m.									
1	0.87	0.20	0.02	0.01	6.5	25	-	165	3.5	1030	-	-	-
S2	1.10	0.11	0.03	0.02	5.5	175	-	60	4.0	1000	-	-	-
I3	0.91	0.15	0.05	0.01	6.0	130	25	70	4.0	1340	-	-	-
T4	0.90	0.13	0.03	0.02	5.0	30	-	55	4.0	1130	-	-	-
I5	1.04	0.17	0.03	0.02	6.0	150	310	75	4.0	1386	-	-	-
O6	0.84	0.14	0.05	0.02	7.0	175	40	25	4.0	1490	-	-	-
S7	1.12	0.18	0.04	0.01	7.5	60	70	25	4.0	1485	-	-	-
8	1.14	0.13	0.03	0.01	6.5	155	-	60	3.5	1105	-	-	-

CUADRO 16. TERCER MUESTREO VEGETAL EN TALLOS, DE LOS DIFERENTES SITIOS, REALIZADO EN AGOSTO DE 1992..

	Ca	Mg %	K	Na	Cu	Zn	Fe	Mn	Pb	Al	Ni	Cd	Cr
							p.p.m.						
1	0.86	0.12	0.10	0.02	4.0	40	215	150	4.0	2425	-	-	-
S2	1.04	0.14	0.03	0.02	15.5	30	-	55	4.0	1060	-	-	-
I3	0.80	0.19	0.10	0.02	6.0	80	380	55	4.0	3350	-	-	-
T4	0.74	0.19	0.10	0.02	5.0	55	345	55	4.0	3440	-	-	-
I5	1.33	0.15	0.06	0.02	7.0	60	300	90	4.0	3185	-	-	-
O6	0.86	0.09	0.10	0.02	10.0	175	405	50	2.5	3755	-	-	-
S7	0.84	0.15	0.10	0.02	11.5	85	330	105	4.5	3310	-	-	-
8	1.00	0.16	0.09	0.02	7.5	100	375	45	4.5	3305	-	-	-

CUADRO 17. TERCER MUESTREO VEGETAL EN HOJAS, DE LOS DIFERENTES SITIOS REALIZADO EN AGOSTO DE 1992.

	Ca	Mg	K	Na	Cu	Zn	Fe	Mn	Pb	Al	Ni	Cd	Cr
	%			p.p.m.									
1	0.97	0.25	0.08	0.02	1.5	40	-	25	3.5	980	-	-	-
S2	1.72	0.14	0.03	0.01	3.5	10	55	15	3.5	665	-	-	-
I3	1.69	0.14	0.03	0.01	5.5	45	30	20	3.0	1250	-	-	-
T4	0.96	0.41	0.03	0.02	4.0	15	-	30	3.0	925	-	-	-
I5	2.04	0.16	0.02	0.01	6.0	30	-	20	3.0	905	-	-	-
O6	1.04	0.17	0.07	0.02	4.5	55	-	20	4.0	920	-	-	-
S7	0.87	0.17	0.03	0.02	7.5	50	5	30	3.5	1030	-	-	-
8	1.08	0.12	0.02	0.01	4.5	80	-	35	3.0	1050	-	-	-

CUADRO 18. CUARTO MUESTREO VEGETAL EN TALLOS, DE LOS DIFERENTES SITIOS, REALIZADO EN DICIEMBRE DE 1992.

	Ca	Mg	K	Na	Cu	Zn	Fe	Mn	Pb	Al	Ni	Cd	Cr
	%												
	p.p.m.												
1	2.63	0.70	0.05	0.01	0.3	35	230	25	3.5	340	-	-	-
S2	2.50	0.77	0.08	0.02	0.3	35	225	35	2.0	1360	-	-	-
I3	6.70	0.80	0.08	0.02	0.4	55	500	45	4.0	2890	-	-	-
T4	3.75	0.75	0.08	0.02	0.3	35	985	40	4.0	4335	-	-	-
I5	0.91	0.79	0.08	0.02	0.4	125	925	40	4.0	8035	-	-	-
O6	1.18	0.77	0.08	0.03	0.6	55	660	20	1.5	2825	-	-	-
S7	1.15	0.75	0.08	0.02	0.3	50	930	20	1.5	4980	-	-	-
8	0.88	0.80	0.04	0.02	0.2	45	200	60	5.0	810	-	-	-

CUADRO 19. CUARTO MUESTREO VEGETAL EN HOJAS, DE LOS DIFERENTES SITIOS, REALIZADO EN DICIEMBRE DE 1992.

	Ca	Mg	K	Na	Cu	Zn	Fe	Mn	Pb	Al	Ni	Cd	Cr
	p.p.m.												
1	6.10	0.80	0.03	0.02	0.2	30	120	105	1.5	235	-	-	-
S2	3.05	0.77	0.03	0.01	0.2	25	145	60	1.0	155	-	-	-
I3	4.86	0.80	0.03	0.01	0.3	45	210	100	1.0	670	-	-	-
T4	2.50	0.78	0.03	0.01	0.1	30	135	65	1.5	200	-	-	-
I5	1.09	0.80	0.04	0.01	0.2	70	275	55	0.5	1115	-	-	-
O6	1.20	0.80	0.04	0.02	0.2	45	165	30	0.5	625	-	-	-
S7	1.38	0.80	0.04	0.02	0.2	45	200	60	0.5	810	-	-	-
8	1.23	0.79	0.04	0.02	0.1	55	145	70	0.5	935	-	-	-

CUADRO 20. PROMEDIOS POR MUESTREO DURANTE 1992, EN LOS 8 SITIOS DE SUELO , EN PROFUNDIDADES DE 0 A 15 CM.

	pH CaCl	N.T. %	M.O. %	C.I.C.	Ca Meq/100g	Mg de	K suelo	Na	P
FEB	5.3	0.35	6.9	47.3	11.4	6.0	0.44	0.10	9.1
JUN	5.2	0.36	7.3	55.5	18.2	7.8	0.20	0.05	7.1
AGT	5.9	0.33	6.5	34.5	14.7	9.2	0.30	0.05	7.3
DIC	4.8	0.33	7.2	46.7	11.2	7.6	0.31	0.06	7.0

Cu	Zn	Fe p.p.m.	Mn	Pb	Al	Cr
1.5	5.2	52.8	19.8	2.6	162.8	1.3
1.0	4.7	55.8	18.7	2.2	178.3	1.2
0.9	4.1	49.9	12.0	3.2	200.0	1.5
0.7	2.3	39.3	3.4	2.8	122.0	0.3

CUADRO 21. PROMEDIO POR MUESTREO DURANTE 1992, EN LOS 8 SITIOS DE VEGETACION DE SAN RAFAEL, MEXICO.

	Ca	Mg	K %	Na	Cu	Zn	Fe p.p.m.	Mn
FEB	0.71	0.16	0.04	0.02	7.8	36.3	263.6	51.3
JUN	0.91	0.11	0.06	0.02	8.3	116.3	356.6	38.1
AGT	0.93	0.11	0.06	0.02	8.3	45.0	293.8	75.6
DIC	2.40	0.76	0.07	0.02	0.4	54.3	581.8	35.6

	Pb	Al
	38.1	2829.4
	36.8	2721.3
	39.3	2978.8
	26.3	3196.8

CUADRO 22. PROMEDIOS POR MUESTREO DURANTE 1992, EN LOS 8 SITIOS DE SUELO, EN PROFUNDIDADES DE 15 A 30 CM.

	pH CaCl	N.T. %	M.O. %	C.I.C.	Ca Meq/100g	Mg de suelo	K	Na	P
FEB	5.3	0.26	5.2	46.3	10.4	5.6	0.28	0.10	6.8
JUN	5.3	0.31	4.6	45.5	13.8	6.8	0.28	0.05	4.9
AGT	5.4	0.21	3.9	31.6	12.9	7.9	0.17	0.05	6.1
DIC	5.2	0.29	6.0	45.3	11.9	7.5	0.36	0.05	6.1

Cu	Zn	Fe p	Mn p	Pb m	Al	Cr	Ni
1.4	4.2	50.8	12.6	1.2	177.3	1.1	0.7
0.8	2.0	29.5	9.4	0.8	155.1	0.6	0.6
0.7	2.1	38.5	7.9	1.4	171.8	0.5	0.6
0.5	1.5	32.5	2.4	0.3	80.9	0.3	0.5

CUADRO 23. PROMEDIO POR MUESTREO DURANTE 1992, EN LOS 8 SITIOS DE VEGETACION DE SAN RAFAEL, MEXICO.

	Ca	Mg	K	Na	Cu	Zn	Fe
			%				p.p.m.
FEB	0.88	0.16	0.030	0.020	5.5	109.4	207.5
JUN	0.99	0.15	0.040	0.015	6.3	112.5	111.3
AGT	1.30	0.20	0.040	0.015	4.6	40.6	30.0
DIC	2.68	0.79	0.035	0.015	0.2	43.1	174.4

	Mn	Pb	Al
	38.1	27.5	987.5
	66.9	38.8	1245.8
	24.4	33.1	965.6
	68.1	8.8	593.1

CUADRO 24. PORCENTAJE DE ALGUNOS METALES CON LA ARCILLA, EN LOS 8 SITIOS MUESTREADOS DURANTE 1992, EN SUELO CON PROFUNDIDAD DE 0 A 15 CM.

sitio	arcilla %	Pb	Zn p . p . m .	Ni p . p . m .	Cu	Na %
1	30.0	1.4	3.2	0.6	0.8	0.06
2	27.4	2.6	4.0	0.6	0.9	0.05
3	13.7	4.0	6.6	1.0	1.5	0.04
4	19.6	2.4	5.0	1.2	1.0	0.05
5	30.0	0.6	2.0	0.4	0.5	0.07
6	20.4	3.0	5.6	1.4	0.9	0.06
7	18.4	3.6	4.6	1.6	0.7	0.04
8	22.4	3.0	6.8	1.4	0.9	0.05

CUADRO 25. PROMEDIOS DE Cu, P, M.O. Y ARCILLA EN EL MUESTREO DE AGOSTO DE 1992 EN LOS 8 SITIOS ESTUDIADOS, EN SUELOS CON PROFUNDIDAD DE 0 A 15 CM.

sitio	Cu p.p.m.	P	arcilla %	M.O. %
1	0.8	6.0	30.0	6.6
2	0.9	8.0	27.4	4.8
3	1.5	5.0	13.7	4.0
4	1.0	8.0	19.6	4.8
5	0.5	10.0	30.0	9.7
6	0.9	7.0	20.4	8.5
7	0.7	8.0	18.4	6.2
8	0.9	6.0	22.4	7.4

CUADRO 26. CONTENIDOS DEL Na, Ca, Mg, Cu Y M.O. DURANTE LA MAXIMA PRECIPITACION EN LOS 8 SITIOS MUESTREADOS EN AGOSTO DE 1992, EN SUELO CON PROFUNDIDAD DE 0 A 15 CM.

sitio	M.O.	Na %	Ca	Mg	Cu ppm
1	6.6	0.06	12.2	9.3	0.8
2	4.8	0.05	11.2	8.1	0.9
3	4.0	0.04	11.7	7.9	1.5
4	4.8	0.05	21.0	9.2	1.0
5	9.7	0.07	11.6	10.1	0.5
6	8.5	0.06	15.0	10.5	0.9
7	6.2	0.04	17.1	9.2	0.7
8	7.4	0.05	17.8	9.8	0.9

CUADRO 27. CONTENIDOS DE Zn, Cu, Pb, Ni y Mn CUANDO LA PRECIPITACIONES MINIMA EN LOS 8 SITIOS MUESTREADOS EN DICIEMBRE DE 1992, EN SUELO CON PROFUNDIDAD DE 0 A 15 CM.

sitio	Zn	Cu	Pb	Ni	Mn
			p . p . m .		
1	2.0	0.5	1.4	0.8	17.4
2	1.8	0.8	4.8	0.6	22.6
3	7.0	1.4	5.6	0.4	19.4
4	0.6	0.6	5.6	0.2	18.4
5	1.4	0.5	2.4	0.6	16.6
6	2.6	0.7	0.6	0.6	19.0
7	1.0	0.4	0.6	0.8	22.6
8	1.6	0.5	1.2	0.8	22.6

CUADRO 28. VALORES DE Ca, Mg, Na y pH EN EL MUESTREO DE DICIEMBRE DE 1992, EN EL SUELO CON PROFUNDIDAD DE 0 A 15 CM.

sitio	Ca	Mg %	Na	pH
1	11.0	8.7	0.05	4.9
2	11.5	7.8	0.06	4.3
3	8.2	5.2	0.05	4.2
4	13.3	8.6	0.06	5.3
5	11.7	6.8	0.06	4.6
6	12.5	9.1	0.06	5.4
7	10.2	6.0	0.05	4.9
8	11.3	8.2	0.05	5.0

CUADRO 29. PROMEDIO DE Pb, Cr, P Y pH EN LOS 8 SITIOS, DURANTE LOS CUATRO MUESTREOS EN SUELO CON PROFUNDIDADES DE 0 A 15 CM.

muestreo	Pb	Cr	P	pH
	p . p . m .			
febrero	2.6	1.3	9.1	5.3
junio	2.2	1.2	7.1	5.2
agosto	3.2	1.5	7.3	5.9
diciembre	2.8	0.3	7.0	4.8

CUADRO 30. PROMEDIO DE M.O., N.T. Y C.I.C.
 EN LOS 8 SITIOS DURANTE LOS 4 MUESTREOS
 EN SUELO CON PROFUNDIDAD DE 0 A 15 CM.

muestreo	N.T %	M.O. %	C.I.C. Meq/100g de s.
febrero	0.35	6.9	47.3
junio	0.36	7.3	55.3
agosto	0.33	6.5	34.5
diciembre	0.33	7.2	46.7

CUADRO 31. PROMEDIO DE Zn, Cu Y Mn EN LOS 8
SITIOS DURANTE LOS 4 MUESTREOS DE SUELO
CON PROFUNDIDADES DE 0 A 15 CM.

muestreo	Cu	Zn p . p . m .	Mn
febrero	1.5	5.2	19.8
junio	1.0	4.7	18.7
agosto	0.9	4.1	12.0
diciembre	0.7	2.3	13.5

CUADRO 32. PROMEDIO DE Fe, Pb Y Cr EN LOS 8 SITIOS DURANTE LOS 4 MUESTREOS DE SUELO CON PROFUNDIDAD DE 0 A 15 CM.

muestreo	Fe	Pb p . p . m .	Cr
febrero	52.8	2.6	1.3
junio	52.8	2.2	1.2
agosto	49.9	3.2	1.5
diciembre	39.3	2.8	1.3

CUADRO 33. PROMEDIO ENTRE EL K, Fe Y Zn EN TALLOS DE Pinus ayacahuite Y P. patula EN LOS 8 SITIOS DURANTE LOS 4 MUESTREOS.

muestreo	K %	Fe p . p . m .	Zn
febrero	0.04	263.6	36.3
junio	0.06	356.6	116.3
agosto	0.06	293.8	45.0
diciembre	0.07	581.8	54.0

CUADRO 34. PROMEDIO QUE TIENE EL Cu, Ca Y K EN TALLOS DE Pinus ayacahuite y P. patula EN LOS 8 SITIOS DURANTE LOS 4 MUESTREOS.

muestreo	Cu p.p.m	Ca	K
febrero	7.8	0.71	0.4
junio	8.3	0.91	0.6
agosto	8.3	0.93	0.6
diciembre	0.4	2.40	0.7

CUADRO 35. PROMEDIO DE Mn, Pb, Mg Y Al EN TALLOS DE Pinus ayacahuite Y P. patula EN LOS 8 SITIOS DURANTE LOS 4 MUESTREOS.

muestreo	Mn	Pb p . p . m .	Al	Mg %
febrero	51.3	38.1	2829.4	0.16
junio	38.1	36.8	2721.3	0.11
agosto	75.6	39.3	2978.8	0.11
diciembre	35.6	26.3	3196.8	0.76

CUADRO 36. PROMEDIO QUE CONTIENEN EL K, Pb, Al Y Cu EN HOJAS DE Pinus ayacahuite y P. patula EN LOS 8 SITIOS DURANTE LOS CUATRO MUESTREOS.

muestreo	K %	Pb	Al p . p . m .	Cu
febrero	0.30	27.5	987.5	5.5
junio	0.40	38.8	1245.8	6.3
agosto	0.40	33.1	965.6	4.6
diciembre	0.35	33.1	593.1	5.5

CUADRO 37. ANALISIS DE CORRELACION SIMPLE, PARA LOS 4 MUESTREOS DE SUELO EN LOS 8 SITIOS CON PROFUNDIDAD DE 0 A 15 CM.

CORRELACION	COEF. DE CORRELACION	INTERV. DE CONFIANZA
F E B R E R O		
M.O. y Al	-.8477	.0078
M.O. y Ca	.8410	.0089
Arc y limo	-.7336	.0383
Arc y Pb	-.8593	.0062
Fe y Na	-.8201	.0127
Cu y K	.7267	.0412
Cu y P	.8204	.0126
Zn y Mn	.8837	.0036
Zn y Pb	.7888	.0200
Zn y Ni	.9444	.0004
Mn y Ni	.8139	.0140
Na y P	-.6955	.0555
J U N I O		
M.O. y Al	-.7272	.0410
Arc y Zn	-.8000	.0171
Arc y Pb	-.7468	.0333
Arc y Ni	-.7311	.0393
pH y Ca	.7811	.0221
pH y Mg	.8851	.0035
Zn y Ni	.7186	.0446
Pb y Al	.7046	.0510
Pb y K	-.8743	.0045
Ca y Mg	.9452	.0004
A G O S T O		
Arc y Na	.7685	.0259
Arc y Cu	-.7143	.0465
Arc y Zn	-.8142	.0139
Arc y Ni	-.8326	.0103
M.O y Mg	.8928	.0028
M.O y Na	.7914	.0193
M.O y Cu	-.7304	.0396
Cu y P	-.7533	.0309
Cu y Zn	.7328	.0387
Ni y Zn	.8566	.0066

 D I C I E M B R E

M.O y Ca	-.6923	.0570
M.O y pH	-.7270	.0410
Ca y Mg	.8190	.0129
Ca y Na	.7227	.0428
Ca y pH	.8496	.0076
Mg y pH	.8426	.0086
Cu y Zn	.8865	.0033
Zn y Pb	.6924	.0570
Zn y Ni	-.7041	.0513
Pb y Ni	-.8242	.0119
Al y Ni	.8321	.0104

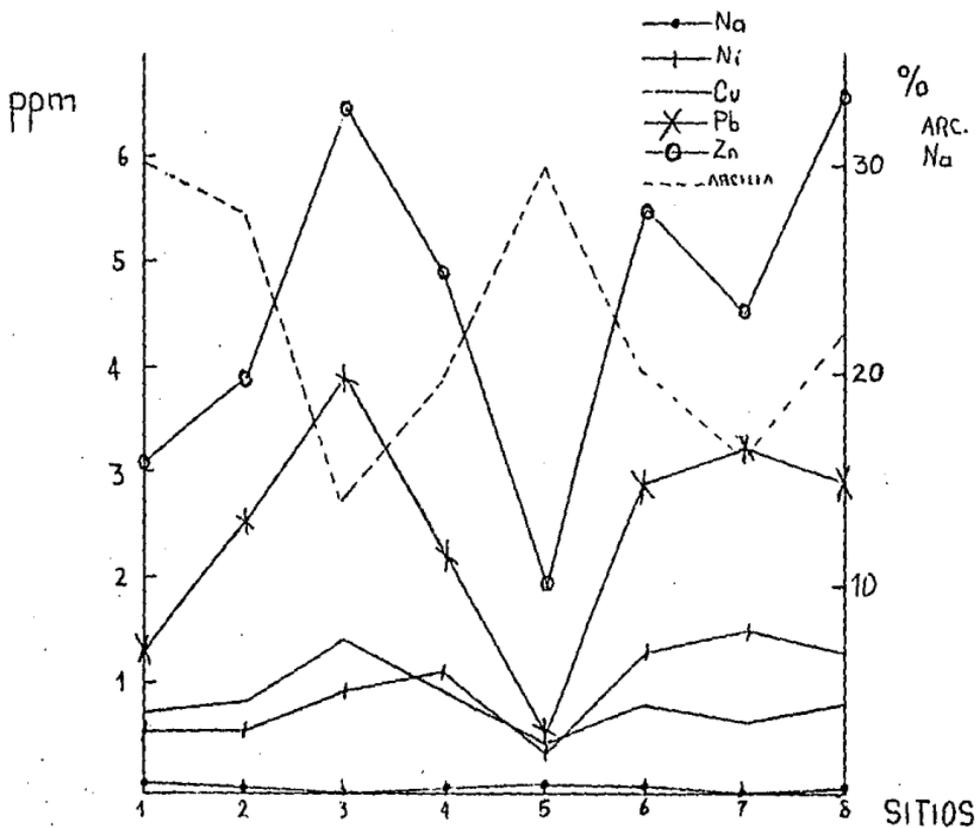


Figura 4. Comportamiento de algunos metales con la arcilla en los 8 sitios muestrados durante 1992, en suelo con profundidad de 0 a 15 cm.

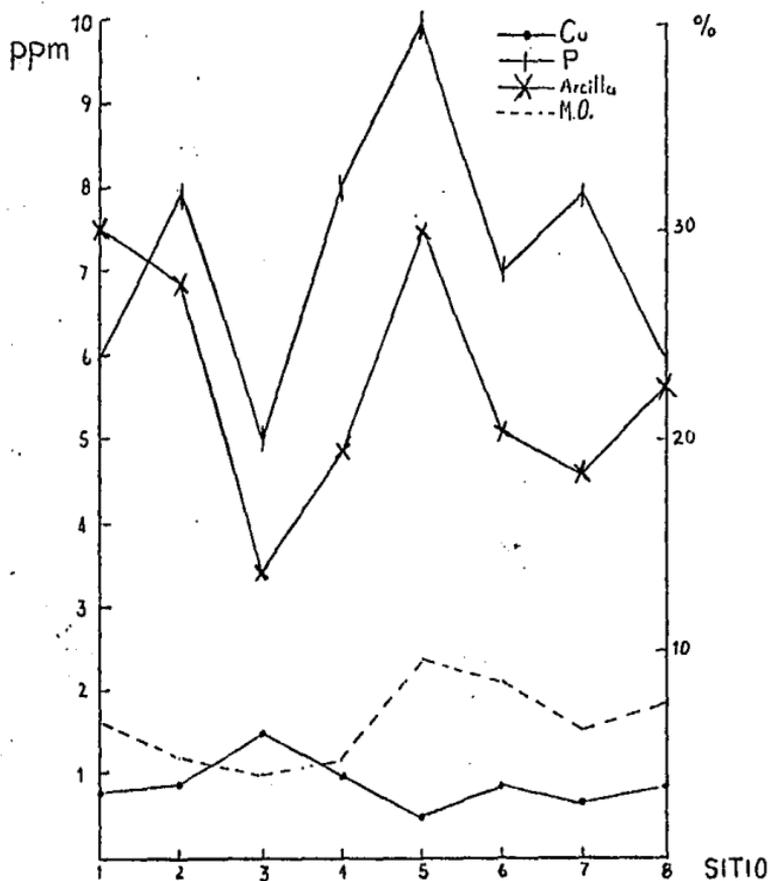


Figura 5. Comportamiento del Cu y P con el % de H.O. y arcilla en su adsorción en el muestreo de agosto de 1992 en los 8 sitios estudiados, en suelos con profundidad de 0 a 15 cm.

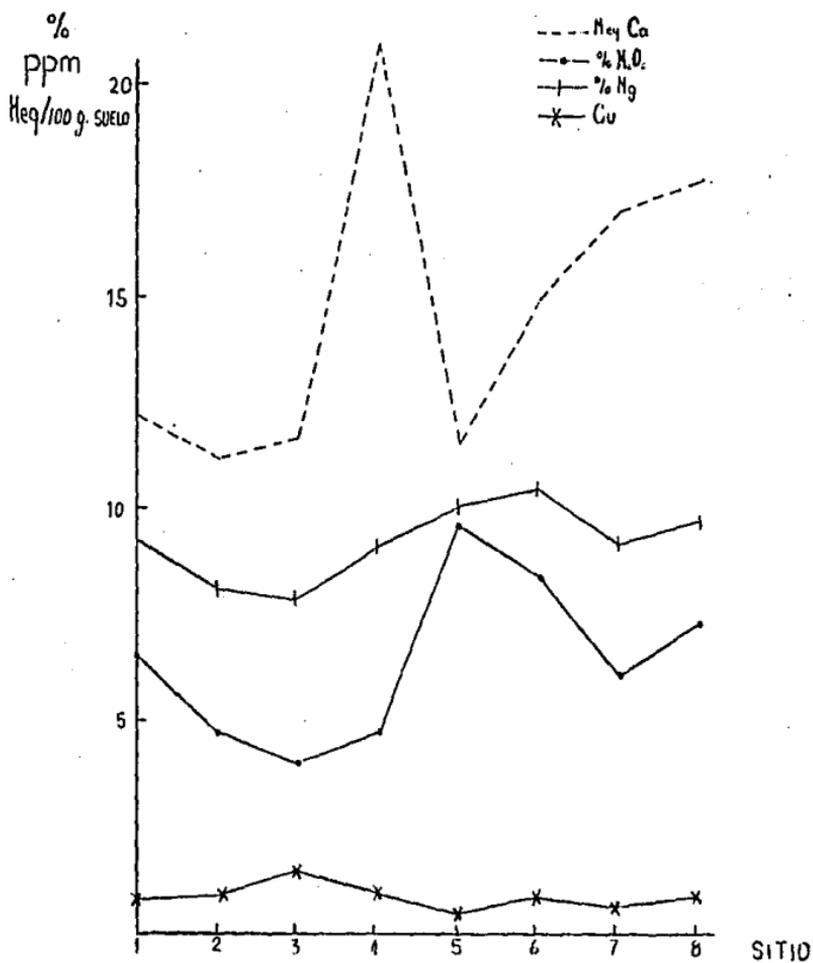


Figura 6. Relación que guarda el Ca, Mg y Cu con la M.O. durante la máxima precipitación en los 8 sitios muestreados en agosto de 1992, en suelo con profundidad de 0 a 15 cm.

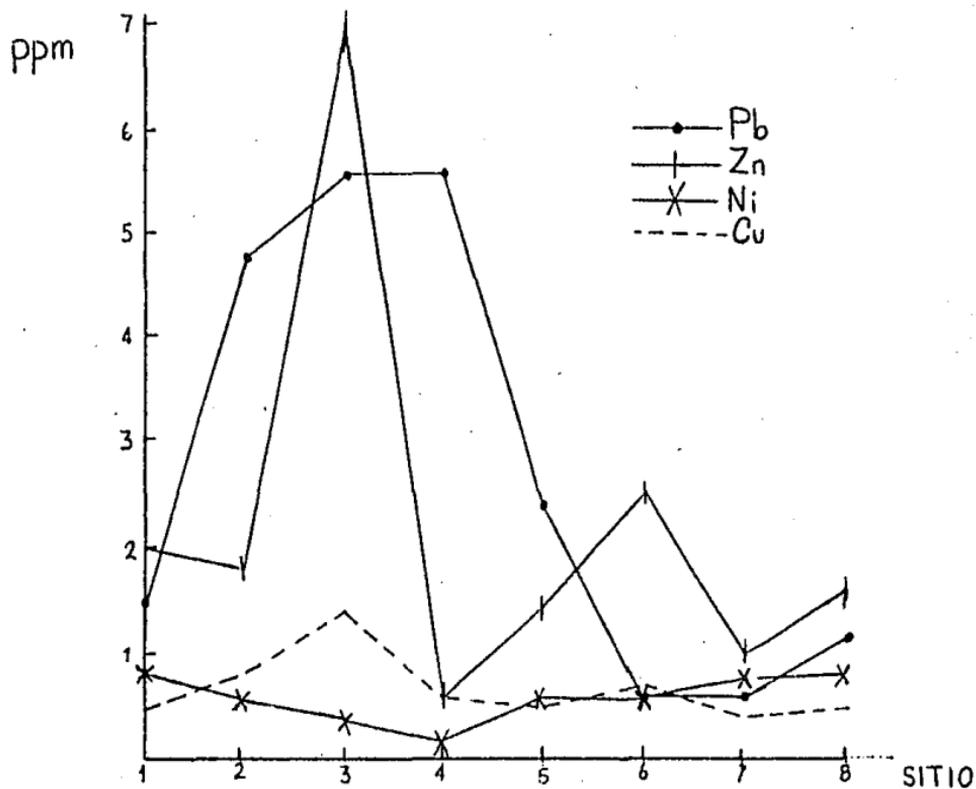


Figura 7. Relación que tiene el Zn, Cu, Pb y Ni cuando la precipitación es mínima en los 8 sitios muestreados en diciembre de 1992, en suelo con profundidad de 0 a 15 cm.

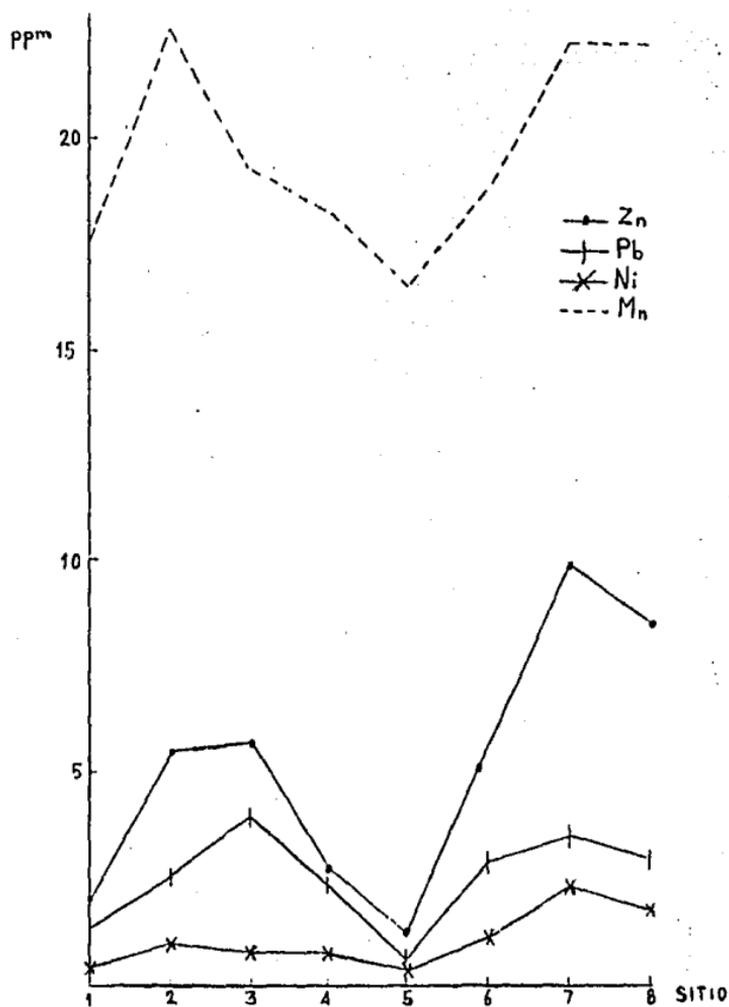


Figura 8. Relación directa que guardan el Zn, Mn, Pb y Ni entre ellos en suelo con profundidad de 0 a 15 cm en diciembre de 1992.

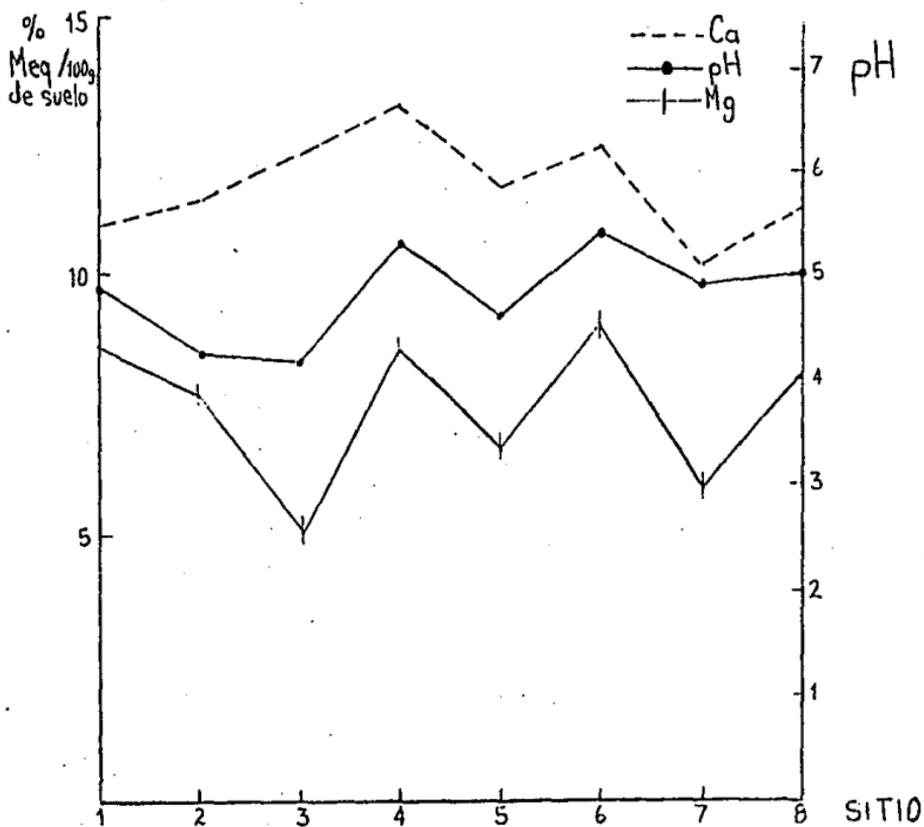


Figura 9. Relación directa que guarda el pH con el Ca y Mg en el muestreo de diciembre de 1992, en suelo con profundidad de 0 a 15 cm.

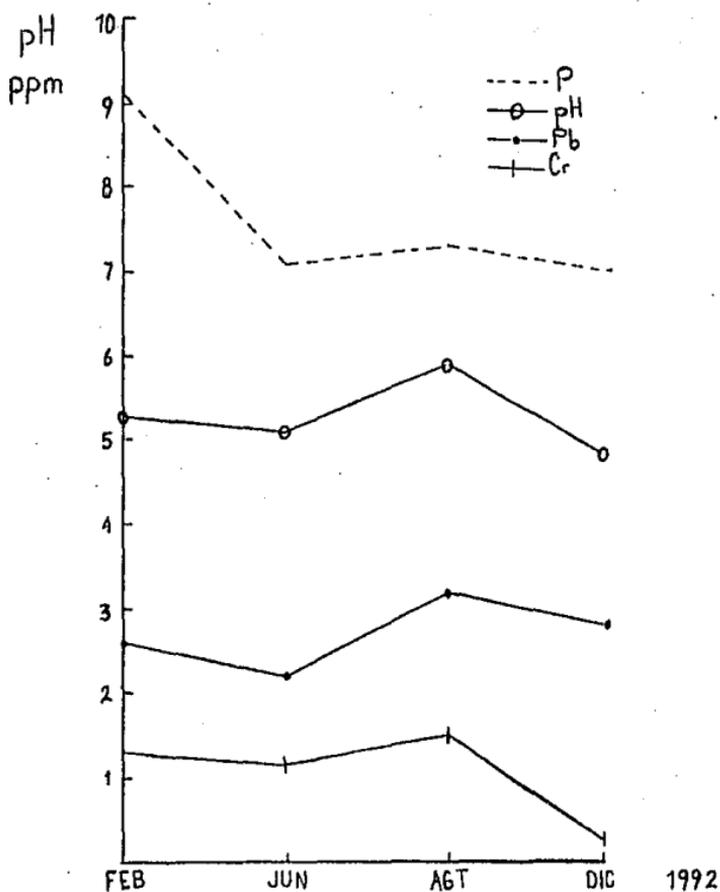


Figura 10. Comportamiento del promedio de Pb, Cr y P en los 8 sitios, durante los 4 muestreos y su relación directa con el pH, en suelo con profundidades de 0 a 15 cm.

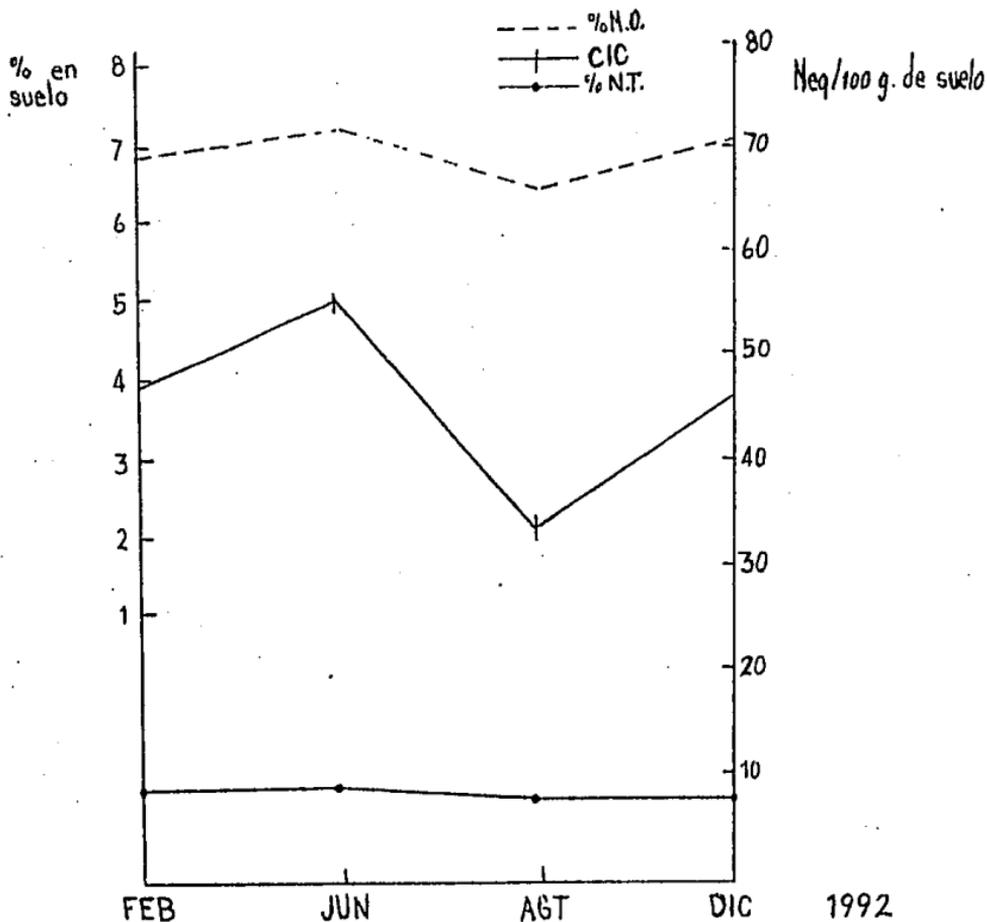


Figura 11. Comportamiento del promedio entre el % de H.O., % N.T. y C.I.C. en los 8 sitios durante los 4 muestreos en suelo con profundidades de 0 a 15 cm.

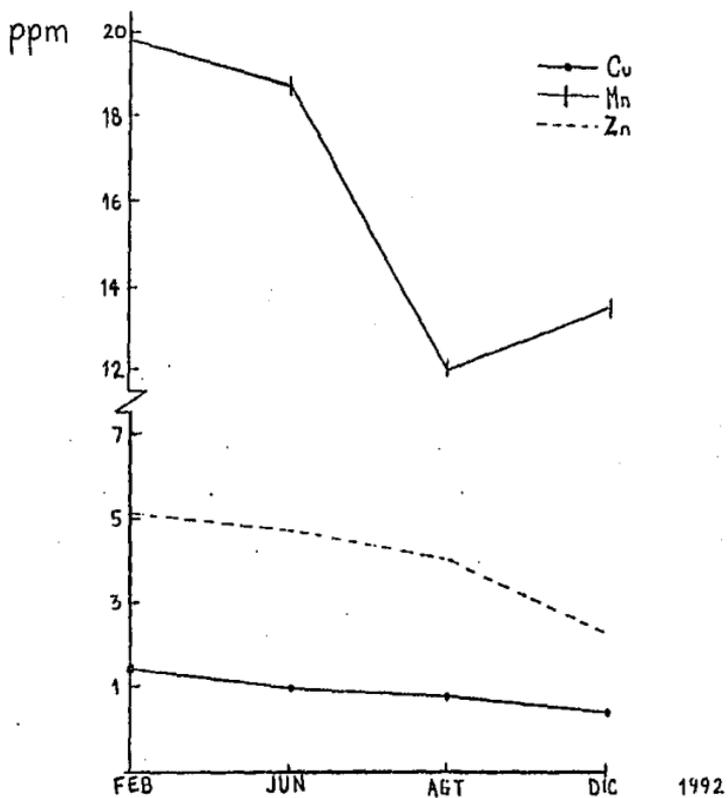


Figura 12. Comportamiento del promedio de Zn, Cu y Mn en los 8 sitios durante los 4 muestreos de suelo con profundidades de 0 a 15 cm.

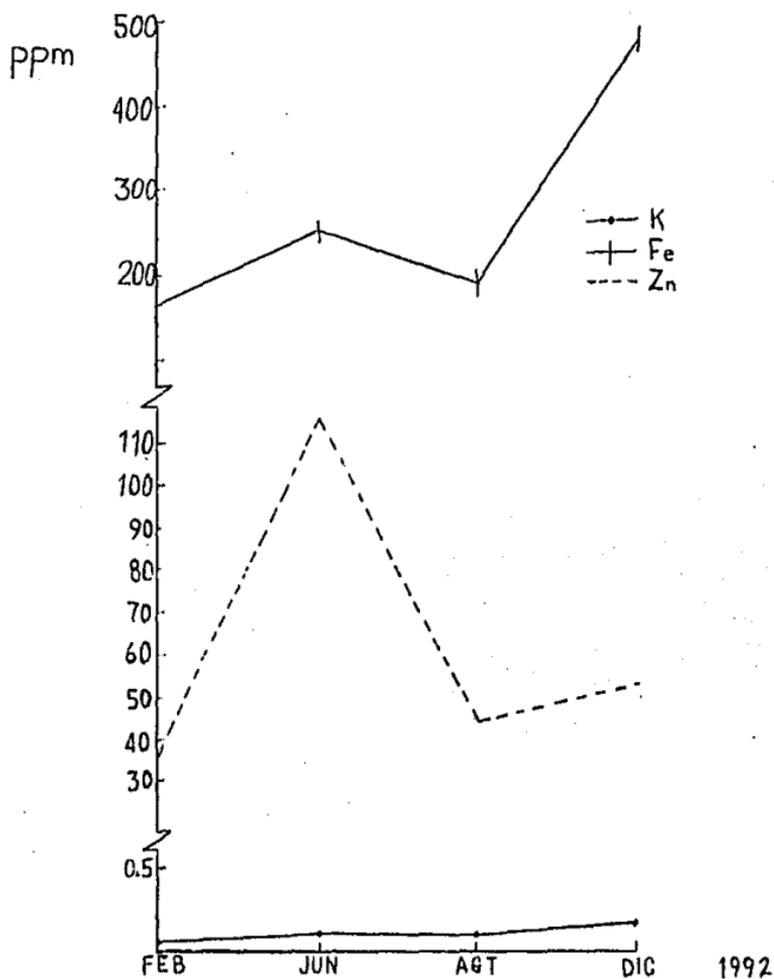


Figura 13. Relación directa del promedio entre el K, Fe y Zn en tallos de *Pinus ayacahuite* y *P. patula* en los 8 sitios durante los 4 muestreos.

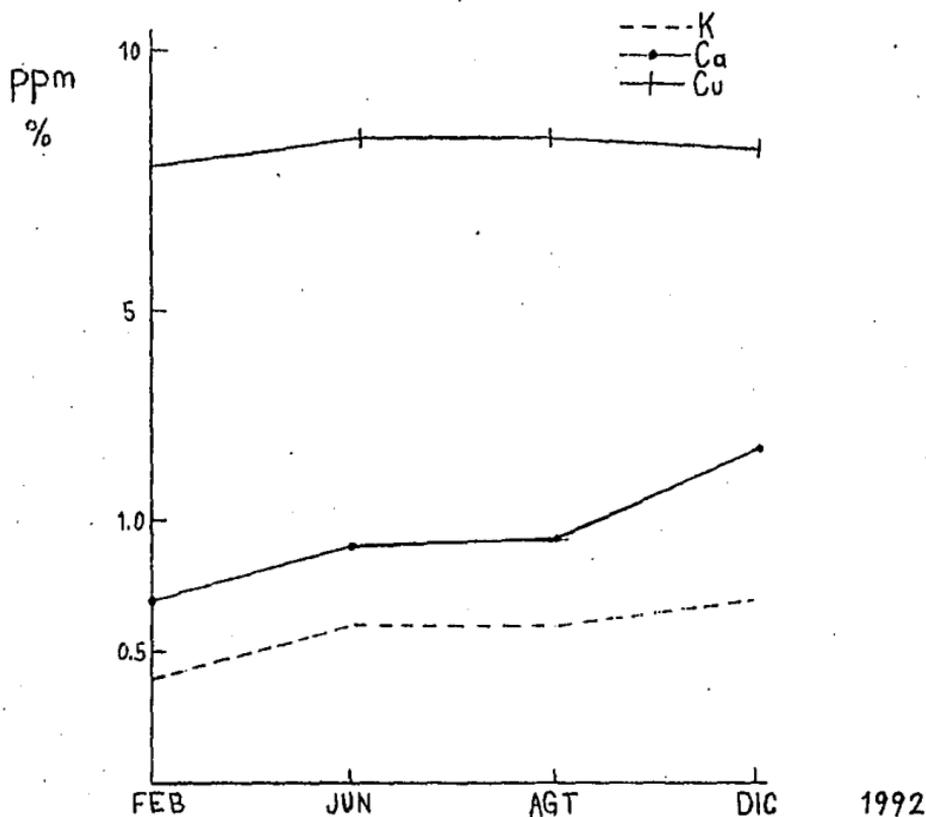


Figura 14. Relación directa del promedio que tiene el Cu con el % de Ca y K en tallos de Pinus ayacahuite y P. patula en los 8 sitios durante los 4 muestreos.

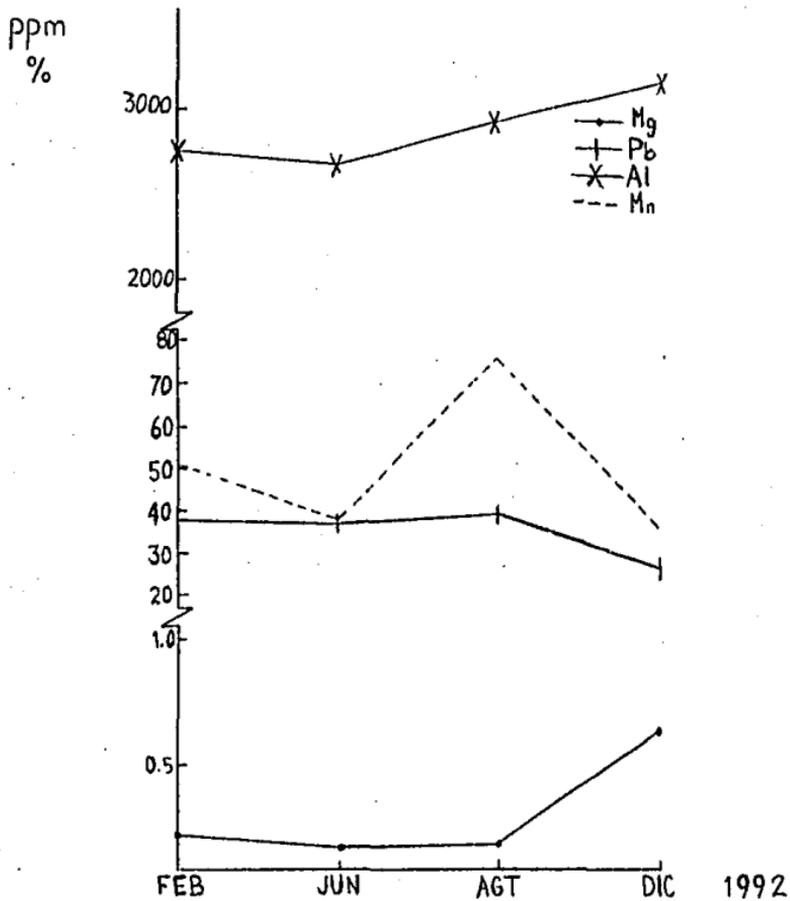


Figura 15. Relación directa del promedio que mantiene el Mn-Pb y Mg-Al en tallos de Pinus ayacahuite y P. patula en los 8 sitios durante los 4 muestreos.

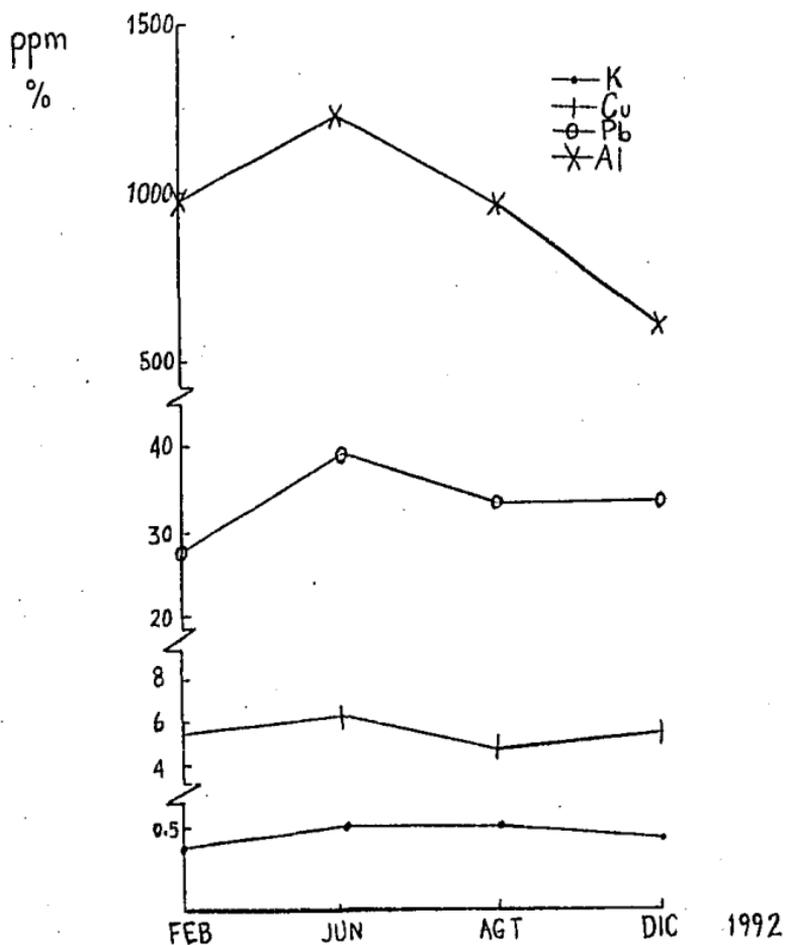


Figura 16. Relación anual del promedio que mantiene el K, Cu, Al y Pb en hojas de *Pinus ayacahuite* y de *P. patula* en los 8 sitios durante los 4 muestreos.