

# CEER-M-130

CER - M - 130

-

ESTUDIO DE LOS NIVELES DE Pb, C4 Y Ni EN EL SUELO Y LA

VEGETACION ADYACENTES A ALGUNAS CARRETERAS DE PUERTO RICO\*

.

Enrique Rodriguez Castellón

woe

en

,

3 CENTER FOR ENERGY AND ENVIRONMENT RESEARCH |

Rate ata te

e

ohne

---Page Break---

ESTUDIO DE LOS NIVELES DE Fb, Cd Y Ni EN EL SUELO Y LA  
VEGETACION ADYACENTES A ALGINAS CARRETERAS DE PUERTO RIGD\*

por

Enrique Rodriguez Castellón

Tesis Maestro en Ciencias, Depto de Quimica

RUM, 1980

Esta investigación fue patrocinada, en parte,

por la Division de Ecologia Marina de CEEA

---Page Break---

A Pepe y Marfa Teresa

---Page Break---

## AGRADECIMIENTO

Esta investigación no se hubiera llevado a cabo sin la supervisión, las ideas y el magisterio del Dr. Manuel

Rodríguez Flores. Los consejos del Dr. José N. López y del Dr. Cé

ar Reyes, los comentarios oportunos del Dr. Narinder K.K.

Mehta y la total disposición del Dr. Juan Gerardo González

fueron de gran ayuda. Mi agradecimiento al Dr. Guillermo

Guerreros por su colaboración en la clasificación de las es-

pecies vegetales y @ Ta Prof. Milagros Mird por su ayuda en

el análisis de suelos.

El reconocimiento a la División de Ecología Marina

del Centro para Estudios Energéticos y Ambientales por el uso

de sus laboratorios y especialmente a sus miembros por su en-

tusiasmo.

Agradezco los ánimos y la ayuda prestada por el per-

sonal del Laboratorio de Control de Calidad de la Facultad de

Ingeniería del R. U. M.

Mi agradecimiento al Departamento de Química de la UPR, U.  
especialmente a su Director Dr. José R. Sánchez Caldas, por su  
orientación y al Dr. Robert Tsai por el uso de su Laboratorio.

Destaco los méritos de la señorita Priscilla Fuentes  
por su paciencia en la transcripción de este trabajo. Final-  
mente mi mayor agradecimiento a mis compañeros y a 1a Colonia

Española en Mayagüez por su amistad.

M

---Page Break---

## RESUMEN

La contaminación debida a Pb, Cd y Ni en las zonas  
adyacentes a algunas carreteras de Puerto Rico ha sido inves-  
tigada.

Los niveles de dichos metales en el suelo y en la ve-  
getación son muy superiores a los considerados como normales.

La descarga de Pb en los suelos y en la vegetación está corre-  
lacionada muy significativamente con la densidad de tráfico.

El viento solamente afecta a la distribución del Pb en el eco-

sistema que rodea a las carreteras. Los contenidos de Pb, Cé y Ni en el suelo y el contenido de Pb en la vegetación dis-

minuyen a medida que aumenta la distancia a la carretera. La

acumulación de Pb y Cd es significativa hasta una distancia de aproximadamente 33.3 metros a partir de la carretera, Cantidades apreciables de Pb, Cd y Ni de las plantas se pueden

eliminar fácilmente mediante lavado con agua.

---Page Break---

## TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE TABLAS. 2... ee eee

LISTA DE FIGURAS 2... 22 ee ee ee

INTRODUCCION . 2... see

REVISION DE LITERATURA . 2. 2 2 2 ee ee

Fuentes de Pb, Ch y Ni... ~~

Química, distribución y toxicología de Pb, Cd

Y Mn en suelos

Efectos de los metales pesados en el biotopo  
del suelo. - efectos en

Efectos del Pb, Cd y Ni en las plantas

Efectos de Pb, Cd y Ni en la salud humana

UBICACION Y DESCRIPCION DE LAS ZONAS DE MUESTREO

MATERIALES Y METODOS 2... efectos

Toma de muestras se efectúa

Grado de acidez (pH)... - 1. efectos

Carbonatos se encuentran

Materia orgánica 2.2. efectos

Textura se encuentra

Determinación de la concentración de Pb, Cd  
y Mn extraíble con HCl 1 N en suelos ... ~

Determinación de la concentración de Pb, Cd  
y Mn en plantas 2.2... efectos

## RESULTADOS Y DISCUSION . 2.2... 2. ee ee

Contenidos de metates en suelos y plantas

Estudio de 1a distribuctén del Pb en e

Sulo ee ee ee ee cee

Página

vii

?4

15

Vv

19

2s

2s

26

26

2

29

30

31

34

38

---Page Break---

## APENDICE 11

### Pagina

Estudio de la distribución del Pb en las .

plantas 2 2. . eee ee ee 46

Estudio de la distribución de Cd en el suelo St

Estudio de la distribución de Ce en las

plantas. ae errr rrr ae 82

Estudio de la distribución de Ni en el suelo 87

Estudio de la distribución de Ni en Tas

plantas ss eee wet. 39

Estudio de los niveles de Pb, Cd y Ni en los

suelos y las plantas de las isletas . .. ~ 65

Estudio de la variación de los contenidos de

. Pb, Cd y Ni con la profundidad en un perfil

de suelo ve ee este ee 65

Estudio de la relación entre la densidad de

tráfico y la contaminación de suelos y

plantas Con Pb, Cd y Ni ws tee ee 70



Estudio de la relación entre las áreas de la  
descarga de Pb, Cd y Ni en suelos y plantas 16

Estudio de la relación entre los cocientes de  
concentración Pb/Cd en suelos y plantas... 76

Conclusiones , . Sec eee eens 80

REFERENCIAS eee see 82

APENDICE 1. 90

on

---Page Break---

Tabla

10

2

3

4

LISTA DE TABLAS

Nombre en clave y ubicación de las zonas

muestreadas ss. ee ee

Clasificación de suelos según 1a VIT

Aproximación . . . rrr

Condiciones de operación del Perkin-Elmer

300. ee ee ee tee

% de materia orgánica, pH, % CaCO<sub>3</sub>, y

textura de las zonas muestreadas °. . .

Valores de pH de las muestras de suelo a

las diferentes distancias desde las ca-

rreteras see ee ee

Precisión de los análisis de suelos . . .

Análisis de National Bureau of Standards

(NBS) orchard leaves n. 1577...

Variación de los contenidos promedio de

Pb, Cd y Ni con la distancia a la carre-

tera en las zonas P-1 y P-2.-. 2. ~~

Variación de los contenidos promedio de Pb, Cd y Ni con la distancia a la carretera en las zonas P-4y P52... se

Variación de los contenidos promedio de Pb, Cd y Micon Ja distancia a la carretera en las zonas P-6y P72.

Variación de los contenidos promedio de Pb, Cd y Ni con la distancia a la carretera en las zonas P-By P-9. 1.

Variación de los contenidos promedio de Pb, Cd y Ni con la distancia a Ta carretera en la zona P-10. . an

Contenidos de Pb, Cd y Ni en el suelo y Ta vegetación de?jardines intermedios . .

Variación del contenido de Pb con Ta profundidad.. . . settee

Péoine

28

32

35

37

38

38

40

a

42

43

4

66

67

---Page Break---

Tabla

15

16

W

18

19

20

Variación del contenido de Cd con la  
profundidad . 2. - . :

Variación del contenido de Ni con la  
profundidad ... - . - - :

Variación de área de 1a descarga de Pb  
en suelos y plantas con respecto a la  
densidad de tráfico. ee ee

Variación del grado de 1a descarga de Cd  
en suelos y plantas con respecto a la  
densidad de tráfico. . . . +e

Variación del grado de 1a descarga de Ni  
en suelos y plantas con respecto a la  
densidad de tráfico. . . . :

Variación de los cocientes Pb/Cd con el  
grado de arcilla .

vii

Paging

68

69

72

73

74

79

---Page Break---

## LISTA DE FIGURAS

Figura Pagina

1 Mapa de Puerto Rico con la ubicación de

Tae zonas muestreadas se see ee

2 Contenido de PS en suelos de las zonas P-1

PPD wee cee eee eee eee AT

3 Contenido de Pb en plantas de Tas zonas

PY y PQ ee ee et ee ee AT

4 Contenido de Pb en suelos de Tas zonas P-4

PS eee ee eee ee ee ee 8

5 Contenido de Pb en plantas de Tas zonas

Phy PS ee ee eee ee AB

6 Contenido de Pb en suetos de las zonas P-6

PP ee ee ete ee eee 48

7 Contenido de Pb en plantas de las zonas

Poy PT oc ee ee eee ee AD

8 Contenido de Pb en suelos de las zonas P-8

VPP ee eee ee ee ee 80

9 Contenido de Pb en plantas de Tas zonas

PB y PO ee ee ee 80

10 Contenido de Cd en suelos de Tas zonas P-1

YPR2 ee ee ee ee ee 53

11 Contenido de Cd en plantas de 1as zonas

Ply Pee ee ee 88

12 Contenido de Cd en suelos de las zonas P-4

YPS ec eee eee tee eet eee 84

13 Contenido de Cd en plantas de las zonas

Py PS ee ee 8M

14 Contenido de Cd en suelos de Tas zonas P-6

PD eee eee eee eee 88

15 Contenido de Cd en plantas de las zonas



PE y P-Pe ce ee eee 58

16 Contenido de Cd en suelos de Tas zonas P-8

YPD ee ee eet ee ee

---Page Break---

Figura

W

18

19

20

2

22

23

28

25

26

27

28

28

30

a

Contenido

?By Poo

Contenido

y Pe?

Contenido

Poly Pez

Contenido

y PS

Contenido

Poa y PAS

Contenido

y Po? .

Contenido

P65 y P-7

Contenido

y Poe

Contenido

P-By P-9

Contenido

zona P-10 .

Contenido:

Ta zona P-

Relación

Pb en el

Relación

Pb en las plantas y la densidad de tráfico

Relación

Pb en el

de Pb en

Relación

Cd en el

de Cd en

de cd en plantas de las zonas

de Ni en suelos de Tas zonas P-1

de Ni en plantas de las zonas

de Ni en suelos de las zonas P-4

de Ni en plantas de Tas zonas

de Ni en suelos de las zonas P-6

de Ni en plantas de las zonas

de Ni en suelos de las zonas P-8

de Ni en plantas de las zonas

de Pb, Cd y Ni en suelos de la

s de Pb» Cd y Ni en plantas de

woo. bes

entre el grea de 1a descarga de

Suelo y 1a densidad de tratico

entre el drea de la descarga de

entre el grea de la descarga de

suelo ye} Grea de la descarga

las plantas... 2. ee

entre el grea de la descarga de

fuelo y el grea de 1a descarge

Vas plantas 2.2... ee

Péqina

56

60

60

61

61

62

62

63

63

64

64

75

75

7

7

---Page Break---

## INTRODUCCION

En los sitios se ha encontrado que en las áreas aledañas a 2 carreteras de mucho tránsito, los niveles de plomo, cadmio y níquel en el suelo y en la vegetación son excesivamente

altos, por lo cual el ecosistema se afecta seriamente

debido a la acción dañina ya comprobada de estos metales.

Esto afecta fundamentalmente a los suelos, a la vegetación, al biotopo del suelo y también al ser humano bien sea inhalando la atmósfera que le rodea, o bien a través de la cadena biológica (1-5).

Las fuentes de Pb en la carretera son ciertas gasolinas donde las concentraciones oscilan entre 0.13 y 1.06 g de Pb por litro de gasolina. El Cd proviene de las cubiertas de los neumáticos donde la concentración oscila entre 20 y 90 ppm. Finalmente, el Ni se origina a partir de los agentes lubricantes y de ciertas gasolinas (2, 6).

Puerto Rico presenta una superficie de alrededor de 8,960 Km. El número de vehículos de motor sobrepasa el millón de unidades (7), lo cual supone una de las densidades de vehículos más altas de mundo, Esto hace presumir que los niveles de Pb, Cd y Ni deben ser bastante altos, incluso mayores que lo esperado, ya que en Puerto Rico hay una gran acumulación de industrias que suponen una contaminación adicional. Debido a la gran expansión de las ciudades satélites, nuevas vías de comunicación invaden áreas rurales, lo que provoca una

---Page Break---

extensión del problema de la contaminación por estos metales a nuevas zonas fuera de las ciudades.

La casi ausencia de datos sobre los niveles de estos metales en el medio ambiente que rodea a la carretera en Puerto Rico, hace que el principal objetivo de esta investigación sea evaluar los niveles de Pb, Cd y Ni en el suelo y en la vegetación a una distancia variable de la carretera. Otros objetivos importantes son: el estudio del efecto de ciertos factores que influyen en los contenidos de metales como: la densidad de tráfico, la dirección del viento, el pH y el contenido de materia orgánica del suelo. También se hará una comparación entre los niveles encontrados cerca de carreteras de mucho tránsito y los encontrados cerca de carreteras de escasa cir-



culación.

La zona estudiada con más detalle fue el área Oeste de Puerto Rico, además se incluye en el trabajo la carretera número 3 que comunica Carolina con Río Piedras, la cual está considerada como una de las vías de mayor tránsito de la isla.

---Page Break---

## REVISION DE LA LITERATURA

La contaminación debida al Pb proveniente de las emisiones de los automóviles y otras fuentes industriales ha sido investigada ampliamente en las últimas dos décadas. En cambio, no se ha prestado demasiada atención a otros metales como el Cd y el Ni, solamente Lagerwerff y Specht (2), Ward y colaboradores (6) y Gish y Christensen (8), informan la presencia de Cd y Ni, además de Pb, en suelos y plantas cercanos a las carreteras.

Los primeros trabajos que dan a conocer la contaminación en el suelo y en la vegetación se deben a Canon y Bowles en 1962 (9) y Leh en 1966 (10). Dichos autores encontraron altas concentraciones de Pb en las plantas (pastos, rábanos y nabos) cultivadas en zonas cercanas a las autopistas.

En Minneapolis, en abril de 1963, se celebró un simposio que bajo el título "Air Quality Lead" se presentaron varios trabajos acerca del tema, destacando por su trascendencia las publicaciones de Motto y colaboradores (1), Daines y colaboradores (11), Dedolph y colaboradores (12), Ter Haar (13) y Schuck y Locke (14). Teniendo como base estos trabajos, en la década de los setenta se han realizado estudios afines en

Bi  
ses como: Nueva Zelanda (6, 15), Gran Bretaña (16, 17), España (4), Italia (18), Japón (19) y Egipto (20). Esto indica que este tipo de contaminación es un problema universal

¥ que los estudios locales son necesarios por existir muchos

---Page Break---

factores que gobiernan los niveles de estos metales pesados.

Fuentes de Pb, Cd y Ni

Las áreas cercanas a las carreteras están contaminadas con Pb que proviene de la combustión de ciertas gasolinas. La mejor evidencia de este origen se obtiene a partir del estudio de las proporciones isotópicas del Pb, ya que este elemento es un

mezcla de los isótopos  $^{204}\text{Pb}$ ,  $^{206}\text{Pb}$  y  $^{208}\text{Pb}$

y  $^{210}\text{Pb}$ . Según sea el ori-

gen del Pb, la proporción isotópica variará (21). Se ha encontrado que las proporciones isotópicas del Pb de las gasolinas

y las del Pb del aire, suelo y plantas que rodean a las carreteras están correlacionadas (22).

La adición de Pb a las gasolinas en forma de tetraetil y tetrametil plomo es el medio más barato de elevar el octanaje (23).

Las concentraciones de Pb en las gasolinas varían de 0.13 a 1.06 g/l.

No todo el Pb de las gasolinas se emite a la atmósfera.

Entre el 70-80% es eliminado al medio ambiente (24). Los datos de emisión de Pb por kilómetro recorrido son dispares: 81 mg Pb/km según Smith (25), 70 mg Pb/km sugieren Cantwell y colaboradores (26) y 25 mg Pb/km como el valor más conservador dado por Ter Haar (27). El último valor de 25 mg Pb/km es el más cercano para el caso de Puerto Rico. El cálculo se hizo de la siguiente manera: suponiendo una concentración promedio de 0.19 g Pb/l, presumiendo un 80% de emisión a la atmósfera y tomando un recorrido promedio de 6.34 km/l (15 mi/gal) se obtiene:

---Page Break---

fe Pb/1x0.80 .

??p.38 kms \* 24 mg Pb/ki

£1 C4 procede de las cubiertas de los neumáticos y de ciertos aceites lubricantes. £1 contenido de Cd en diferentes tipos de cubiertas oscila entre 20 y 90 ppm (2). La presencia de Cd en los neumáticos es debida al uso de óxido de Cinc en la vulcanización. Generalmente los procesos que requieren cinc estén sujetos a la presencia de Cd, ya que ambos proceden del mismo mineral. £1 contenido de Cd en los aceites lubricantes oscile entre 0.20 y 0.60 ppm (28).

La existencia de ciertas gasolinas y aceites con Ni (29)

¥ 1a abrasión atmosférica de las partes del automóvil que contienen Ni son el origen del ya detectable gradiente de Ni en

zonas cercanas a las carreteras (2).

Química, distribu

ny dinámica de Pb, Ca y Ni

Prono:

Los compuestos de alquil plomo se transforman en óxidos de plomo debido a las elevadas temperaturas y presiones que ocurren durante la combustión. Estos óxidos reaccionan a su vez con otros aditivos dando lugar a la formación de las si-

guientes sales (24, 26):

PbCl<sub>2</sub>-Br

a-Ng<sub>2</sub>PbCl<sub>2</sub> Br

8-NHg<sub>2</sub>PbCl<sub>2</sub> Br

2NHg<sub>2</sub>PbCl<sub>2</sub>-

---Page Break---

3Pb(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> · 2H<sub>2</sub>O

PbSO<sub>4</sub>

PbO-PHCT-Br-H<sub>2</sub>O

El cloro bromuro de plomo es la sal de mayor importancia

que se emite a la atmósfera a través del tubo de escape (27).

Las posteriores reacciones que sufren estas sales son objeto de gran polémica. Pierrard (30) sugirió que el  $\text{PbCl-Br}$  se descomponía fotoquímicamente, resultando óxido de plomo, cloro y bromo libre. Robbins y Snitz (31), Ter Haar y Bayard (27) confirmaron la emisión de halógenos, pero no apoyaron la descomposición fotoquímica. En cambio, Boyer y Laitinen (32), que estudiaron la estabilidad en el laboratorio de los aerosoles de los haluros de plomo en un medio con  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}$ , y luz ultravioleta, concluyeron que los halógenos no provienen de las sales de plomo.

El Pb puede existir también en forma orgánica en la atmósfera cercana a la carretera. La evaporación de la gasolina es el origen principal. La exposición en el laboratorio de polvo atmosférico en presencia de tetraetil plomo gaseoso de como resultado la adsorción de Pb orgánico en la superficie de las partículas de polvo.

Conocer la composición y el tipo de reacciones de los compuestos de Pb es esencial para estudiar su efecto ambiental,

ya que por ejemplo, la solubilidad de los haluros de plomo es

yor que la de los óxidos y sulfatos de plomo.

---Page Break---

El Pb se emite al aire en forma de partículas, presentando un tamaño variable. Oates y colaboradores (11), encontraron que el 65% del Pb del aire, consiste de partículas con un diámetro menor de 2 µm. A medida que el kilometraje del automóvil aumenta, mayor es el tamaño de las partículas (33).

El Pb que entra en la atmósfera se transfiere a los suelos, plantas y animales vía sedimentación, impactación, precipitación e inhalación. Las partículas más gruesas siguen vía de la sedimentación, mientras que las más finas siguen los últimos tres procesos. Varios estudios (11, 14) llegaron a la conclusión de que los niveles altos de Pb en el aire decaen rápidamente a medida que la distancia perpendicular a la carretera aumenta. Las partículas de mayor tamaño (> 9 µm) se depositan rápidamente; las que tienen un tamaño comprendido entre 1 y 9 µm permanecen en el aire un corto período de tiempo, y por último aquellas que son menores de 1 µm permanecen en la atmósfera un período de tiempo significativo (26).

La descarga de Pb al medio ambiente está relacionada con la densidad de tráfico rodado. Oates y colaboradores (11) estudiaron la relación entre los niveles de Pb atmosférico y la densidad de tránsito. Motto y colaboradores (1), Schuck y Locke (14) y Ganje y Page (34), han mostrado cómo los niveles de Pb en los suelos y la vegetación aumentan con un incremento

de 1a densidad de tráfico. Otros factores que también afectan al contenido de Pb atmosférico son los vientos dominantes, la

época del año y la hora del día

---Page Break---

El efecto de la densidad de tránsito se limita a una zona de 76 m a partir del borde de la autopista según Daines y colaboradores (11), 100 m según Ward y colaboradores (35) y 209

m en Alvarez (4). En estudios estacionales hechos en Estados

Unidos, se observó que en los meses de otoño los niveles de Pb en el aire eran mayores (11, 26, 27). La explicación que se da a este aumento es el patrón favorable de vientos que ocurre en esta época, los niveles de Pb atmosférico cerca de la carretera alcanzan un valor máximo en las horas de mayor tránsito rodado, es decir, en horas tempranas de la mañana y al atardecer (38).

El conocimiento de las reacciones químicas que sufren las partículas de Pb una vez que estén en el suelo es incompleto.

Singer y Hanson (39), especulan que el Pb probablemente reac-





tomada a escasos metros de 1a autopista, posee un nivel 30 veces superior al de 1a línea de fondo. A 10 m de distancia es de 5-15 veces e? contenido de 1a Tinea de fondo, y a 20 m diversos estudios sugieren que 1a influencia de la autopista se pierde (2, 42, 43).

Los perfiles cercanos a las carreteras presentan contenidos más altos de Pb en las capas superiores. El movimiento en profundidad esté restringido igualmente que en los perfiles de suelos no cercanos a las carreteras (44). Esta inmovilidad, es debida a que el Pb se enlaza con las sustancias químicas y también con los aniones del suelo, fundamentalmente  $\text{SO}_4^{2-}$ . La concentración del Pb en 1a capa superior del suelo (1a de mayor actividad biológica) tiene grandes implicaciones en la vida de los seres del suelo, de ahí el interés de estudiar los niveles de esta capa.

El Pb que se acumula en 1a vegetación del ecosistema que rodea a las carreteras proviene principalmente de 1a atmósfera y también del suelo. Los mecanismos por los cuales el Pb entra en la planta no están muy claros. La mayoría de los autores consideran que la toma de Pb por vía aérea es el principal (1, 2, 25). El Pb que esté adherido pero no incorporado al vegetal,

---Page Break---

se puede eliminar mediante lavado (5,16). Sin embargo, aun utilizando poderosas técnicas de lavado, ha sido imposible eliminar todo el Pb de la superficie foliar (45). Ter Haar (13) señala que aunque la contaminación que proviene de la atmósfera que rodea a la planta es importante, el suelo es la fuente principal de Pb de las partes comestibles de la mayoría de las plantas. Existen escasas evidencias de que el Pb se transloque de la superficie foliar al interior de la hoja. Aunque se desconoce un mecanismo para el transporte de Pb de la superficie

foliar al interior de la planta, la presencia superficial no debe ignorarse, ya que estas plantas sirven para alimentar ganado, y pueden suponer una ingestión significativa del Pb por los animales (46).

Mediante estudios hidropónicos (47), se ha encontrado que

la toma de Pb por la planta es pasiva, que depende del pH del

suelo y finalmente que es relativamente insensible a los inhibidores metabólicos. Parece ser que el Pb se localiza princi-

pelmente en 1ª pared celular (48). Zinéahl (49) indica que el Pb tiene cierta movilidad en el interior de 1ª planta bajo ciertas condiciones, y que 1ª concentración de Pb en el interior es mucho mayor ante una toma de la misma cantidad de Pb vía raíz que con respecto @ una toma por vía aérea a través de la superficie foliar.

En cuanto a 1ª identidad química del Pb en las plantas, se ha encontrado pirofosfato de plomo en raíces de habas con elevadas concentraciones de plomo. Asimismo, se identificó

---Page Break---

ortefasto de plomo en raíces de guisén {studios de solubilidad sugieren que el pirofosfato de plomo debe ser 1ª forma predominante en la planta (50).

Estudios representativos de 1ª contaminación de pastos por Pb en el entorno de las carreteras (1, 2, 62,51), indican invariablemente que los niveles de Pb descienden « medida que Te distancia e 1ª carretera aumenta. Nott y colaboradores (1) y Smith (52) presunen que el contenido de Pb en pastos que se desarrollan en zonas Tejanas a las carreteras oscila entre 1 y 5 pp a base del peso seco. Los valores obtenidos en los es-

tudios representativos van de 50 a 900 ppm de Pb a base del peso seco en las áreas más cercanas a la carretera. Generalmente estos valores son de tres a diez veces mayores que el valor de la muestra de fondo o control. La contaminación debida al Pb en pastos varía positivamente con la densidad de tráfico.

Los niveles encontrados en los cultivos aprovechables para el consumo humano varían mucho; un factor muy importante es el tipo de planta. Los niveles dados para la muestra de fondo

son menores de 5 ppm a base del peso seco (1). Los cultivos adyacentes a las carreteras presentan niveles que van de 50 ppm a 742 ppm (348 veces el valor de la muestra de fondo), Normalmente, los valores oscilan de 20 a menos de 10 veces el valor de la muestra de fondo (25). Los valores más altos de Pb no se encuentran en las partes comestibles del vegetal, sino en la superficie foliar (1).

En la mayoría de los casos la toma de Pb a través del

---Page Break---

suelo fue muy significativa, sobre todo cuando el pit del suelo era bajo. Muehlen y colaboradores (53) sugirieron que la ad-

ción de materia orgánica, cal y fosfatos reduciría la toma del

metal por la planta a través de la raíz.

cadmio

La identidad química de los compuestos de Cd que se depositan en la superficie de la carretera es desconocida. El rozamiento de los neumáticos con la superficie de asfalto hace que se forme una película donde se localiza el Cd. Una vez en la carretera, el Cd se desplaza a ambos lados mediante esco-

rent?

El Cd es sólo ligeramente soluble en medios acuosos asociados con aniones fosfato y carbonato que son muy comunes en el suelo (2). Por las mismas razones su movilidad a lo largo del perfil será escasa (6).

Los escasos trabajos dedicados al cadmio muestran que el contenido de dicho metal disminuye con la distancia a la carretera y que además el gradiente de concentración con respecto

2 la distancia segufa el siguiente orden: Cd > Pb > Ni (2, 8).

Los niveles máximos encontrados en suelos aledafios a carreteras de alto tránsito oscilan entre .94 y 1.82 ppm (extracción con HCl 1 N) y de 40-60 ppm (digestion con una mezcla de HNO<sub>3</sub> concentrado y HF 1:1) (6).

Contrariamente al caso del Pb, el Cd entra principalmente a Ja planta por Ta rafz (54). Es interesante resefiar que Tos cocientes de concentraci6n Pb/Cd en el suelo, promediados a

distintas distancias de la carretera, siempre excedieron los

---Page Break---

13

valores de dichos cocientes en la vegetaci6n. Esto indica que las plantas acumulan Cé preferentemente. Este efecto se reduce con un aumento del pH del suelo, lo cual indice que el Cd esté sujeto en mayor medida que el Pb a los efectos asociados @ un aumento de Ta saturaci6n con bases de los complejos del suelo. Street y colaboradores (55) demuestran 1a influencia decisiva del pH de? suelo en 1a toma de Cé por 1a planta. Un auento en una unidad de pH puede suponer una disminuci6n mayor del 50% en la toma del metal por la planta. Indican adenés que pH mayores de 7.25 limitan grandemente 1a solubilidad del cadnio en el suelo.

Dentro de la planta, el Cd es bastante móvil; tiene tendencia a acumularse en las hojas (56). Asimismo los niveles de Cd en plantas fueron correlacionados significativamente con los contenidos de zinc y cobre en las mismas partes de 12 plantas (57).

Los niveles encontrados en pastos cercanos a las carreteras de alta densidad de tráfico van de 0.3 a 2.2 a base del peso seco (8, 2).

Níquel:

No se tiene información sobre la forma química de los compuestos de Ni que pasan a la carretera. Al igual que el Cd, el Ni una vez esorbido en el pavimento, se desplaza a ambos lados debido a la escorrentía.

Nunesly y colaboradores (58) estudiaron la movilidad del

Níquel en el suelo y comprobaron que se trataba de un elemento que

---Page Break---

tiene gran afinidad hacia la materia orgánica, formando con ésta complejos muy estables. Parece ser que esta unión ocurre a través de los grupos carboxílicos, fenólicos y amídicos.



También puede asociarse con los complejos inorgánicos del suelo.

Los niveles de Ni en suelos cercanos a las carreteras oscilan entre 4.7-7.4 ppm (extracción con HCl 1M). A medida que la distancia a la carretera aumenta, los niveles de Ni disminuyen progresivamente (2).

Según Le Riche (59), una vez que el Ni entra en la planta, se acumula en las partes aéreas de la misma. La absorción del metal por la planta decrece ostensiblemente al aumentar el pH del suelo. Patterson (60) indica que la toma es casi nula a partir de valores de pH superiores a 7.7.

El contenido de Ni en los pastos más próximos a la carretera oscila entre 3.8-5.0 ppm a base del peso seco (2).

Efectos de los metales pesados en el biotopo del suelo

La acumulación de metales pesados en los perfiles de ecosistemas naturales produce alteraciones en la descomposición de la materia orgánica y ciertas anomalías en el ciclo nutritivo de dicho ecosistema. Estas alteraciones son debidas a que tales metales pesados inhiben la acción de ciertas enzimas del suelo, además de causar intoxicaciones en los microorganismos que habitan en el suelo (61, 62). Estudios hechos por

tyler y colaboradores (63) indican que el Pb del suelo esté relacionado con el ciclo del nitrógeno y con las transformaciones microbiológicas de Fe, Py S.

---Page Break---

En diversos trabajos se ha estudiado la fauna que vive en las proximidades de las carreteras de alta densidad de tráfico, observándose concentraciones altas de Pb, Cd y Ni en los animales. Gish y Christensen (8), muestran cómo las lombrices que viven en las zonas próximas a las carreteras poseen las concentraciones más altas, y que estas concentraciones a su vez estaban relacionadas con la densidad de tráfico. Las lombrices son depredadas por pájaros, anfibios y mamíferos lo que provoca la acumulación de metales pesados en tales animales. Quarles y colaboradores (3) obtuvieron conclusiones análogas a las de Gish y colaboradores trabajando con mamíferos inferiores.

Efectos del Pb, Cd y Ni en las plantas

Según experimentos llevados a cabo por Bazzaz y colaboradores (64), las altas concentraciones de Pb en las plantas

producen una disminución en el peso seco de éstas. También informan que altas concentraciones de Pb, Cd y Ni frenan el intercambio de gases en las hojas.

Los fenómenos de fotosíntesis y transpiración se reducen simultáneamente ante la presencia de tales metales, ya que éstos afectan la apertura y el cierre de los estomas (65, 66).

Estudios acerca de la fotosíntesis del maíz y del girasol cul-

tivados hidropéricamente, sugieren que la rapidez neta de la fotosíntesis disminuye grandemente con Cd, Ni y Pb siguiendo este orden en toxicidad (67).

---Page Break---

16

La germinación de semillas se altera ante la presencia de Cd, Ni y Pb; concretamente la elongación radical disminuye. El mecanismo de acción de estos metales se desconoce, pues la transferencia de carbohidratos desde los tejidos de almacén hasta las regiones de crecimiento activo es relativamente insensible a la presencia de metales pesados (67).

El Pb, el Cd y el Ni inhiben el transporte de electrones en las mitocondrias aisladas de *maiz* (68, 69). La inhibición sucede en una etapa temprana, probablemente durante la reacción de la dehidrogenasa inicial. Sin embargo, el Cd inhibe también la acción de la oxidasa final. Asimismo, la producción de ATP asociado a la transferencia de electrones se reduce por la acción del Pb y del Cd. Las altas concentraciones de Pb y las bajas concentraciones de Cd inhiben la elongación de las raíces primarias. Los efectos tóxicos del Cd se anularon con la adición de Zn a la solución nutritiva del cultivo. Parece ser que el Cd actúa tóxicamente al reemplazar al Zn en conformaciones moleculares críticas. El Zn es un componente esencial en la estructura de los ribosomas, pero todavía no se ha determinado el tipo de asociación del Cd con los ribosomas (70).

En estudios de significación ecológica hechos con líquenes,

se informa que en áreas cercanas a autopistas donde los niveles de Pb en la atmósfera eran muy altos, el crecimiento de la especie *Pseudoparmelia baltimorensis* en su etapa juvenil era inhibido (71).

---Page Break---

Efectos de PL, Cd y Nien Ta salud humana

Los efectos nocivos de Tos metoles pesados en el hombre se deben principalmente al poder acunulatiyo de éstos, por Jo cual 12 aceién dawina suele manifestarse a largo plazo. La intoxicaci6n por Pb (saturnismo), es un ejemplo de una enfermedad corriente de origen ambiental. La mayorta de los casos de saturnismo, se deden 2 la absorci6n y almacenamiento progresivo de pequehas cantidades de Pb.

£1 Pb ejerce su efecto principal en el sistema nervioso central y en el rifi6n (72). A escala molecular, perturba 1a biosintesis de 1a hemoglobina, ya que inhibe Ta acci6n de Ta enzina 6-Scido aminolevulinico dehidratasa, 1a cual es im prescindible para 1a biosintesis del anillo h6mico (73). Parece ser que 1a intoxicaci6n por Pb supone un aumento en los niveles de colesterol, @-lipoproteinas y # y y-globulinas, 10 que aumenta las probabilidades de arterioesclerosis (74). £1 Pb est6 considerado como un agente potencialmente concert- geno (75).

£1 Gd es un metal t6xico que tiene una vida media bio- Vogica muy prolongada. Se acumula principalmente en el higedo y en el rin6n. Se combina con una protetna soluble de bajo

peso molecular denominada tioneína que tiene gran afinidad por dicho cation. La síntesis de metaloproteínas es un mecanismo de defensa contra el Cd y otros metales pesados (76).

Se ha demostrado que el Cd está implicado en la hipertensión (77), también causa bronquitis y enfisema pulmonar (78).

---Page Break---

18

La manifestación de toxicidad debida al Cd más espectacular se observó al norte del Japón. Las intoxicaciones se debieron a la ingestión de arroz y soja con una elevada concentración de Cd (0.37 - 3.36 ppm). La enfermedad causada se llama Itai Itai (79). Es importante señalar que existe una relación significativa entre el contenido de Cd en la atmósfera y determinadas enfermedades cardiovasculares (80).

El peligro del Ni se debe a que es un potente agente cancerígeno (75).

---Page Break---

19

UBICACION Y DESCRIPCION DE LAS ZONAS DE MUESTREO

La investigación se levó a cabo fundamentalmente en el área Oeste de Puerto Rico. Siendo la carretera número 2 la vía de mayor estudio, se muestreó la carretera 406 cerca de Rhasco para utilizarla como control. Finalmente, también se tomaron muestras en la carretera número 3 (Avenida 65 de Infantería), por ser ésta la de mayor tránsito de la Isla. A continuación en la Tabla 1 se indica el nombre en clave de cada zona, su localización y la orientación. En la Figura 1 se observa el mapa de la Isla con la ubicación de las distintas zonas.

La región Oeste se caracteriza por sus laderas interrumpidas por montañas pequeñas. Los suelos residuales son los que predominan en la zona: éstos se originan a partir de tobas andesíticas y serpentinita. No ocurren formaciones de

calizas importantes (81).

El clima se caracteriza por períodos de lluvia y sequía definidos. La precipitación pluvial anual oscila desde 1397 mm en Rincón a 2082 mm en el área de Mayagüez. Las lluvias más abundantes y de mayor intensidad ocurren de mayo a octu-

bre, mientras que la sequía sucede de diciembre a marzo. La temperatura promedio de la región es de 27°C en verano y 23°C en el invierno (82).

El viento de superficie en Puerto Rico es principalmente de componente Este, con leves variaciones entre el verano y

el invierno, Se efecta por factores locales tales como la

---Page Break---

20

Tabla 1. Nombre en clave y ubicación de las zonas muestreadas

Nombre en clave

Pa

pe2

P-3-9

P-8

Pos

°-6

P-6-3

po?

P-8-3

p-9



P10

Carretera km

2 var

2 va

2 150

2 133

2 133

2 159

2 159

2 159

3 9

3 9

3 9

406 1

orientación

lado Oeste

lado Este

Jardin intermedio

lado Oeste

lado Este

lado Este

Jardin intermedio

lado Oeste

lado Norte

Jardin intermedio

Vado Sur

Jado Oeste

---Page Break---

?sepeasasanu seuoz sei ap ugioeaiqn e{ woo oDsy oguand ap edey ?{ eanbEy

?SVOV3UIS3NW S¥NOZ ©

23n0vAv

ool OLwane

une ys:

---Page Break---

22

topografía y el efecto de mar y tierra. Este último es un lugar  
a las brisas marinas. En el caso de Mayagüez, se observa cómo  
a veces la brisa marina del Oeste vence a la corriente del Este  
Es de señalar que en la costa Oeste la brisa marina se opone  
al viento del Este por la tarde y está a favor durante la noche.  
En los Apéndices I y II se pueden ver las frecuencias  
mensuales (%) de la dirección del viento en el Aeropuerto de  
Mayagüez y en la Base Borinquen de Aguadilla.

Aparte de la variación diurna descrita anteriormente,  
existe un ciclo diario en la velocidad del viento: ésta es  
máxima durante la tarde, que es cuando el calentamiento solar  
alcanza su mayor intensidad, creándose corrientes convectivas  
y turbulencias. La velocidad es mínima durante la noche.

Con respecto al grado de las zonas P-8 y P-9 (Avenida 65  
de Infantería), es de destacar que son suelos de aluvión,  
donde los vientos predominantes provienen del Noreste y del

Sureste, 1a precipitación pluvial anual es de alrededor de 1905 mm y 1a temperature pronedio es de 28°C en el verano y de 24°C en el invierno.

Es importante indicar que los datos acerca del viento, 3610 son aplicables a las zonas P-1, P-2, P-4 y P-5. A pesar de que todas las zonas presentaban una topograffa plane © ligeramente ondulada, las zonas P-6, P-7, P-8 y P-9 estaban rodeadas de montafias muy cercanas, con 1o cual no se puede aplicar una descripci3n general debido a los factores locales.

En la Tabla 2 se indican los tipos de suelos clasificados

---Page Break---

23

segin la S3ptima Aproxinaci3n.

Finalmente, las especies vegetales pertenecen al orden de las gramfneas, dominando las siguientes especies: Chenchrus echinatus L., Sorghum halepense, Paspahum paniculatum L. y Stipa ichu.

---Page Break---

24

sosiain

S10siain

sposiain

syosyau3

uapio

53 Lnwnyodous

>ynby

53 (nunyodou

aunby

saunpdoss

DIAL

squanbeanty

24dodL

Day

odnasgns

ugsoeupxoudy IIA et

o2}uagzuady yos

soaxtw ?osoLtrouy seuey

o24uagyads yoss

?oaxtu \*OS0I[pouy seuey

opie,

saad;yos} \*02194u

shoes ?osortpoay Seapatd os¥

oopuagquedyyoss

?opyogou o3xyu ?ours osot09

ee ismes o1ans ap ayuas

upBas solans ap uppoesisiseiy ?2 eLgeL

and

te

puoz

---Page Break---

## MATERIALES Y METODOS

### Toma de muestras

Se tomaron las muestras de suelos y plantas en ambos lados de la carretera a las siguientes distancias en línea perpendicular al trazado de la vía: 3.3, 10.0, 20.0 y 33.3 m más una muestra de fondo situada a más de 100 m. En algunas ocasiones, se tomaron muestras a 66.6 m. La toma de suelo fue superficial, con una profundidad máxima de 5 cm. También se hizo un perfil en cada lado muestreando a distintas profundidades (0-5, 5-10, 10-15 y 15-20 cm). Cuando hubo un Jardín intermedio entre ambos lados se tomaron también muestras de suelo y planta. De la planta solamente se muestreó la parte

Todas las muestras se almacenaron en bolsas plásticas y se llevaron a una cámara frigorífica a una temperatura de 4°C.

Todos los lugares escogidos presentaron una topografía

lana, si bien, en algunos casos habi

una ligera inclinación

hacia abajo en los primeros 20 metros. Se evitó la presen-

cia de Srboles, pues éstos hacen de barrera protectora frente @ los agentes contaminantes (83).

Las muestras de suelo se dejaron secar al aire. Una vez secas, se molieron en un mortero de porcelana y se pasaron Por un tamiz de 2 mm de ojo. Hecho esto, ya se pudo comenzar a hacer los distintos análisis.

Las muestras de plantas se secaron en un horno a 95°C

---Page Break---

durante 2 días por lo menos. Una vez secas, se molieron en una licuadora cuyas aspas eran de acero inoxidable. Ya pulverizadas, las muestras vegetales se volvieron a secar en el horno @ 95°C; antes de pesar se dejaron enfriar en un desecador.

En las muestras de suelo se determinaron algunas propiedades como pi, materia orgánica, carbonatos y texture, que estén relacionadas con la dinámica de los metales pesados en el suelo, y con su entrada a la planta. Por último en las muestras de suelo y de planta (sin lavar), se determinaron espectrofotométricamente los niveles de Pb, Cd y Ni. A continuación se explica con detalle cada una de las determinaciones. En las zonas P-8 y P-9 se determinaron los niveles de



Pb, Cd y Ni de las muestras de plantas lavadas durante una hora con agua corriente y posteriormente con agua destilada.

Grado de acidez (pH)

El pH de? suelo se determiné por el método del punto pastoso (84). Se usé un medidor de pH Corning equipado con un electrodo combinado de vidrio y calomelanos. Antes de comenzar las lecturas de pH, se aguardé un tiempo mínimo de una hora para que se estableciese el equilibrio entre el suelo y la disolución. Se le hizo 1a medida de pH a todas las muestras de suelo.

Carbonatos

Los carbonatos alcalinotérreos se determinaron mediante

---Page Break---

an

una neutralización Scida, cuyo procedimiento es el siguiente (85):

Se colocan 5 g de suelo seco y pasado por un tamiz de 2mm en un matraz Erlenmeyer de 150 ml, se añaden a continuación 25 ml de HC 1 M y se deja reposar durante 24 horas; se filtra y se lava el ácido del suelo con #0. A continua~

cin se determina la cantidad de ácido no consumida mediante

una valoración con  $\text{NaOH}$  1M previamente factorado con ftalato

de potasio. Se usó fenolftaleína como indicador.  $\text{CaCO}_3$

% de  $\text{CaCO}_3$  se calculó usando la siguiente ecuación:

$\text{CaCO}_3, \text{equ} = (\text{meq de HCl}_{\text{añadido}} - \text{meq NaOH gastado},$

$\text{CaCO}_3, \text{equivalente en } \frac{\text{g}}{\text{g}} \text{ peso de la muestra en g}$

Así se calcula la acidez total expresada como g de

carbonato. Estos valores son ligeramente superiores a los

reales ya que hay otras sustancias en el suelo que pueden re-

accionar con el ácido.

Materia orgánica

El carbono se encuentra en los suelos formando parte de

cuatro tipos de materiales orgánicos y minerales:

Carbonatos minerales, principalmente  $\text{CaCO}_3$ .

2. Formas muy condensadas próximas al carbono elemental (carbón vegetal, grafito, hulla).

3. Residuos de plantas, animales y microorganismos más

o menos descompuestos, denominados "humus".

4. Residuos orgánicos poco alterados, que sufren

---Page Break---

2e

descomposiciones bastante rápidas en el suelo.

El carbono orgánico total incluye las tres siguientes formas. La materia orgánica químicamente activa es un factor fundamental en la génesis del suelo.

Para esta determinación se siguió el método propuesto

por Walkley y Black (84), que consiste en una oxidación hi-

meica del carbono orgánico del suelo mediante un exceso de

dicromato potásico normal en medio fuertemente sulfúrico,

utilizando el calor de disolución de este ácido para facilitar

la oxidación que tiene lugar:

BC + kyr 20, + 9HYSO, ?~ 2KSO, + 2Crp(504), + BH, + 3CO,

El exceso de dicromato se valora con sulfato ferroso amoniacal en presencia de ácido fosfórico, usando ferroína como indicador. El procedimiento es el siguiente:

Se pesa 1 g de suelo seco y pasado por un tamiz de 2 mm, Se añaden 10 ml de  $K_2Cr_2O_7$ , 1 N y seguidamente se agregan 20 ml de  $H_2SO_4$  concentrado, se agita vigorosamente y se deja enfriar media hora por lo menos, al mismo tiempo se prepara un blanco con el que se sigue el mismo procedimiento. A continuación se lleva el volumen a 200 ml con  $H_2O$  destilada y se añaden 10 ml de ácido fosfórico al 85%, antes de comenzar la titulación se añaden 10 gotas de ferroína. Se valora el dicromato no consumido con una solución de sulfato ferroso amoniacal 0.5.N. El % de materia orgánica se calcula mediante la siguiente ecuación:

---Page Break---

---

29

$SM. O. = 10 (1 - 1/5) 1.34$

donde T = valoración de 1a muestra (ml de disolución ferro-

sa). \$= valoración del blanco (ml de disolución ferrosa).

## Textura

Por tratarse del mismo tipo de suelo en las diferentes distancias a la carretera a partir de 20 m, se preparé una muestra promedio mezclando cantidades alcuotes de suelo de distintas distancias a partir de 20 metros. Se empleé el método de Bouyoucus (86), cuyo procedimiento es el siguiente:

Se pesan 50 g de suelo, previamente seco y pasado por un tamiz de 2mm. A este suelo se le añade H<sub>2</sub>O y 50 ml de dispersante, que consiste en una mezcla de 35.7 g de hexametáfosfato sódico y 7.94 g de carbonato sódico en 1 l de disolución. Se agita vigorosamente la muestra tratada con el dispersante, luego se pasa esta disolución a una probeta es-

pecialmente aforada donde se vuelve a agitar de nuevo. Acabada la agitación se toma la temperatura y se hace una lectura con el hidrómetro 2 los 40s. De esta manera se conoce la cantidad de Limo y arcilla que hay en la suspensión. A las

2 horas, se hace una nueva lectura con el hidrómetro y se toma la temperatura, determinándose así la cantidad de arcilla en suspensión. La fracción arena se obtuvo por diferencia.

Dividiendo la lectura corregida del hidrómetro por el

peso de la muestra en gramos y multiplicando por 100, se obtiene

---Page Break---

30

el porcentaje del material que permanece en suspensión

Determinación de la concentración de Pb, Cd y Ni extraíble con HCl 1, en suelos

Para determinar Pb, Cd y Ni en suelos, primeramente hay que hacer una extracción de tal manera que se disponga de dichos elementos en la disolución. El agente extractante usado fue HCl 1N, ya que según estudios de Samuelson (87), la formación de complejos solubles de Pb(II), Cd(II) y Ni(II) es máxima a esa concentración de ácido. Se descartó el uso de agentes orgánicos para evitar interferencias.

La extracción se hizo de la siguiente manera: a 25g de suelo seco y pasado por un tamiz de 2 mm se le añadieron 50 ml de HCl 1 N. Se dejó reposar la mezcla durante 24 horas, después de lo cual se agitan las disoluciones en un agitador

de vidrio durante una hora. Después de esto se fil-

tra la mezcla y se conserva el filtrado en envases de plástico.

De esta manera ya están preparadas las muestras para analizar

los metales por espectrofotometría de absorción atómica.

Sucede que algunas muestras, sobre todo las más próximas

a la carretera, presentan un contenido alto en carbonatos;

Si se añaden a estas muestras 50 ml de HCl 1 N, parte del

ácido se consumirá al neutralizar los carbonatos, con lo cual

la concentración de HCl no será la adecuada para extraer los

metales. Debido a esto se recurre a un método por el cual

se añade una suficiente cantidad de ácido como para neutralizar

los carbonatos y para extraer los metales, de tal manera que

---Page Break---

31

La disolución extractora sea 1 N y que se conserve la relación 1:2. Este método consiste en tratar 5 g de suelo con 25 ml de HCl 1N, se deja reposar durante 24 horas, después se titula con una 1 N para determinar el HCl consumido por el suelo. entonces se prepara una disolución más concentrada de HCl que proveerá los miliequivalentes de ácido necesarios para la neutralización y para la extracción.

Los elementos Pb, Cd y Ni fueron determinados utilizando un espectrofotómetro de absorción atómica Perkin-Elmer,

modelo 303. Se operó con una llama de aire/acet

eno. Las



longitudes de onda, Ya apertura

la corriente y las concen-

traciones de los estándares usados se indican en la Tabla 3.

Las disoluciones estandares a1 igual que las muestras, se

Prepararon con HC1 1 N.

Determinación de la concentración de Pb, Cd y Ni en plantas

Las plantas pulverizadas y secas a una temperatura de

95°C durante 48 horas, se pasan a un desecador. Se pesan 29

e muestra y se ponen en un vaso de precipitado de 150 ml.

Primeramente se añaden 50 ml de agua regia modificada (tres partes de HNO<sub>3</sub> concentrado y una de HCl concentrado). Los

vasos cubiertos con un vidrio de reloj, se colocan en una

plancha caliente. Le temperatura de la disolución durante

Va digestión oscila de 90 a 95°C, Se continda le digestión

hasta que el volumen se reduce a1 ml, A continuacion se

añaden 25 ml de 4,0, al 30%, Se deja evaporar hasta un yo-

lumen de 3 ml, tras To cual se ahaden 6 ml de HC] 2 Ny se

---Page Break---

Table 3. Condiciones de operación del Perkin-flmer 303

Pardmetros

instrumentales

Fuente: lémpara sencilla

de cétodo hueco

Corriente (mA)

Longitud de onda (nm)

Apertura (nm)

combustible

Preeión (psig)

Flujo (/nin}

oxtdante

Prestén (psig)

Flujo (1/min}

Velocidad de

aspiración (ml/min)

Expansi6n de escala

Concentraciones  
estandares (ppm)

Sensitividad (ppm)

Plomo

Pb

u

283.3

1.0

Acetileno

5

5

Aire

30

25

4.0

n

0-20

0.6

Cadmio

ca

u

228.8

1.0

Acetileno

5

5

Aire

30

25

4.0

x2

0-0.5

0.03

Niquel

Ni

18

232.0

0.3

Acetileno

5

5

Aire

30

25

4.0

x2

0-1.0

on

---Page Break---

33

vuelve @ evaporar hasta un volumen de 3 ml. Una vez enfriada  
Va mezcla, se Filtra para eliminar pequeñas cantidades de s6-  
Vidos cerosos, levando las disoluciones @ un volumen final  
de 10 ml con agua destilada. Cada vez que se hizo la diges-  
ti6n de una serie de muestras, se prepararon 2 blancos que  
siguieron los mismos pasos que las muestras. Preparadas las  
muestras, se determinaron las concentraciones de Pb, Cd y Ni  
análogamente al caso de las muestras de suelo.

Es importante indicar que se siguieron tos tratamientos

recomendados por le £. P. A. para 1a cristalerfa usada (88).

---Page Break---

34

## RESULTADOS Y DISCUSION

En la Tabla 4, se muestran Jos valores del £ de materia  
orgénica, pH, carbonatos y textura de las distintas zonas es-  
tudiadas. En el caso del 4 de materia orgénica, carbonatos

y textura, los valores corresponden a muestras promedio preparadas mezclando cantidades alcuotas de suelos tomados a diferentes distancias, excluyendo de 1a mezcla las muestras más cercanas @ la carretera. En cuanto al pH, los valores corresponden a 1a media de los valores individuales a partir de 20 metros de distancia a 1a carretera, ver Tabla 5. La exclusion de las muestras que estén a menos de 20 metros de distancia a 1a carretera, es debido a que los suelos estén muy afectados por 1a proximidad de 1a carretera y sus propiedades no son representativas de 1a zona estudiada.

los % de materia orgánica 11egan a alcanzar valores fran-

camente altos, sobre todo en las zonas P-6, P-7, P-8, P-9 y P-10. En cambio, los niveles de carbonatos son muy bajos y

@ veces practicamente inexistentes. Las texturas de todas las zonas no differen mucho entre sf, dominando los suelos franco

arcillosos y arcilloso:

esto indica que el tamafio de las par-

ticulas es bastante pequeño, siendo ésta una condición que

vorece 1a retención de los metales por el suelo.

Los valores de las muestras de las zonas intermedias (is-Jetas) P-3-J, P-6-J y P-8-J difieren bastante de los valores

@ ambos lados de 1a carretera; esto es debido a que los suelos

---Page Break---

Tabla 4. 2 de materia orgánica,  $\text{pH}$ ,  $\text{CaCO}_3$ , y texture de  
Tas zonas muestreadas.

Zona xm. ot  $\text{pH}$ ? x caco,} Texturat

Pal 1.92 6.15 3.5 Fee

Po 2.37 5.50 2.0 FeAc

P-3-d 8.37 7.50 17.2 -

Pa4 3.45, 4.78 0.0 Ae

P-5 2.06 5.51 0.0 Ac

P-6 5.77 5.20 0.0 Ae

P-6-9 6.75 7.20 6.0 -

PT 5.58 5.35 2.5 F-Ac

PB 4.99 6.85 3.6 Fae

P-8-3 5.12 7.35 6.3 -



P-9 4.40 4.30 2.3 Ac-Ar

P10 6.29 4.55 0.0 Ac

Valores de muestras promedio

valores medios de muestras

---Page Break---

de Tos Jardines intermedios son diferentes.

E1 pli de 12s zonas es Scido a excepci3n de 1a zona P-8

En la Tabla 5 se ve c3mo generaimente, a medida que 1a distancia a la carretera aumenta, e1 pH disminuye. Esto se debe a que en Jos lugares pr3ximos a las carreteras, las distintas

Sustancias que se utilizaron en la construcci3n de 3stas, pro-

vocaron un aumento del pH. Tambi3n se observa que el ph de los lados opuestos son similares, excepto en las zonas P-8 y P-9. Esto es explicable, ya que 1a zona P-8 es un lugar sin cultivos

ientras que la zona P-9 había sido cultivada, y por tanto, tratada con abonos que pudieron provocar la disminución del pH, entre otros factores.

Antes de realizar los análisis de los metales en el suelo y la vegetación, se estudió la precisión de los análisis. Para la determinación de los metales extraíbles con HCl 1 N en suelos, se estimó la precisión mediante el análisis de réplicas de una muestra de suelo. Los resultados de la Tabla 6 indican que la precisión es muy aceptable en los análisis de los tres metales.

En el caso de la determinación de los contenidos totales de los metales en plantas, se utilizó "National Bureau of Standards orchard Leaves No. 1571" para estudiar la precisión y el porcentaje de recuperación del método usado. En la Tabla 7 se observa que los resultados son bajos para el caso del Pb, con un 89% de recuperación. En los casos de Cd y Ni se obtuvo 109% y 100% respectivamente. La baja recuperación en

---Page Break---

rentes distancias desde las carreteras.

Distancia a la carretera (metros)

Joma 3.3 10 20 33,366.68 fondo

Pa 7.25 7.006.106.0005 ig 40

P2730 6.60 5.55 4.80.95

P4755 4.904.900 - -

PS 7.35 4.80 5.006.755 - -

PG 7.200 7.15 5.90 5.25ags

P7730 6.305.804.7065 5.10

P@ 7.807.207.2573 -- 6.00

P9760 7.28 4.50.00 6.35

P1000 4.55 4.60 4.50 4.60 - 4.60

---Page Break---

38

Tabla 6. Precisión de los análisis de suelos.

Metal Nam. de réplicas = & sd Precisión

12 95.2 2.6 2.7%

cd ?4 0.30 0.01 3.3%

Tabla 7. Análisis de National Bureau of Standards (NBS)

orchard leaves n. 1571.

Nom. de réplicas Valor certificado Valor obtenido

Pb, ppm n 3 4 3

Cé, ppm 5 0.11 + 0.02 0.12 0.05

Ni, ppm 7 1.3 0.2 1.3 0.8

---Page Break---

39

el análisis de Pb es debida a que parte del metal se acumula  
© almacena en 1a pared celular (48) y la digestion no es 10  
suficientemente fuerte como para disolver todo el metal.

El estadístico usado en la Tabla 7 es 2 desviaciones es-  
tandar para el análisis realizado en la investigación y 2 des-  
viaciones estandar o e1 intervalo completo de los valores ob-  
servados en los datos certificados de "National Bureau of  
Standards\*.

Contenidos de metales en suelos y plantas

En las Tablas 8-12 se pueden ver los niveles de los metales Pb, Cd y Ni en las distintas zonas y su variación con la distancia a 1a carretera. Esto último se observa mejor en las correspondientes Figuras 2-27, donde el eje de abscisas es la distancia a 1a carretera en metros y el eje de ordenadas el contenido promedio del metal en ppm. Este valor promedio se obtiene de dos valores, ya que de cada muestra se hizo un duplicado.

#### Estudio de la distribución del Pb en el suelo

Los niveles de Pb en el suelo disminuyen claramente a medida que aumenta la distancia a la carretera. En las zonas P-4 (Tabla 9 y Figura 4) y p-8 (Tabla 11 y Figura 8) el contenido de Pb a 10 m es menor que a 20m; este tipo de anomalía ha sido observada en algunos trabajos (35). La razón probable es que existe un desnivel inicial entre 1a carretera y 14 zona, lo que provoca que por escorrentía del suelo, Es interesante observar que esta anomalía no sucede

se

Tabla 8. Variación de los contenidos promedio de Pb, Cd y W con la distancia @ la carretera en las zonas Poly P-2

Contenido promedio (ppm)

Distancia a te

Zona Metal carretera (m) Suelo Planta

Pb 3.3

10.0

20.0

33.3

66.6

fondo

ca 3.3

10.0

20.0

33.3

66.6

fondo

Ni 3.3

10.0

20.0

3313

66.6

fondo

P-2 Pb

cd

Mt 3.3

---Page Break---

a

Tabla 9. Variación de los contenidos promedio de Pb, Cé y Ni  
con 1a distancia a la carretera en las zonas P-4 y Po

Contenido promedio (ppm)

Distancia a la

Zona Metal carretera (m) Suelo Planta

Poa Pb 3.3 679 99.0

10:0

20:0

3313

cd 3.3

10:0

20.0

3313

Ni 3.3

1020

20.0

33.3

Pos Pb 3.3

10:0

20:0



3313

ca 3.3

10:0

20:0

33.3

Ni 3.3

10:0

20:0

3323

---Page Break---

42

Tabla 10. Variación de los contenidos promedio de Pb, Cd y Ni con la distancia a la carretera en las zonas P-6 y P-7

Contenido promedio (ppa)

Distancia a la

Zonas Metal' ~? carretera (m) Suelo Planta

P-6 Pb 676 128

168,

99.9

58.5

VW

mW

ca °

0

0

0

0

0

Mi 60

13,

20.

7

6.

3.

P-7 Pb 913

102

29.0  
34.1  
18:3  
1210  
cd 0.85  
0:30  
0:36  
0134  
0:28  
0.28  
Ni 3.3 63.1  
10:0 12:0  
20.0 6:8  
33.3 13.6  
66.6 35  
fondo 16

---Page Break---

Tabla 11. Variación de los contenidos promedio de Pb, Cd y Ni  
con la distancia a la carretera en las zona: P-2 y P-9

Contenido promedio (ppm)

Distancia a ta

Zona Metal carretera (m) © Suelo Planta Planta lavada

PB pb ego 311 256

78.6 51.3 38.9

308° 52.9 45.4

282 15.7 1820

12.4 10.1 912

cd 0.76 0.73 0.54

0:40 0.82 0124

0:47 0.40 0131

0:45 0.25 0220

0:39 0.23 0:21

Ni 7.300 7.4 4.

69 512 318

Wo at 25

87 515 316

70 (319 315

P-9 Pb 390 208 152

287 31.8 28.7

52.5 17.4 1422

56.8 1116 10:5

12:5 910 78

cd 0.61 0.57 0.40

0:40 0:50 0:20,

0:20 0.32 ol18.

0:12 0.25 0:20,

O13 0132 ons,

Ni 1.6 6.8 5.9

7200 U7 207

2:20 213 2.4

i439 218

31 47 412

---Page Break---

a4

Tabla 12. Variación de los contenidos promedio de pb, co y Ni con la distancia a 12 carretera en la zone P-10

Contenido promedio (ppm)

Distancia a la

Zona Metal carretera (nm) Suelo Planta

P10 Pb 3.3 21.0 13.7

10.0 19.4 7.0

20.0 9.8 3.0

33.3 11.0 3.0

fondo 10.8 3.0

cd 3.3 0.09 0,31

10.0 0.09 0.21

20.0 0,06 0.20

33.3 0.07 0.16

fondo 0.07 018

Ni 33 1.6 2.5

10.0 Mw 2.0

20.0 0.9 1.5

33.3 a9 10

fondo 1.0 1,0

---Page Break---

45

en la planta, ya que gran parte del Pb que reciben las plantas Wega por via aérea.

En las distancias de fondo, © control, los niveles en-

contrados son muy sii

lares para todos los casos, oscilando

de 13.6 en 1a zona p-1 a 10.8 ppm en la zona P-10, que tam-

bién se utiliza como control. Los niveles encontrados son

muy similares e incluso a veces superiores a los dados a co-

nocer en otras investigaciones (24). Es importante senalar

que 1a contaminación no es mayor en aquella zona donde hayan

los niveles m&s altos, sino donde la descarga de Pb a lo largo

de una línea es mayor. Esta descarga se determin integrando

gráficamente hasta 33.3 mde distancia. Esto se observa muy

bien entre las zonas P-1, P-2 con 22100 veh{culos/dfa de den-

sidad de tráfico y las zonas P-8 y P-9 con 72250 vehiculos/

fa, (Tabla 17). En las zonas de menor tráfico los niveles



23.3 m son mayores que en las de tránsito superior, 10 cuanto es 16gico, en cambio al determinar las reas relativas, Estas son de 1.84 para la carretera de 22100 vehiculos/dia y 5.25 para 1a de 72250 vehfculos/dfa.

En las zonas P-1, P=2, P-4 y P-5 que son los Gnicos Tugares donde se puede estudiar el efecto del viento, se observa (ver Figuras 2-5) que los niveles, 0 mejor dicho las Greas de descarga de Pb en suelo son mayores en los lados Oeste.

1 lado Oeste (1.10), P-2 lado Este (0.74) y P-4 lado Oeste (0.74), P-5 lado Este (0.56). En efecto, con los datos tomados del Aeropuerto del Manf en Mayaguez y de la

---Page Break---

46

Base Borinquen en Aguadilla (ver Apéndices I, II), se deduce que el viento dominante es de componente Este, y Téigicamente

se produce una mayor contaminación en los lados Oeste. Estos resultados son también una prueba importante de que gran parte del Pb llega al ecosistema por vía aérea.

#### Estudio de la distribución del Pb en las plantas

En todas las zonas se observa invariablemente que los contenidos de Pb en las plantas disminuyen a medida que la distancia a la carretera aumenta (ver Tabla 8-12 y Figuras 3, 5, 7, 9 y 27). Los niveles más altos se alcanzaron en las zonas P-8 y P-9 con 311 y 208 ppm de Pb respectivamente a 3.3 m de distancia.

El efecto del viento también se puede observar en el caso de las plantas; P-1 lado Oeste (0.17), P-2 lado Este (0.11) y P-5 lado Oeste (0.16), P-5 lado Este (0.03). En efecto, hay una mayor contaminación en las zonas situadas al Oeste,

Los niveles encontrados en las plantas se consideran muy altos; debe tenerse en cuenta que la planta puede acumular grandes cantidades de Pb en un período corto de tiempo. Los niveles en los lugares de fondo, son similares, oscilando entre 2.9 ppm en la zona P-2 a 9.2 ppm de Pb en la zona P-8, los cuales son considerados como normales.

En las zonas P-8 y P-9 (ver Tabla 11) se hizo un Tayado de 1as plantas con agua, y se observa cómo a medida que la distancia a la carretera aumenta, el Pb eliminado por lavado

disminuye. Este tipo de observación ha sido recogida en

---Page Break---

Pel ~ P-2

100

a

fondo fondo

Distancia a la carretera (m)

Figura 2. Contenido de Pb en suelos de las zonas P-1 y P=2

Pel . Pe

of as

wwe OS

fondo fondo

Distancia a la carretera (m)

Figura 3. Contenido de Pb en plantas de las zonas P-1 y P-2

---Page Break---

ae

Distancia a 1a carretera (m)

Figura 4. Contenido de Pb en suelos de las zonas P-4 y P-5

& conc. Pb (pp)

Distancia ala carretera (m)

Figura §. Contenido de Pb en plantas de las zonas P-4 y P-5

---Page Break---

49

?el

5

P-7 2004 P-6

Barwa ae ae

fondo fondo

Distancia a la carretera (m)

Figura 6. Contenido de Pb en suelos de las zonas P-6 y P-7

te we eae

fondo fondo

Distancia a la carretera (m)

Figura 7. Contenido de Pb en plantas de las zonas P-6 y P-7

---Page Break---

50

mae "ae aT

fondo fondo

Distancia a la carretera (m)

Figura 8. Contenido de Pb en suelos de las zonas P-8 y P-9

3 (ppm) 3

cone.Pb

of]

Toe 8 ase ao ae

fondo = \* fondo

Distancia a la carretera (m)

Figura 9. Contenido de Pb en plantas de las zonas P-8 y P-9

---Page Break---

ol

trabajos anteriores (34, 5). La explicación que se da a este hecho es que el Pb se emite a la atmósfera con un tamaño de partícula variable. Las partículas mayores de 9 micras se depositan rápidamente, las medianas, entre 1 y 9 micras, se mantienen en las atmósferas más tiempo, pero no el suficiente como para recorrer una distancia larga. Por último las partículas menores de 1 micra, permanecen en la atmósfera un período de tiempo significativo y pueden desplazarse recorriendo largas distancias (89, 26, 43). Entonces las plantas más cercanas a la carretera reciben un aporte importante de particu-

las gruesas, que debido a su tamaño difícilmente pueden incorporarse al interior de la planta, y por tanto, son fáciles de eliminar mediante un lavado. En cambio, las plantas lejanas a la carretera reciben sólo partículas de tamaño pequeño, que sí se pueden incorporar al interior de la planta, y que son más difíciles de eliminar por lavado.

#### Estudio de la distribución de Cd en el suelo

La variación de los niveles de Cd en el suelo con respecto a la distancia a la carretera sigue un patrón muy similar en todas las zonas. A 3.3 m los contenidos de Cd en el suelo son los más altos, para descender rápidamente a un valor más o menos constante (ver Tablas 8-12 y Figuras 10, 12, 14, 16, 26). La zona P-9 es una excepción, pues los valores van disminuyendo paulatinamente, alcanzándose el contenido constante a 33.3 m de distancia.

Los niveles informados son muy similares a los dados a conocer en la literatura (1-1).

---Page Break---

Las concentraciones de Cd en los lugares de fondo oscilan entre 0.07 ppm en 1a zona P-10 y 0.39 ppm en la zona P-9. Estas diferencias son demasiado altas, y se puede afirmar que el suministro de Cd a partir de 1a roca madre es muy importante y que puede enmascarar 1a posible contaminación procedente de los automóviles.

El viento no ejerce ningún tipo de efecto, ya que las áreas de descarga de Cd son muy similares a ambos lados de la carretera: P-1 lado Oeste (0.39), P-2 lado Este (0.38) y P-3 lado Oeste (0.26), P-5 lado Este (0.30). Este es el resultado esperado, ya que el Cd se transporta a través del suelo mediante escorrentía.

Estudio de 1a distribución de Cd en las plantas

La variación de los contenidos de Cd en las plantas con respecto a la distancia a 1a carretera no siguen el mismo patrón que en el caso de los suelos (ver Tablas 8-12 y Figuras 1, 13, 15, 17, 2). Un factor muy importante en 1a toma de Cd por la planta es el pH del suelo. Está demostrado que los pH ácidos favorecen la entrada del metal a 1a planta (55, 57). En las zonas estudiadas se observa que el pH disminuye de forma importante con la distancia a la carretera (ver Tabla 5).



Se tienen pues dos efectos que deben gobernar la distribución del c

La distancia a la carretera y el pH del suelo.

Otro factor muy importante que no se controló totalmente es que las distintas especies de gramíneas tienen capacidades

de absorción de Cd diferentes.

---Page Break---

one

Pal oso P-2

ea 8

fondo fondo

Distancia a la carretera (m)

Figura 10. Contenido de Cd en suelos de las zonas P-1 y P-2

gone. Cd (ppm)

g

wen 9S eee

fondo fondo

Distancia a la carretera (m)

Figura 11. Contenido de Cd en plantas de las zonas Pel y Po?

---Page Break---

Cone. Cd (ppm)

3 8

Uy lo

Distancia a la carretera (m)

Figura 12. Contenido de Cd en suelos de las zonas P-4 y P-5

P-4 P-5

?conc. Cd (ppm

nil

Distancia a 1a carretera (m)

Figura 13. Contenido de Cd en plantas de las zonas P-4 y P-5

---Page Break---

Conc. Cd (ppm)

?hl

Fondo SS Se

Distancia a la carretera (m)

Figura 14. Contenido de Cd en suelos de las zonas P-6 y P-7

Cone. Cd (ppm)

ia

:

Fondo ees Swi eg

Distancia a Ya carretera (mn)

Figura 15. Contenido de Cd en plantas de las zonas P-6 y P-7

---Page Break---

cone. ?6 (opm)

Po P-8

I Lu

Fonds Be See as

fondo

Distancia 2 1a carretera (m)

Figura 16. Contenido de Cd en suelos de las zonas P-8 y P-9

P-9 PB

i

3

3

fondo See See fondo

Distancia a la carretera (m)

Figura 17, Contenido de Cd en plantas de Tas zonas P-8 y P-9

---Page Break---

Se observa que en las zonas P-1 y P=2 los valores de Cd mis altos ocurren 2 33.3 m. En las denfs zonas el valor nas alto se alcanz6 a 3.3 m, pero la distribuci6n de esas zonas

welve a tener un méxino a distencies intermedias, donde 1a acidez del suelo es apreciable.

Se destacan los velores altos encontrados en 18 mayorte de las zonas, por ejemplo 2-47 ppm en la zona P-6 2 3.3 my

1.67 ppm en 1a zona

-2 2 33.3 m. Estos valores sobrepasan por mucho los valores considerados como normales. Los contenidos de Cd en los lugares de fondo oscilan entre 0.13 ppm en Ja zona P-6 y 0.32 ppm en 1a zona P-9. Con el resto de los valores en conjunto, las diferencias no son importantes como ocurri6 en el caso del suelo.

Los niveles hallados en plantas lavadas de las zonas P-8 y P-9 muestran que a medida que aumenta la distancia @ la ca~

rretera, 1a cantidad

Cd eliminada por lavado es menor, con excepci6n de Ta muestra de fondo de 1a zona P-9. No se en-

cuenta explicación a esta disminución pues en teoría no debería ocurrir, ya que el Cd pasa a la planta casi exclusivamente a través de la raíz.

Estudio de la distribución de Ni en el suelo

En las Tablas 8-12 y Figuras 18, 20, 22, 24, 26, se puede ver que la variación de la distribución del Ni en el suelo con respecto a la distancia a la carretera es bastante irregular.

Generalmente el valor más alto se alcanza en las proximidades

de la carretera, luego ocurre una

disminución, volviéndose a

---Page Break---

un valor casi constante con algunas irregularidades.

En el Suroeste de Puerto Rico, y sobre todo en las zonas P-6 y P-7, los contenidos encontrados son muy altos, siendo los valores más altos 60.5 y 63.1 ppm en P-6 y P-7, respectivamente. En muchas zonas el factor roca madre es muy importante, y a veces predominante, ya que la región es muy rica en serpentinita (90). Esta puede ser la causa de la distribución irregular encontrada. También se observa que el Ki

procedente de la carretera tiene una movilidad baja, y su efecto S610 Mega a unos pocos metros. Un factor que ayuda a esa inmovilidad es el alto contenido de materia orgánica del suelo.

El viento no afecta a la distribución del Ni, tal como era de esperar, pues el Ni se desplaza de la carretera a las zonas vía suelo por escorrentía.

Los valores hallados en los lugares de fondo son muy variables, oscilando entre 1.0 ppm en la zona P-10 y 18.7 ppm en la zona P-1. Esto es indicativo del efecto del factor roca madre que a veces enmascara el suministro de Ni que procede de la carretera.

En relación a las zonas P-8 y P-9 (ver Tabla 11 y Figura 24), que están ubicadas en el Suroeste de Puerto Rico, la distribución de la zona P-8 es irregular, alcanzándose un valor máximo a 20 m de distancia. En cambio, la zona P-9 sigue una distribución que involucra al tránsito rodado por la carretera como posible fuente de contaminación.

En general, es el que los niveles de Ni más altos se encuentren

---Page Break---

en las cercanías de la carretera, y es que existe una concentración



pero detectable gradiente de concentración, son indicativos de la existencia de contaminación por Ni procedente de la carretera.

### Estudio de la distribución de Ni en las plantas

La distribución de Ni en las plantas con respecto a la distancia a la carretera no sigue el patrón de distribución del suelo (ver Tablas 8-12 y Figuras 19, 21, 23, 25, 27). Destaca que la irregularidad es mayor; ya no se obtienen los contenidos más altos a 3.3 m. Incluso a esa distancia se encontró el nivel más bajo, como es el caso de la zona P-5.

El pH del suelo es un factor importante en la toma del metal por la planta, pues cuando el pH es bajo, las plantas toman mayor cantidad de Ni. En la zona P-5 la disminución del pH va acompañada de un aumento de Ni en la planta. También, a partir de ciertos valores de pH la toma del metal puede quedar restringida (55).

No se observa un gradiente de concentración como en el caso del suelo

estos resultados no dan pie para afirmar que exista una contaminación de Ni procedente de 1a carretera. Los contenidos hallados en las plantas lavadas de las zonas P-8 y P-9 (ver Tabla 11) muestran que hay una disminución del metal al lavar la planta. Como el Ni entra a la planta vía raíz, no es fácil explicar por qué se elimina tan fácilmente. Se puede pensar que al lavar, el Ni que entró a la planta de forma pasiva, puede volver a salir de la misma

---Page Break---

8 conc. Ni (ppm)

Todo a Fondo

Distancia a la carretera (m)

Figura 18. Contenido de Ni en suelos de las zonas P-1 y P-2

Pa 3 pe

o a

fondo fondo

Distancia a 1a carretera (m)

Figura 19. Contenido de Ni en plantas de las zonas P-1 y P-2

---Page Break---

sent Lsi?

Distancia a 1a carretera (m)

Figura 20. Contenido de Ni en suelos de las zonas P-4 y P-5

Poa P-5

B Conc. Ni (ppm)

1

?i

Distancia a la carretera (m)

Figura 21, Contenido de Ni en plantas de las zonas P-4 y P-5

---Page Break---

Figura 22.

Figura 23.

Ni(ppm)s

Cone.

]

a a

fondo

Distancia a la carretera (m)

Contenido de Ni en suelos de las zonas P-6 y P-7

° pw as ae

fondo

Distancia a la carretera (m)

Contenido de Ni en plantas de las zonas P-6 y P-7

---Page Break---

53

Wi (ppm)

Cone.

uo]

fondo eR eS Bee Se fondo

Distancia a 1a carretera (m)

Figura 24. Contenido de Ni en suelos de las zonas P-8 y P-9

wi (ppm)

Conc.

rh Wat

Baw Oo

Fondo fondo

Distancia a 1a carretera (m)

Figura 25. Contenido de Ni en plantas de las zonas P-8 y P-9

---Page Break---

LT x e a

peas Ty, Caw Fondo BO 3H Pongo

Distancia a la carretera (m)

Figura 26. Contenido de Pb, Cd y Ni en suelos de Ta zona P-10

Pb (ppm)

cone.

Bee fondo fondo fondo

Distancia a la carretera (m)

Figura 27. Contenidos de Pb, Cd y Ni en plantas de 1a zona P-10

---Page Break---

manera.

Estudio de los niveles de Pd, Co y hi en los suclos y les  
plantas de las istetas

En la Tabla 13 se observa que los miveles de Pb en los

suelos y las plantes son meyures que los enconirados en los

ledos colindantes. Le cause princizal es que tz zona inter-

media recibe de una forma mis directa

a descarga de los vehiculos que circulan en ambas direcciones. También son mayores porque la muestra se encontraba a menos de 1 m del firme de la carretera, Es importante señalar 1a gran cantidad de Pb que acumulan las plantas, teniendo en cuenta que la hierba es cortada periódicamente.

Los niveles de Cd no difieren mucho de los encontrados @ ambos lados de la carretera (ver Tabla 13). La razón por la cual no son mayores es el escalón que evita el movimiento del metal hacia la zona ajardinada en cierta manera, Exactamente lo mismo se puede decir del Ni.

Los valores obtenidos están dentro de los intervalos encontrados por Ward y colaboradores (35) en las isletas ajar-

dinadas de Nueva Zelanda

Estudio de la variación de los contenidos de Pb, Cd y Ni con la profundidad en un perfil de suelo

En las Tablas 14-16 se muestran los contenidos de Pb, Cd y Ni a diferentes profundidades. En las zonas P-8, P-9 y P-10,



se hizo el perfil a 10 m de distancia por considerar que  $\phi$  20m

el efecto de la carretera no era lo suficientemente importante

---Page Break---

Tabla 12 Contenidos de Pb, Co y wi en el suelo y 1a vais

Cidn de jardines éniermicios.

Contenidos de Pb, Cé y hi (ppm)

Zona Metal Sueto Plavtaes densidad de trético

(vehicutos por cia}

3 Jardin Pb 481

cd 1.00 0.70 24680

Mi 11.8 4s

P-6 Jardin Ph 1204 221

cd 710.25 40000

Ni 34.50 18.4

P-8 Jardin Po 1427 427

cd 0.91 0.72 72250

Mi? 44

---Page Break---

Tabla 14. Variación del co: tenide ce PD con Te srof adi ve

Contenidy de Pb (pom) © an perfil

Profundiésd em) Distancia a 18

carretera om)

Zona 0-5 1010-98

Pa rr 20

P-2 15.5 18.018. 20

Pe 27.4 28.8 17.8 20

Ps 58 58.5 4B 5.0 20

P-6 106 a9 23.9 19 20

Po? 83000 820 8.6 20

Pe 593162180 57.4 10

°-9 3081782 153 10

19.4 17-8 18.8 15.7 10

---Page Break---

Tabla 1s.

Zona

Pel

Ps

Ps

P-6

P-7

P-3

P-10

Variación del contenido de Co con la profundidad

0.22

0.31

0.18

0.35

0.68

0.43,

0.10

## Contenido de Cé (ppm) en perfiles de .usic

Profundidad (cm)

5-10

0.18

0.29

0.21

0.17

0.28

0.28

0.40

0.35

0.06

10-15

0.22

0.26

0.28

0.23

0.33

0.29

0.35

0.36

0.03

15-20

0.20

0.30

0.20

0.16

0.22

0.33

0.30

0.36

0.03

Distancia a la

carretera (m)

20

20

20

20

20

20

10

10

10

---Page Break---

Tabla 1?. Variación del contenido de Ni con la profundidad

Contenido de Ni (ppm) en perfiles de suelo

Profundidad (cm) Distancia  $\phi$  le

carretera (m)

Tona 0-5 5-10 10-15 15-20

Pa 13.8 10-3 13.8 12.0 20

Pe2 Wa 19.5 15.0 (13.8 20

Pa 1.2 1.2 1.2 0.8 20

P-5 1.2 1.2 1.3 1.2 20

2-6 30.6 34.7 32.5 27.7 20

P-7 12.0 6.2 10.5 6.5 20

PB i.e 10.2 10.7 11.0 10

P-9 9.2 6.7 5.8 4.6 10

P-10 ww 0.8 0.8 0.9 10

---Page Break---

tomando como base de esta aseveración los resultados obtenidos de las zonas muestreadas anteriormente.

En las zonas P-1, P-2, P-4, P-5, P-6 y P-7 no existe una variación significativa del contenido de los metales con respecto a la profundidad, excepto en el caso del Pb en las zonas

P

+ P-6 y P-7. Las razones que explican la ausencia de variaciones pueden ser, o bien la antropización del suelo o que el efecto del tráfico a 20 m no es considerable. En cambio, en las zonas P-8, P-9 y P-10, el Pb disminuye con la profundidad, demostrándose así que éste se deposita superficialmente. El Cd disminuye con la profundidad en las zonas P-8 y P-10, mientras que el Ni sólo lo hace en la zona P-9.

Los datos de la zona P-10 son interesantes, ya que la densidad de tránsito es muy pequeña (630 vehículos/día). En esta zona se observa un gradiente de concentración con la profundidad para el Pb y el Cd.

Estudio de la relación entre la densidad de tráfico y la con-

taminación de suelos y plantas con Pb, Cd y Ni

Los contenidos altos de un metal en una zona no son indicativos del nivel de contaminación de ésta. La descarga total del metal que sufre la zona será un parámetro más adecuado. Para calcular éste se hace una integración gráfica de la curva de distribución de metal con respecto a la distancia, determinándose el área bajo la curva con un planímetro. Se puede calcular la descarga del metal a diferentes distancias. En la investigación se escogió 33.3 m, ya que a partir

---Page Break---

de esta distancia, el efecto de la densidad de tráfico es 90% marcavo. Las áreas así calculadas son relativas.

Como la densidad de tráfico afecta a ambos lados, se sumaron las áreas individuales de las zonas opuestas. A continuación se determinaron los coeficientes de correlación entre las áreas que corresponden a las descargas de los metales en el suelo y las plantas con respecto a la densidad de tráfico. En el caso de la zona P-10, en la que sólo se muestre un lado de la carretera, se multiplicó por 2 el área de la descarga.

En las Tablas 17, 18, 19 se observan los valores individuales de las áreas de descarga para suelos y plantas y en



Las siguientes columnas las sumas de tales áreas que se relacionarán con las respectivas densidades de tráfico, En las Figuras 28, 29 se representan gráficamente para el caso de Pb las relaciones entre las áreas de las descargas en suelos y plantas con respecto a la densidad de tráfico. Se observe que la relación entre la densidad de tráfico y la descarga de Pb en el suelo y en las plantas es muy significativa ( $P < 0.01$ ).

Este hecho apoya además la tesis de que el Pb proviene de la carretera. En cambio la relación resultó no ser significativa para los casos del Cd y del Ni tal como se observa en las Tablas 18, 19), Esto no indica que se pueda afirmar que el Cd y el Ni no provengan del tránsito rodado, ya que hay otros factores como el tipo de suelo, pH, % de materia orgánica

ica

y textura que afectan los niveles de Cd y Ni en el suelo.

---Page Break---

Tabla 17. Variación del área de la descarga de Pb en suelos y plantas con respecto a la densidad de tráfico

Area Area Suma i

Jona Pb Suelo Pb Planta Suelo Plantas Densidad de tráfico

Po 1.10 0.17

1.86 0.28 22100

pez 0.74 on

pa 0.78 0.16

1.30 0.19 13680

P-5 0.56 0.03

P60 1.65 0.34

2.61 0.51 40000

P-7 0.96 0.17

P-8 3.56 0.86

5.25 1.36 72250

P-9 (1.69 0.50

P-10 0.07 0.02 0.14 = 0.08 630

Lehiculos/dta

1 (descarga Pb Suelo: densidad de tráfico) = 0.994 (P < 0.01)

r (descarga Pb Planti

densidad de trafico) = 0.978 (P < 0.01)

---Page Break---

73

Table 18. Verificación del área de 1a descarga de Cé en suelos y plantas con respecto a la densidad de tráfico.

fre hrea Suma 1

Zona Pb Suelo Pb Planta Suelo Plantas Densidad de tráfico

Pal 0.39 0.88

0.77 1.28 22100

P20 0.38 0.47

Pa 0.26 0.55

0.56 13680

P-5 0.30 0.70

P-6 0.26 0.72

0.52 1.35 40000

P-7 (0.28 0.63

P-8 0.40 0.51

0.69 0.97 72250

Po 0.29 0.40

P-10 0.08 0.18 0.16 0.36 630

\vehiculos/dia

0.582 (P < 0.20)

1 (descarga Cd suelo: densidad de trafico)

r (descarga Cd planta: densidad de tráfico) = 0.266 (P. < 0.40)

---Page Break---

Tabla 19. Variación del area de la descarga de Mi en suctes  
y plantas con respecto @ la densidad de tráfico.

hrea Area Suma

Jona Ni Suelo Ni Planta Suelo Plantas Densidad de tréfi

Pr 0.43 0.16

0.77 (0.30 22100

P2 0.44 0.14

Peo 0.03 0.15

0.10 0.46 13680

P-5 0.07 0.31

P6045. 0.10

0.75 0.18 40000

P-7 0.30 0.08

PB 0.17 0.07

0.29 0.18 72250

P-9 0.12 0.07

P10 0.03 0.05 0.06 = 0.10 630

\vehiculos/dta

r (descarga Ni suelo: densidad de tráfico) = 0.282 (P <0.40)

F (descarga Ni planta: densidad de tráfico) = 0.296 (P < 0.40)

---Page Break---

r

r= 0.998 (P < 0.01)

Area de 1a descarga de Pb en el suelo

Figura 28. Relación entre el área de 1a descarga de Pb en el suelo y 1a densidad de tráfico.

de tráfico

vehículos/día

Densidad

$r = 0.978$  ( $P < 0.01$ )

Area de 1a descarga de Pb en las plantas

Figura 29. Relación entre el área de 1a descarga de Pb en

las plantas y 1a densidad de tráfico.

---Page Break---

7%

Estudio de la relación entre las Grasas de la descarga de OD.

Cd y Ni en suelos y plantas

Es interesante relacionar los contenidos de los metales

extraíbles con HC] 1 N en el suelo con los contenidos totales

de los metales en las plantas. Como se reseñó anteriormente, es preferible utilizar como parámetro el grado de la descarga del metal. En la Figura 30 se observa cómo en el caso del Pb, existe una relación muy significativa. Esto indica que la extracción con HC1 1 N puede ser útil para interpretar la contaminación del suelo.

En cuanto a los resultados obtenidos para el Cd (ver Figura 31), éstos indican que existe una relación significativa, aunque no tanto como ocurría con el Pb. John y colaboradores sugieren que extrayendo con N<sub>2</sub>Ac 1 N la correlación será mucho mayor (57).

Finalmente, en el caso del Ni, no existe relación entre ambos parámetros. Esto era de esperar, teniendo en cuenta que los suelos estudiados son muy ricos en Ni. El coeficiente de correlación fue de 0.076; este valor indica que la relación es

prácticamente nula. Es interesante observar que los valores obtenidos en las zonas P-4 y P-5 son los responsables de que no hubiese buena correlación.

Estudio de la relación entre los cocientes de concentración Pb/Cd en suelos y plantas

Los cocientes de concentración Pb/Cd del suelo promediados en todas las distancias, exceden los valores correspondientes

---Page Break---

---

$r = 0.977$  ( $P < 0.01$ )

?Área de la descarga de Pb en el suelo

Área de la descarga de Pb en las plantas

Figura 30. Relación entre el área de la descarga de Pb en el suelo y el Área de la descarga de Pb en las plantas.



( $p < 0.10$ ).

Area de la descarga de Cd en el suelo

Area de la descarga de Cd en las plantas

Figura 31. Relación entre el área de la descarga de Cd en el suelo y el área de la descarga de Cd en las plantas.

---Page Break---

de estos cocientes Pb/Cd en las plantas (ver Table 20). Esto

indica que las plantas acumulan preferentemente Cd. Estos datos confirman los resultados obtenidos por Motto y colaboradores (1). Esta disminución del cociente de concentración Pb/Cd es muy interesante desde el punto de vista toxicológico, ya que el valor del cociente en la dieta normal humana en los Estados Unidos es de 13 (54), 2 en el cuerpo humano y 0.04 en órganos como el hígado y el riñón (89).

La toma de Cd por la planta debe afectarse más que la del Pb al variar algunas de las propiedades de los suelos ta-

Ves como la textura, ya que el Cd entra a Ta planta principalmente por 1a rafz. En la Tabla 20 se relaciona el cociente Pb/Cd suelo: Pb/Cd planta con el % de arcilla que se obtuvo

al determinar 1a textura del suelo.

encontré que existe

una correlación significativa, el coeficiente de correlación

fue 0.622 ( $P < 0.05$ ).

---Page Break---

---Page Break---

conclus

ones

Los niveles máximos de Pb, Cd y Ni en el suelo y on Te

vegetación aledaños a las carreteras de Puerto Rico son comparables y a veces superiores a los hallados en Estados Unidos y en Europa. Esto puede suponer un serio peligro para la vida del ecosistema que rodea a las carreteras.

Una línea de muestreo de Pb y Cd 10 metros largo de una línea perpendicular a la carretera resultó ser un indicador más apropiado del grado de contaminación que los niveles más altos de dichos metales.

Los contenidos de Pb, Cd y Ni en los suelos (extracción con HCT 1) y los contenidos de Pb en la vegetación disminuyen según aumenta la distancia a la carretera. Sin embargo, los contenidos de Cd y Ni en la vegetación no presentan un gradiente regular de concentración con la distancia a la carretera.

Las áreas de las descargas de Pb en los suelos y en la vegetación están muy significativamente correlacionados con la densidad de tráfico, siendo ésta la primera vez que se demuestra este hecho sobre una base estadística firme.

Las áreas de las descargas de Pb y Cd en los suelos (extracción con HCT 1N) están significativamente correlacionados con las áreas de las descargas de Pb y Cd en la vegetación, lo cual indica que esta extracción constituye un método válido, puesto que los contenidos de dichos metales extraíbles con

HC1 1M pueden usarse como indicadores de 1a disponibilidad de

Pb y Cd en el suelo.

---Page Break---

El viento predominante afecte notablemente iv distr  
bución del Pb en el ecosistema que rodea a le carretera: tae  
descargas de Pb son mucho mayores en las zonas ubicadas en  
direcciones contrarias a las de los vientos predominantes, lo  
cual demuestra que gran parte del Pb se transporta por via aé-  
rea.

El lavado de las plantas con agua reduce apreciablemente  
Jos contenidos de Pb, Cd y Ni. Esto indica cue existe un de-  
POsito superficial de dichos metales en las plantas.

La acumulación de Pb y Cé es apreciable dentro de una  
distancia de aproximadamente 33.3 ma partir de la carretera,  
por lo que se recomienda evitar el uso de estas franjas de te-  
rreno con propósitos agrícolas.

---Page Break---

10.

n.

qe.

## REFERENCIAS

Notto, W. Le, Daines, R. H., Chitho, D. M. y Motto, C. +  
(1970). Lead in soils and plants. Its relationship to  
traffic volume and proximity to highways. Environ. Sci.  
Technol., 4, 231-237.

Lagerwerff, J. V. y Specht, A. K. (1970). Contamination  
of roadside soil and vegetation with cadmium, nickel, lead  
and zinc. Environ. Sci. Technol., 4, 983-586.

Quarles IIT, H. D., Wanawalt, R. S. y Odum, W. E. (1976)  
Lead in soil, plants, and soil at varying distances

from a highway. J. Appl. E., 11, 937-949

Alvarez, A.M. (1978). Contaminación de suelos y plantas por efecto del tráfico rodado en el entorno de las carreteras. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Madrid, Departamento de Geología, 69 pags.

Wong, M. H. y Tam, F. Y. (1978). Lead contamination of soil and vegetation grown near motorways in Hong-Kong. J. Environ. Sci. Health, 1, 13-22.

Ward, N. I., Brooks, R.R. y Robert, E. (1977). Heavy metal pollution from automotive emissions and its effect on roadside soils and pasture species in New Zealand. Environ. Sci. Technol., 11, 917-920.

Departamento de Transportación y Obras Públicas, Estado Libre Asociado de Puerto Rico, Negociado de Vehículos de Motor. (1978). Registro de vehículos de motor por municipio y categoría al 30 de junio de 1978.

Gish, C.D. y Christensen, R. ?. (1973). Cadmium, nickel, lead, and zinc in the earthworms from roadside soil. Environ. Sci. Technol., 7, 1060-1062.

Cannon, H. L. y Bowles, J. M. (1962). Contamination of Vegetation by tetraethyl lead. Science, 37, 765-766,

Leh, H. O. (1966). Contamination of plants by lead. Gesunde Pflanzen, 18, 21-24,

Daines, R.H., Motto, H. L. y Chilko, D. M. (1970), Atmospheric lead: its relationship to traffic volume and proximity to highways. Environ. Sci, Technol., 4, 318-322.

Dedolph, R., Ter Maar, G., Holtzman, R. y Lucas, He Ir  
Uia90h? Sodree of Tesd in perennial ryegrass and radishes.  
Environ. Sei. Technol. 4, 217-2

---Page Break---

3.

14.

1s.

16.

VW.

18.

19.

20.

2.

22.

23.

2a.

Ter Hoar, G. (1970). Air @ source of lead in «dible crops

Envir n. Sci. Technol.» 4, 226-229.

Schuck, E. A. y Lockey J. K. (1970). Relationship of au

tonot-ve lead particulates to certain consuner crops

Environ. Sei. Technol., 4, 324-230



Ward, N. T., Brooks, R. R. y Reeves, R. D. (1978). Lead  
from motor vehicle exhaust in trees along @ major through-  
fare in Palmerston North. New Zealand. Environ. Pollut. y  
5) 149-158,

Chamberlain, A. C., Heard, M. J., Little,  
(1979). The dispersion of lead from motor  
Philos. Trans, R. Soc London, Ser. A., 290  
sumen) Chem. Abstr. 90: 173821e.

y Wiffen, R.D.  
exhausts.  
577-583. (Re-

Little, P. y Wiffen, R. (1978). Emission and deposition

of lead from motor exhaust. IT, Airborne concentration particle size and deposition of lead near motorways. Atmos. Environ., 12, 1331-1341.

Alessio, Ly Cambiaghi, G., Groce, E., Frigier, P. y Trucco, R. (1979), "Determination of the lead, cadmium, zinc and iron, in the atmospheric particulates of the industrialized urban area of Lombardy. Med. Lav., 17, 24-37. (Resumen) Chem. Abstr. 90: 618775.

Kazuno, T., Nagase, Y. y Kobayashi, M. (1978). Survey of heavy metals in soil along the roads of Nagano-ken. Ciset Kogui Kenkyusho Chesa Kenkyn Hokoka 148, 11 pags. (Resumen) Chem. Abstr. 90; 85774m.

Elsokarry, I. H. (1978). Contamination of roadside soils and plants near highway traffic with cadmium, nickel, lead and zinc in Alexandria district, Egypt. Stud. Environ. Sei., 1, 25-28.

Rabinowitz, K. B. y Wetherill, G. W. (1972). Identifying sources of lead contamination by stable isotope technique. Environ. Sci. Technol., 6, 705-709.

Chow, T. J. Snyder, C. 8, y Earl, J. L, (1975), Isotope ratios of lead as pollutant source indicator. Isot. Ratios Pollut. Source Behav Indic. Proc. Symp.. pági. 95~

Ewing, B. B. y Pearson, J. E. (1974). Lead in the environment, Advan. Environ, Sci. Technol., 3, 1-126,

Hirschler, D. A. y Gilbert, L. F. (1964). Nature of Lead in automobile exhaust. Arch. Environ, Health, 8, 297-313, (Resumen) Chem. Abstr. 60: 15042. ~

---Page Break---

28.

26.

27.

28.

29.

30.

a.

32.

33,

34.

35.

36.

37.

smith W. H. (1976). Lead contamination of roadside  
system, J. Air Poll. Control Assoc., 26, 753-766.

Cantwell, W. W., Jacob, E. S., Gunz, W. S. y Livert, V. O. t  
(1972). Control of particulate lead emission from auto

mobiles. In Cycling and control of metals. eds. Curry  
M. G. y Gigliotti, G. M., Cincinnati, USEPA, pp. 95-107.

Ter Hear, G. L. y Boyard, H. A. (1971). Composition of airborne lead particles. *Nature*, 232, 653-554.

Korkish, J. y Ha » 1. (1965). Anion exchange separation of lead in high-boiling acid-organic solvent media. *Anal. Chem.*, 37, 707-710.

Hale, C. C. y King, dr. W. H. (1961), Direct nickel determination in petroleum oils by X-Ray at the 0.1 ppm level. *Anal. Chem.*, 33, 74-77.

Pierrard, J. . (1969). Photochemical decomposition of lead halides from automobile exhaust. *Environ. Sci. Technol.*, 3, 48-51.

Robbins, J. A. y Snitz, F. L. (1972). Bromine and chlorine loss from lead halide automobile exhaust particulates. Environ. Sci. Technol., 6, 164-169.

Boyer, K. W. y Laitinen, H. A. (1974). Lead halide aerosols. Some properties of environmental significance. Environ. Sci. Technol., 8, 1093-1096.

Ter Haar, G. L., Lenane, D. L., Hu, J. N. y Brandt, M. (1972). Composition, size and control of automotive exhaust particulates. J. Air Poll. Control Assoc., 22, 39-46,

Ganje, T. J. y Page, A. L. (1972). Lead concentrations, Soil and air near highways, Calif. Agric., 26, 7-9.

Ward, N. T., Reeves, R. D. y Brooks, R. R. (1975). Lead in soil and vegetation along a New Zealand State highway with low traffic volume. Environ. Pollut., 9, 243-251.

Chow, T. G. y Earl, J. L. (1970). Lead, aerosols in the atmosphere measuring concentrations. Science, 168, 577-

Burnham, C..D., Moore, C. E., Kenabrocki, £. y Hattors,  
D. M. (1969). Determination of lead airborne particulates  
in Chicago and Cook Countiy, I1]inois, by atomic absorp-  
tion spectroscopy. Environ. Sci, Technol, 3, 472-475,

---Page Break---

3B.

39.

40.

4a.

42.

43.

4.

45.

46.

47,

48.

49,

50.

sl.

Atkin. p. R. (1969) 4

Air Poll. Control Assoc.. 1%

ne Suburban envi: onmont

537-594.

Singer, M. y Hanson, L.

near highways in the Tw

Sci. soc. Amer. Proc.,

ad acumulacion in soils

etropolitan avez, S917



Lagerwerff, J. y Brower, P. 1. (1973). Exchange absorption or precipitation of lead in soils treated with chlorides of aluminum calcium and sodium. Soil Sci. Amer. Proc 37, 11-13

Olson, K. W. y Skogerboe, R.  
of soil lead compounds from  
Sci. Technol. 9, 227-230.

(1975), Identification  
of automotive sources. Environ.

Chow, T. 9. (1970). Lead accumulation in roadside soil  
and grass. Nature, 225, 295-296,

Wheeler, G. L. y Rolfe, G. L. (1979). The relationship between daily traffic volume and the distribution of lead 18,

in roadside soil and vegetation. Environ, Pollut. 265-274,

Swaine, D. J. y Mitchell, R. L. (1960). Trace-element distribution in soil profiles. J. Soil Sci., 11, 347-368

Lagerwerff, J. V., Armirger, W. Hy y Specht, A.W. (1973). Uptake of lead by alfalfa and corn from soil and air. Soil Sci., 115, 455-460.

Neathery, M. W. y Miller, WJ. (1976), Lead toxicity and metabolism in animals. feedstuffs, 16 de febrero, 36-41.

Arvik, J. H. y Zimdahl, R. L. (1974), Influence of temperature, pH and metabolic inhibitor on uptake of lead by plant roots. J. Environ. Qual., 3, 374-376.

Malone, C., Koeppe, D. E. y Miller, R. J. (1974), Localization of Lead accumulated by corn plants, Plant Phys., 53, 378-394,

Limdahl, R. L. (1976). Entry and movement in vegetation of lead derived from air and soil sources, J, Air Poll. Control Assoc., 26, 655-660.

University of Illinois. (1974). Environmental pollution by lead and other metals. Progress report to National Science Foundation, 574 pag

Graham, DL. y Kalmar, S.M. (1974). Lead in forage grass from a suburban area in northern California, Environ. Pollut., 7, 209-215.

---Page Break---

52.

53.

54.

55.

56.

57.

58.

60.

6.

62.

63.

64.

smith

plant:

+H. (0973), Metal contamination of vcan Koc 2,

Environ. Sei. Techuol., 7, 631-636.

Mac Lean, A. J., Halstead, R. L. y Finn, B. J. (1969).

Extractability of added Icac in soils and its concentra-  
tion in plant. Can. d. Soil Sci., 49, 327-234

Abncrma}\_trace

+ 14, 226-258.

Schroeder, H. A. y Balassa, J. d

metal (cadmium) in man. J. Chronic Dis

Street, J. J., Sabey, BR. y Lindsay, W. L. (1878). In-

fluence of pit, phosphorus, calcium, sewage slucge, and

incubation time on the solubility and plant uptake of cadmium. *J. Environ. Qual.*, 286-290.

Jones, R. L., Hinesly, T. D. y Ziegler, E. L. (1973)

Cadmium content of soybeans grown in sewage sludge amended soil. *J. Environ. Qual.*, 2, 351-353.

John, M. K., van Laerhoven, C. J. y Chuah, H. #. (1972).

Factors affecting plant uptake and phytotoxicity of cadmium added to soils. *Environ. Sci. Technol.*, 6, 1008-1008.

Hinesly, T. D., Jones, R. L. y Ziegler, E. L. (1972). Effect of heated anaerobically digested sludge on corn. *Compost Sci.*, 13, 26-30.

Le Riche. (1968). Metal contamination of soil in the Woburn market-garden experiment resulting from the appli-

gation of sewage sludge. J. Agri. Sci. Camb., 71, 205-

Patterson, J. 8. (1971). Metal toxicities arising from industry. Technical Bulletin, Ministry of Agriculture

Fisheries and Food, Agriculture Development and Advisory Service. Cambridge, England, 21, 193-207.

Tyler, G. (1972). Heavy metals pollute nature, may reduce productivity. Ambio 1, 52-59.

Tyler, G. (1974). Heavy metals pollution and soil enzymatic activity. Plant Soil, 41, 303-311.

Tyler, G., Mornsjö, T. y Nilsson, 8. (1974). Effects of cadmium, lead and sodium salts on nitrification in @ mull soil. Plant Soil, 40, 237-262.

Bazzaz, F. A. Carson, R. W. y Rolfe, G. L. (1974). Effect of heavy metals on plants. Part I. Inhibition of

gas exchange in sunflower by lead, cadmium, nickel and thallium. Environ. Pollut. 2, 241-246.

---Page Break---

65.

66.

67.

68.

69.

70.

n.

72.

73.

74.



gazza., F.A., Rolfe, G.L. y Cartsony fm. (1974). Effect of cadmium on photosynthesis and transpiration of detached leaves of corn and sunflower, *Physiol. Plant* 32, 313-376.

Bazzaz, F. A., Rolfe, G. L. y Mindle, D. (1974). Differential sensitivity of corn and soybean photosynthesis and transpiration to lead contamination. *Environ. Qual.* 3, 156-158.

Cartson, R. W., Bazzaz, F. A. y Rolfe, G. L. (1977). Plant effect. (Part II). An Environmental contamination by lead and other heavy metals, Volumen IV. Eds. Rolfe, G. L. y Reinbol, K. A. University of Illinois at Urban Champaign, Institute for Environmental Studies, págs: 67-94.

Koepe, D. E. y Miller, R. J. (1970). Lead effect on corn mitochondrial respiration. *Science*, 167, 1376-1379.

Bittle, J. E., Koepe, D. E. y Miller, R. J. (1974).

Sorption of heavy metal cations by corn mitochondria and

the effect on electron and energy transfer reactions.

Physiol. Plant, 30, 226-230.

Bogges, S. y Koeppe, D. E. (1977). The effect of zinc on cadmium accumulation by soybeans. An Environmental contamination by lead and other heavy metals. Volume IV. Eds.

Rolfe, G. L. y Reinbold, Kk. A. University of Illinois of Urbana Champaign. Institute for Environmental Studies, pages 112-133.

lawrey, J. L. y Male, M. E. (1979). Lichen growth responses to stress induced by automobile exhaust pollution.

Science, 204, 423-424.

Grandjean, P., Aravig, E. y Beckmann, G. (1970). | Psychological dysfunction in lead-exposed workers. Relation to biological parameters of exposure. Environ. Health, 4, 295-303.

Meredith, P. A.» Moore, K. R. y Goldbery, A. (1979). Erythrocyte  $\gamma$ -aminolevulinic acid dehydratase activity and blood protoporphyrin concentrations as indexes of lead exposure and altered heme biosynthesis. Clin. Sci., 56, 61-69. (Resumen) Chem. Abstr. 91: 438765.

Mirochnik, L. M. (1978). Some lipid and protein metabolism disorders as an index of the possible atherogenic effect of lead. Med. Zh. Uzb., 11, 42-87. (Resumen)  
Chem. Abstr. 90: 1081513.

---Page Break---

16.

?

78.

79.

20.

al.

82.

83.

84.

8s.

86.

87.

Colucci, J. M. y Begeman, C. R. (1971). Care: erie  
pollu-ans in relation to automotive trafic in New Yor  
Environ, Sci. Technol., 5, 145-150

Nordbry, G. F., Piscator, M. y Lind, B. (1971). Distr?  
bution of cadmium among protein fractions of rat liver  
Arch \*armacol. Toxicol., 23, 458-470.

Schroeder, H. A. (1965). Cadmium as a factor in hyper-  
tension. J. Chronic Dis., 18, 647-656

Lewis, G. P., Lyle, H. y Miller, S. (1969). Association between elevated hepatic water soluble srotein-bound cadmium levels and chronic bronchitis and/or emphysema. Lancet, 11, 1330-1333.

Tsuchiya, K, (1969). Causation of ovch-ouch disease Nature of disease. Death rate. Keio J. Ned., 18, 161-138,

Tiplou, I. M, (1960). Distribution of trace metals in the human body. Metal Binding Ned., Proc. Symposium, Philadelphia, pags. 27-42.

Abrufia, F., Lugo, M. A.y Pérez, R. (1977). Los \_suelos de Puerto Rico. "En Geovisidn de Puerto Rico. Ed. Ga-Jinanes, N. T. Editorial Universitaria, Universidad de Puerto Rico, pags. 121-157.

Col6n, J. A. (1977). Climatologfa. En Geovision de Puerto Rico. Ed. Galifanes, M. T. Editorial Universitaria, Universidad de Puerto Rico, pégs. 45-119.

Collet, P. (1978). Lead contamination of plants adjacent to highway and the protective influence of wind screens. Qual. Plant - Plant Food Mur. Nutr., 26, 167-194, (Resumen) Chem. Abstr. 89: 343078. ~

Jackson, M. L. (1970). Actividad de los iones hidrógeno. Su determinación en los suelos. En Análisis químico de suelos. Ed. Omega, 2ª Edición, Barcelona, págs. 67-90.

Richards, L.A. (1954). Diagnosis and improvement of Saline and alkali soils. United States Salinity Laboratory Staff. U.S. Department of Agriculture. 160 págs.

Bouyoucos, G. t. (1934). A comparison between the pipet method and the hydrometer method for making mechanical analysis of soil. Soil Sci., 38, 335-345.

Samuelson, O. (1963). Ion exchange separation in Analytical Chemistry. Wiley, New York. 311 págs.

---Page Break---

88.

89.

90.

United States Environmental Protection Agency, (1975).  
Methods for chemical analysis of water and wastes, js  
E. F. A. Office of Technology Transfer, Washington, DC,  
298 pages.

Boutron, C. (1979). Past and present day tropospheric  
fallout fluxes of lead, cadmium, copper, zinc and silver  
in Antarctica and Greenland. *Cosmophys. Res. Lett.*, 5  
159-162. (Resumen) *Chem. Abstr.* 91: 95779b.

Bureau of Mines. (1970). Availability of U.S. primary  
nickel resources, United States Department of the Interior  
I. C. 2469, 57 pages.

---Page Break---

eu 66 66 FOL ve 88

ez ge ve ee Se sz aL

zt ok 80 BO 90 so ?0

ee oy 69 99 LOL ee 6b

re co 60 OL 90 so 0 a

os ove ue 29 se vor 29 O% uso

so vo oO HL Sth Ot 90 SO LO ED FO EO os

ve ve ep oe Of HL LL Ve Ve be wh ee oss

vo vo vo vo 20 eo gO 20 to 20 20 EO s

ey oe ve 89 OS we GE G9 BL OS HL Le ee 388

et et co oe o2 zt \$0 o% HL GO PO 90 LE 38

ss 9 9 eS 99 \$9 Hy Be SL ee 383

sl ee ve g2 ve ve eh 02 ee Be 3

vee Sle Che wey LSE VLE Oe Sy BSH SLY m3

se oft Cel ell et us 6s eh ees 4

cs 6h 29 «6y 99 «69 9 TH SL aN

a z0 £0 N



sequvawoyup svuunyp seo

sooty opaong ?zopdekei)"ap"eyuondousy [8 us Uprosos4P #L aPC)

139

nsuaw epouanseay

av

---Page Break---

vet

oe

re

et

ot

tenuy

os

vo

v0

so

zo

z0

so

vo

zt

a

ae

eat

eve

zee

zo

st

60

?0

os

so

et

90

60

eo

ot

ge

et

se

oro

en

zee

9°02

ve

om

et

?1081

el

ret

82

o

ve

ze

a

"390

sc 86

eo 10

so 20

vo 20

oot

co ro

ve 80

ei eo

Le t

v2 ak

6

eet

zee

eee

a9 0s

et ot

so so

+ydag.\_oasoby

Lop

re

ee

ro

vo

gre

sz

oy

ve

so

68

s°0

60

vo

20

0

oa

#0

sl

oan

ze

sro

2°62

erat

se

22

et

oxime ojune ofeH

1 3910N3dv

ve

90

eo

e0

x0

vo

80

vo

e2

ee

8

eel

vee

902

re

sz

el

usey

ozuey 019sqa4 048U3

et

us

\$0

0

eo

90

vo

30

co

ot

ze

rst

se

ewe

ewe

ow

ono

00

os

oss

38s

38

383

3N3

3?

30M

enty ?uanbujsog eseg e| ua 03U9}A Lap UpLo>e44p el a (x) LeNsuaw eLouand?dy



---Page Break---

---Page Break---