

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE AGRONOMIA



DETERMINACION DE ELEMENTOS
TOXICOS EN CENIZA VOLCANICA

OPCION V /CASO TEORICO - PRACTICO/
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO AGRONOMO FITOTECNISTA
PRESENTA
ELIZABETH SANTOYO BALDAZO

MARIN, N. L.

JULIO DE 1988

C. 1

S. 25

S. 93

T. 1



1080062962

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE AGRONOMIA

DETERMINACION DE ELEMENTOS TOXICOS
EN CENIZA VOLCANICA

OPCION V (CASO TEORICO-PRACTICO)
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO AGRONOMO FITOTECNISTA

PRESENTA
ELIZABETH SANTOYO BALDAZO

MARIN, N.L.

JULIO DE 1988.

09/11/88
09550

T
5593
525

40.549
FAI
9 8



Biblioteca Central
Magna Solidaridad

F. FREDIN



FONDO
TESIS LICENCIATURA

DEDICATORIA

A MI MADRE:

SRA. ORALIA BALDAZO DE SANTOYO

Quien con mucho sacrificio me ha ayudado en la culminación de mis estudios.

A MIS HERMANOS:

Juan Jorge y Ma. Eugenia

José Gpe. e Irasema

Ma. Elena

Arcedalia y Francisco

César

Silvia

Que con su ejemplo me estimularon para lograr superarme.

A MIS SOBRINOS CON CARINO:

Ma. Eugenia, Jorge Omar, José Carlos, Gabriela, Homero y Paulina.

MUY ESPECIALMENTE A MI ESPOSO:

ING. ROBERTO M. ALEGRIA ZEBADUA

Quien siempre me ha apoyado y me ha alentado con mucho cariño a seguir adelante.

AGRADECIMIENTO

A MI ASESOR:

ING. RONALD J. LECEA JUAREZ

De quien he recibido su amistad y su valiosa ayuda en el presente trabajo.

A MIS COMPAÑEROS Y AMIGOS:

Srita. Esperanza Rojas Moreno

Srita. Teresa de Jesús Valle Padrón

Srita. Antonia Castillo Estrada

Srita. María de Jesús Campos Ortiz

Sr. Jesús Héctor Andrade Castillo.

INDICE

	Pág.
INTRODUCCION.....	1
1. IMPORTANCIA DE LOS ELEMENTOS MINERALES.....	2
2. ALUMINIO.....	3
2.1. Contenido en el Suelo.....	3
2.2. Iones de Aluminio en Soluciones del Suelo.....	4
2.3. Contenido de Aluminio en las Plantas.....	5
2.4. Influencia en el pH.....	6
2.5. Toxicidad del Aluminio.....	7
2.6. Correcciones al Suelo.....	9
3. ARSENICO.....	11
3.1. Contenido en el Suelo.....	11
3.2. El Arsénico en las Plantas.....	11
3.3. Toxicidad del Arsénico.....	12
3.4. Correcciones.....	14
4. CADMIO.....	15
4.1. Fuentes de Cadmio.....	15
4.2. Toxicidad.....	16
4.3. Medidas de Control para los Excesos de Cadmio....	18
5. COBALTO.....	19
5.1. Importancia del Cobalto.....	19
5.2. Esencialidad del Elemento.....	19
5.3. Contenido de Cobalto en Suelos y Plantas.....	22
5.4. Correcciones a la Deficiencia.....	24
6. NIQUEL.....	26
6.1. Importancia del Níquel.....	26

	Pág.
6.2. Contenido en el Suelo.....	26
6.3. Contenido en las Plantas y Animales.....	26
7. PLATA.....	28
8. PLOMO.....	29
8.1. Fuentes de Plomo.....	29
8.2. Contenido en el Suelo.....	29
8.3. Contenido en las Plantas.....	30
8.4. Toxicidad.....	31
8.5. Medidas de Control.....	32
9. SELENIO.....	34
9.1. Importancia.....	34
9.2. Contenido en el Suelo.....	34
9.3. Toxicidad.....	36
9.4. Esencialidad del Elemento.....	38
9.5. Medidas de Control.....	39
9.6. El Elemento como Control Biológico.....	40
10. VANADIO.....	41
10.1. Esencialidad del Elemento.....	41
11. MATERIALES Y METODOS.....	43
12. RESULTADOS Y DISCUSION.....	45
13. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	48
14. BIBLIOGRAFIA.....	49

INTRODUCCION

El estudio de los elementos tóxicos es de gran importancia, ya que la presencia de estos elementos, en concentraciones elevadas, pueden afectar no sólo, en la producción de los cultivos, sino también en la salud de los animales e inclusive del hombre.

Una de las aportaciones de los elementos considerados como altamente tóxicos, desde el punto de vista de su esencialidad, por parte de las plantas, podrían ser las erupciones volcánicas.

En México, se tienen zonas volcánicas que son de gran interés, situados en regiones preferentemente agrícolas, aunque muchos de ellos en dormancia parcial, como es el caso del Chichonal situado en el Estado de Chiapas de más reciente erupción, el cual arrojó una cantidad considerable de ceniza volcánica.

Por otra parte, cabe señalar que, la erupción volcánica, es la fundición del material madre que da origen a la formación del suelo, la cual está constituido principalmente de minerales, tales como: Aluminio, Selenio, Níquel, Sílice, etc. Una vez que este material es fundido es arrojado hacia el exterior en forma de lava y piedras así como también de ceniza, que al estar expuestos en la capa arable del suelo, quedan a disposición de ser absorbidos por las plantas.

El presente trabajo tiene como objetivo, analizar los elementos tóxicos presentes en la ceniza, así como hacer inferencia de las cantidades aportadas al suelo y sus posibles consecuencias al encontrarse en elevadas concentraciones.

1. IMPORTANCIA DE LOS ELEMENTOS MINERALES

Muchos elementos minerales en su forma iónica tienen efectos marcadamente tóxicos sobre el protoplasma, el que muchas veces queda desorganizado o muere, aún cuando esos iones se encuentren en muy pequeñas concentraciones (13).

Algunos elementos, aún siendo esenciales, son tóxicos cuando se absorben en exceso. Así, el pH ácido favorece la absorción de hierro y aluminio y la planta puede presentar síntomas de toxicidad; estos metales, como otros metales pesados, pueden en exceso descargar las micelas del coloide protoplásmico e induce floculación (15).

Entre los elementos que se conocen como altamente tóxicos para las plantas, por lo menos bajo ciertas condiciones, se cuentan el aluminio, el arsénico, el boro, el cobre, el plomo, el magnesio, el mercurio, el molibdeno, el níquel, el selenio, la plata y el zinc. En esta lista se incluyen ciertos elementos que son esenciales al metabolismo vegetal, pero que ejercen su efecto tóxico cuando, hallándose presentes en los tejidos, su concentración es superior a los requerimientos fisiológicos normales (13).

Algunos iones inhiben la absorción de otros iones, o bien contrarrestan la función metabólica de otros. A este fenómeno se le llama antagonismo. El hierro, por ejemplo, es antagónico del manganeso; el exceso de magnesio no es tóxico en sí pero induce deficiencia de potasio (15).

2. ALUMINIO

2.1. Contenido en el Suelo

El suelo tiene cuatro componentes importantes: minerales, materia orgánica, aire y agua. La fase sólida (mineral y orgánica) ocupa generalmente hasta el 50% del volumen total. El resto lo ocupan la fase líquida (agua) y la fase gaseosa (oxígeno).

En la composición química de los primeros 16 km de la corteza terrestre o litosfera, denominada Sial por la predominancia de Si y Al, constituyen los elementos, junto con el oxígeno y hierro, el 87% de su volumen total.

A través de la meteorización se acumulan minerales de gran resistencia a la meteorización como cuarzo, ortoclasa, óxido de hierro y aluminio. Su contenido es mayor en las fracciones de arena y limo, las arcillas contienen de manera general minerales secundarios o sea, aquellos que se han formado en el transcurso de la meteorización (9).

El complejo coloidal del suelo, contiene no solo las arcillas silicatadas, sino también las llamadas arcillas de hidróxidos, las cuales están formadas por óxidos hidratados de silicio, aluminio y hierro que en algunos casos llegan a ser partes importantes del complejo, como ocurre en el caso de los últimos en los suelos de las regiones tropicales, donde dan lugar a las llamadas lateritas (suelos ferríticos y ferralíticos).

Este tipo de arcilla tiende a predominar en las regiones -

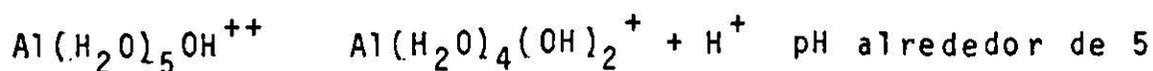
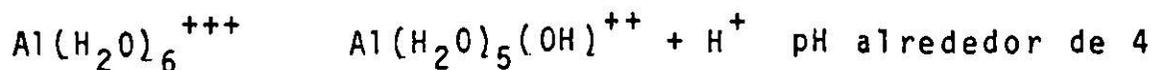
tropicales y subtropicales, donde a medida que el suelo se desarrolla, las bases como calcio, magnesio, sodio, potasio se van perdiendo bajo la acción de las precipitaciones. Posteriormente se pierde la sílice y van predominando cada vez más el hierro y el aluminio en el suelo (6).

La cantidad de aluminio contenida en los suelos en los climas templados (calculada como Al_2O_3) varía ordinariamente entre el 2 y el 15% (3).

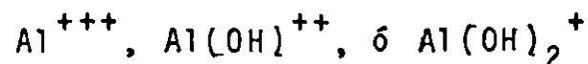
2.2. Iones de Aluminio en Soluciones del Suelo

En soluciones acuosas, el aluminio siempre forma coordinación octaedral con alguna combinación de moléculas de agua e iones de hidróxilo, igualmente lo hace con seis oxígenos o hidroxilos en minerales de arcilla.

La coordinación natural del aluminio es con seis de estas moléculas (coordinación octaedral) hidroxilos, oxígeno y agua, que son de igual tamaño, si el suelo no es muy ácido, una o más de las moléculas de agua se ioniza, liberando hidrógeno (H^+) a la solución, aumentando la acidez. Las posibles formas químicas son como sigue:



Comunmente la hidratación no se indica y los iones se escriben simplemente.



A un pH cercano a 10, se presenta una especie nueva de aluminio soluble descrita simplemente como $\text{Al}(\text{OH})_4^-$. Esto puede ser una causa de toxicidad en los suelos excesivamente alcalinos.

De los elementos que se encuentran en el suelo éste es uno de los más abundantes, aunque casi siempre en formas insolubles. En suelos relativamente ácidos (pH inferior a 5.0) la proporción de aluminio soluble es mayor que en los suelos de pH más alto (13).

El aluminio es un componente de todos los tipos de arcilla y se considera omnipresente en todos los suelos. Aunque este elemento existe en casi todas las cenizas de plantas, sobre todo en las fanerógamas, hasta hoy no se tiene la seguridad de que la planta lo requiera como elemento nutritivo (19).

2.3. Contenido de Aluminio en las Plantas

Generalmente no se considera a el aluminio como uno de los elementos esenciales, pero para algunas especies parece ser necesarios por lo menos vestigios.

El color de las flores de la Hydrangea macophylla está relacionado con el contenido de aluminio del tejido floral. Las flores azules contienen siempre más aluminio que las rojas. La adición de compuestos solubles del elemento al suelo en que crecen plantas de Hydrangea provoca un cambio de rojo a azul en el

color de las flores (13).

Las plantas forrajeras pueden contener hasta 50 ppm de aluminio en la materia seca y las hortalizas de 1 a 5 ppm. Algunas plantas acumulan aluminio en sus tejidos. Así, las hojas de Symplacas tinctoria contienen de un 3.0 a un 4.5% de aluminio en la materia seca y existe un roble en Australia que contiene un depósito gelatinoso de succionato de aluminio. Las cenizas de una parte del tronco de dicho árbol estaban constituidas casi aproximadamente en un 50% de aluminio (3).

2.4. Influencia en el pH

Los estrechos límites del ámbito de pH dentro del cual permanece insoluble el hidróxido de aluminio formado, representan un grave peligro cuando se trata de acidificar un suelo de cacter alcalino, mediante la aplicación de sulfato de aluminio. Si se incorporan cantidades masivas en una sola aplicación, el pH del suelo podría descender hasta más allá del límite de seguridad, y aún cuando esto se produzca en sitios aislados y solo sea de carácter temporal, el daño causado a las plantas por el ácido sulfúrico y los iones aluminio libres que se han formado sería igualmente severo. En un procedimiento como éste, lo más conveniente será determinar potenciométricamente para conocer sus fluctuaciones y aplicar gradualmente sulfato de aluminio, tan sólo en solución acuosa y nunca como polvo seco.

La adición de sulfato de aluminio en un suelo arcilloso calcáreo, hará disminuir rápidamente el pH pero no mejorará la-

condición física del suelo, siendo su efecto poco duradero (19).

La tolerancia diferencial al aluminio en plantas puede ser asociada con la capacidad de la planta para alterar el pH en la zona de la raíz. Por ejemplo, Foy et al (1965, 1967) encontraron que el trigo de la variedad Monon sensible al aluminio y -- las variedades de cebada Kearney inducían valores de pH más bajos en su medio de crecimiento que las variedades de trigo Atlas 66 y las variedades de cebada Dayton tolerantes al aluminio.

Un pH más bajo incrementa la solubilidad y toxicidad potencial del aluminio, y podría así ser un mecanismo tentativo adecuado para explicar la tolerancia diferencial al aluminio de estas variedades. D.T. Clarkson (comunicación personal, 1970) encontró que si el pH de la solución nutriente es amortiguado a 4.2, las variedades de cebada Dayton y Kearney parecen igualmente sensibles al aluminio.

La tolerancia diferencial al aluminio entre varias especies de plantas parece estar asociada en forma cercana con la captación diferencial y transporte de calcio. Las variedades sensibles al aluminio de trigo, cebada y soja son más susceptibles a la deficiencia de aluminio inducida por calcio que las variedades tolerantes (Foy et al., 1967-69; Long y Foy, 1970) - (14).

2.5. Toxicidad del Aluminio

Los estudios indican que el aluminio fuertemente intercambiable en muchos suelos ácidos del Sureste de los Estados Uni--

dos restringen el crecimiento radicular en muchos subsuelos. La toxicidad del aluminio fué probablemente un factor en el fracaso del cultivo de trigo de la variedad Gaines en Maryland. Gaines es una variedad enana que se desarrolló en suelos con alta saturación de bases en el Estado de Washington. En este Estado se obtuvieron cosechas tan elevadas como 209 bushels/acre. Cuando el trigo Gaines se cultivó en Maryland su rendimiento solamente fué de 17 bushels/acre (11).

A concentraciones de 10 a 20 ppm en la solución del suelo, la toxicidad del aluminio puede presentarse en muchas plantas. Estas concentraciones no es probable que se presenten en los -- suelos ácidos, a menos que se haga uso de alguna sal fertilizante o del azufre como agentes acidificadores (3).

La deficiencia de fósforo es a menudo un síntoma prominente de la toxicidad de aluminio (Foy y Brown, 1963, 1964) (14).

Clarkson (1969) sugirió formas mediante las cuales las interacciones aluminio-fósforo pueden estar involucradas en el mecanismo de toxicidad por aluminio. El aluminio liga al fósforo en la superficie de la raíz y paredes celulares así como en los espacios libres de las raíces de la planta (Rorison, 1965; Clarkson, 1966-1967), haciendo al fósforo menos disponible para las actividades metabólicas dentro de las células. En adición, aparentemente parte del aluminio penetra a las células vegetales e interfiere con la división celular, respiración, síntesis de -- ADN y fosforilación de azúcares (Clarkson, 1966b, 1969; Norton, 1966, 1967; Sampson, Clarkson y Davies, 1967; Rorison, 1965) -- (14).

La solubilidad del hierro, el aluminio y el manganeso son máximas en los suelos muy ácidos. Cuando se encuentra aluminio en grandes cantidades en los suelos ácidos, impide que la planta absorba suficiente calcio. Además, el hierro y el aluminio-solubles retienen el fósforo asimilable. Esto ocurre no solamente con el fósforo del suelo, sino también con el fósforo que se agrega con los fertilizantes.

Se obtienen con frecuencia rendimientos deficientes en los suelos orgánicos que contienen gran cantidad de hierro y aluminio solubles.

La lechuga y la cebolla son especialmente sensibles a una cantidad excesiva de estos elementos. El límite de seguridad para el aluminio en Nueva York es de 100 kg/ha. Este límite no suele ser sobrepasado en los suelos que tengan, naturalmente, un pH mayor de 5.5 (22).

El aluminio tiende a acumularse en las plantas que se desarrollan en suelos ácidos. La explicación de esta alteración se ha interpretado de modo diverso, como debida a la toxicidad, o a la substitución del aluminio por algún elemento esencial semejante y a su acción precipitante sobre los fosfatos, tanto en el suelo como en la planta (2).

2.6. Correcciones al Suelo

Para aquellas plantas que se desarrollan mejor en suelos muy ácidos, tales como las azaleas o los rododendros, se emplea frecuentemente sulfato de aluminio como enmienda del suelo a ra

zón de 25 a 50 kg/m². El remedio para un exceso de aluminio -- consiste en caliza pulverizada. Esto eleva el pH del suelo reduciendo así la solubilidad del aluminio (3).

El remedio para la corrección del exceso de aluminio consiste en el encalado del suelo hasta un valor de pH entre 6 y 6.5. El exceso de cal por encima del punto de neutralidad aumenta la solubilidad del aluminio (2).

3. ARSENICO

3.1. Contenido en el suelo

El arsénico se encuentra ampliamente distribuído en los -- suelos a concentraciones que varían entre 1 y 40 ppm. Las plantas contienen normalmente menos de 0.5 ppm en la materia seca - (3). El arsénico esta presente en todos los suelos, variando - un poco en número de decenas de 1 parte hasta más de 500 ppm. - La mayor parte de los suelos contienen menos de 10 partes (12).

Se supone también que la composición y la textura del suelo son responsables en parte de que el arsénico tenga efectos - perniciosos sobre la planta o pueda ser tolerado por ésta. Dichos efectos son más notables en los suelos arenosos que en los arcillosos. Generalmente la acumulación del arsénico en el suelo no es un peligro tan grave como se ha creído, pero debe vigilarse la utilización de zinc por la planta (19).

3.2. El Arsénico en las Plantas

El arsénico se presenta en la mayoría de las suelos, pero la planta lo absorbe en proporciones muy pequeñas que varían -- desde 0 hasta 10 ppm, según la especie vegetal y la condición - del suelo. No se ha sabido de casos en que las plantas absor-- ban arsénico en cantidad tal que presente un peligro para el -- consumo del hombre y los animales. Según parece este peligro - no existe en la actualidad aún cuando los efectos perniciosos - sí afectan a las plantas. Puesto que éstas absorben tan sólo -

cantidades limitadas de arsénico, aún en presencia de un exceso de este elemento en el suelo, entonces el efecto pernicioso debe ser indirecto, y a diario se comprueba que cuando el suelo posee grandes cantidades de arsénico, hay una baja en la utilización de zinc. Por otra parte, sabemos que ciertos cultivos como el espárrago, las patatas, las zanahorias y el tabaco, toleran una concentración relativamente alta de arsénico en el suelo y rinden bien a pesar de ello. Esto sugiere que dichas plantas, con su provisión de zinc, "burlan" la interferencia del arsénico.

Resulta curioso, pero los experimentos demuestran que las concentraciones bajas de arsénico, aplicado como arseniato de calcio, son benéficas para las plantas y estimulan notablemente el crecimiento, a consecuencia quizá de alguna acción catalítica desconocida (19).

3.3. Toxicidad del Arsénico

La adición de grandes cantidades de arseniato en el suelo, directa o indirectamente a insectos contaminantes ha causado problemas diversos de arsénico en zonas de algodón, en áreas infectadas con el escarabajo japonés y en algunas huertas comerciales de fruta. Existe una abundante evidencia de esa contaminación en suelos por el arsénico al bajar la producción de varias cosechas. La cantidad de arsénico disponible para las plantas depende de la reacción del suelo y la cantidad y naturaleza de la arcilla o material coloidal. La toxicidad aparece al bajar mucho el nivel de arsénico en suelos ácidos, arenosos-

que en suelos de textura más pesada especialmente si la arcilla contiene una abundancia de hierro, pero en suelos arenosos el arsénico es más rápidamente lavado a la parte exterior. Los suelos contaminados con arsénico han sido encontrados para retener más el arsénico en la superficie. A causa del efecto posterior a la adición en lima disminuye la acidez y ni la aplicación de óxido férrico hidratado parece ser el más práctico remedio. Hurd-Karrer encontraron que la aplicación de fosfato reduce o previene el perjuicio del arsénico en plantas donde el tipo de suelo permite permanecer el fosforo disponible. Según parece no hay peligro en animales los cuales se alimentan de vegetación de suelos elevados en arsénico, del mismo modo las plantas serán perjudicadas mas adelante acumulando suficiente tóxico para los animales (12).

En algunas zonas de frutales se ha presentado una toxicidad de arsénico para las plantas como resultado de la acumulación de este elemento en el suelo, debida al empleo de pulverizaciones arsenicales. En los suelos de algunas plantaciones frutales se han encontrado hasta 12 ppm de arsénico soluble en agua, o 27 kg/ha en la capa arable. Cuando se han arrancado árboles frutales viejos y se han plantado otros nuevos, cuando la tierra se ha empleado a continuación para cultivar cereales forraje u hortalizas, se han presentado casos de toxicidad producidos por arsénico (3). Pudo observarse que la aspersion de los huertos con arsénico de plomo, produjo una franca acumulación de arsénico en el suelo, y cuando este huerto se aró para remover la tierra y cultivar otras plantas, el suelo resultó im

productivo, sobre todo para la alfalfa y algunos cereales, los cuales tuvieron un retraso en su crecimiento. Los síntomas desaparecieron cuando se aplicaron al suelo pequeñas cantidades de sulfato de zinc (19).

3.4. Correcciones

Se ha sugerido la conveniencia de aplicar sulfato ferroso a los suelos alcalinos, o bien caliza a los suelos ácidos, con el objeto de abatir la solubilidad de los arseniatos y eliminar su toxicidad, tales procedimientos no pueden recomendarse en lo general porque su efecto es la resultante de un complejo de factores difícilmente demostrable (19). El tratamiento para combatir la toxicidad debida al arsénico en las plantas consiste en el empleo de 2250 a 4500 kg de sulfato de hierro por hectárea, o la misma cantidad de superfosfato doble. En los melocotones, parece ser un buen antídoto el sulfato de zinc a razón de 2.5 a 4.5 kg/árbol. Para valores de pH superiores a 6.0 se prefiere una forma quelatada de zinc, a razón aproximadamente de 1/2 --- kg/árbol. Los arsenitos parece ser más tóxicos que los arseniatos. El sulfato ferroso, es más efectivo que el sulfato férrico como corrector (3).

4. CADMIO

4.1. Fuentes de Cadmio

El cadmio está presente en forma de mineral en la corteza terrestre a una concentración promedio de 0.18 ppm, es también ubicuo como un contaminante. La presencia de cadmio en el aire es debida a las actividades industriales, que pueden o no estar directamente asociadas con el cadmio. Entre las primeras, las emisiones de cadmio de los productores principales de zinc, plomo y cobre. Las emisiones de las actividades industriales no directamente asociadas con el cadmio están los procesos de combustión que utilizan carbón, aceite, madera, papel y basura orgánica urbana, como responsables de la presencia general de cadmio en los materiales biológicos.

La concentración promedio de cadmio en las principales corrientes y lagos que se encuentran en 16 cuerpos de agua principales en Estados Unidos fué de 9.5 mg/litro, con un rango de medias desde 0 hasta 50 mg/litro, siendo el límite federal permitido de 10 mg de cadmio/litro para aceptar el agua para consumo público. Las tuberías viejas en pozos privados pueden causar que el contenido de cadmio en el agua potable sea aún mayor (Schroeder et al., 1967). Se piensa que la presencia de ^{109}Cd en agua de lluvia se debe a detonaciones nucleares (McCallum y Woodward, 1965).

Como un constituyente del aerosol, el cadmio como otros metales alcanza las plantas y el suelo durante la precipitación y

por deposición directa. El último punto ocurre, principalmente, a los lados de las fábricas y de minas que manejan zinc. El -- cadmio es un constituyente de los fungicidas utilizados rutinariamente en los pastos y ocasionalmente en los árboles frutales (Ross y Stewart, 1964). Es también aplicado como un supresor -- de parásitos del tipo de los helmintos, en ganado, apareciendo, por tanto en el estiércol. El cadmio también se encuentra en -- la mayoría de los suelos de los caminos como resultado de su -- presencia en las llantas de los automóviles y en los aceites de motores. El metal es fácilmente absorbido a través de las raíces de plantas con importancia alimenticia, usualmente en los -- principales granos: trigo, maíz, arroz, avena, mijo (Schroeder y Balassa, 1963). Se ha encontrado que el cadmio se mueve rápi-- damente y en forma fácil de las raíces hacia las hojas del rába-- no. Como ocurre con otros metales pesados, un incremento en el pH del suelo por alcalinización suprime en cierta forma la cap-- tación de cadmio (Langerwerff, 1971).

4.2. Toxicidad

La preocupación acerca de los efectos del cadmio surge de la tendencia de los metales a acumularse en los mamíferos. Por lo tanto, el metal puede reemplazar al zinc en ciertas enzimas-- causando enfermedades. La literatura sobre la toxicología del cadmio, tal como la referida a la destrucción de eritrocitos, -- daño testicular y degradación renal, esta principalmente basada en observaciones del daño agudo inducido en animales o de la -- contaminación accidental por el hombre. La contaminación de ba

jos niveles de cadmio crónicos al hombre puede resultar en alteraciones respiratorias como el efisema, alteraciones en el funcionamiento gástrico e intestinal, anemia, osteomalasia e hipersensibilidad a las enfermedades cardíacas.

En un estudio realizado en el cual únicamente las concentraciones de cadmio y zinc fuera del grupo de los metales investigados en el aire de 28 ciudades en los Estados Unidos, estuvieron relacionadas significativamente con la muerte de corazón arteroesclerótico, excluyendo la fiebre reumática (Carroll, 1966). En otros reportes, se han establecido que tal vez la asociación más cercana de los metales con las enfermedades vasculares es el cadmio. (Gunn, 1967).

El cadmio ingerido es absorbido por la sangre en un rango de aproximadamente 5%, y es inhalado en un rango de aproximadamente 30%. Las naciones predominantemente costeras como Japón, donde la dieta promedio consta de arroz y pescado, sufren de una mayor incidencia de enfermedades cardíacas que las áreas más continentales.

Los resultados con ratas indicaron que el efecto primario del cadmio era daño renal, el cual, a su vez, resultaba en deposición de material lipídico en la aorta e hipertensión. La presencia de hipertensión ha sido relacionada con las relaciones de concentración renal de Zn/Cd más que con los valores absolutos de cadmio (Schroeder y Balassa, 1965).

4.3. Medidas de Control para los Excesos de Cadmio

La información, principalmente sobre animales, indica que bajo ciertas circunstancias la potencia biológica del cadmio -- puede ser atenuada por suministro de compuestos conteniendo grupos tiol, agentes secuestrantes del tipo EDTA, zinc o selenio. Con la sal de calcio de EDTA la excreción de un número de metales en la orina, incluyendo cadmio, se incrementó marcadamente. Dosis apropiadas pueden permitir una detoxificación rápida.

Por otra parte, la instalación de precipitadores electrostáticos y barredores en pilas y en las salidas de fábricas que manejan cadmio se ha probado como un método efectivo para reducir la emisión del metal dentro de la atmósfera (Cuffee y Gers-tle, 1967).

Controlar la química del cadmio en los suelos ofrece otra posibilidad para disminuir la entrada del metal en el ciclo de los alimentos. La alcalinización del suelo puede precipitar el metal no únicamente como carbonato, sino también como sulfato y fosfato, dependiendo de la abundancia de estos aniones. Más aún, el efecto competitivo del Ca^{2+} y las consecuencias fisiológicas y químicas de un incremento en el pH del suelo pueden ser valiosas al disminuir la captación de cadmio por las raíces de las plantas (14).

5. COBALTO

5.1. Importancia del Cobalto

Aunque no se tiene la absoluta certeza de que sea un elemento esencial, en las plantas superiores el cobalto puede ejercer un marcado efecto sobre su metabolismo y desarrollo. Se sabe que los iones de cobalto pueden activar algunas enzimas vegetales, como ciertas carboxilasas y peptidasas (13).

También se ha señalado otras enzimas como arginasa, lectinasa, oxalacético de carboxilasa y enzimática, pero la parte -- que toma en ello no es específica (20).

El cobalto tiene así mismo un efecto de acentuación sobre la fase de agrandamiento en el crecimiento de hojas ahiladas y de algunos otros tejidos vegetales (13).

5.2. Esencialidad del Elemento

La carencia de cobalto conduce al desarrollo de un estado patológico en el ganado vacuno y el ovino conocido con diversos nombres (languidez, mal de los zarzales, enfermedad de Morton - Maine), y que existe en lugares tan distantes entre sí como Escocia, Nueva Zelanda y Australia (13). En Scotland, la enfermedad languidez fué conocida como a principio de 1807, y ahora se cree sea debido a una deficiencia de cobalto, aunque una investigación hecha a los suelos en áreas donde esto fué predominante aparecía una indicación de que el contenido de hierro era bajo también. Otro padecimiento de anemia en ovejas y ganado de-

varias partes del mundo respondieron al cobalto son: En Europa "enzootic marasmo" enfermedad de la costa y enfermedad del matorral; en Nueva Zelanda y Australia, la enfermedad Morton Main y agotamiento; en el Este de Africa "nacuritis"; en Michigan, gran travesía o enfermedad de la orilla de la laguna; en New Hampshire el mal de Burton; y en Florida algunas fases de "mal de sales". No puede mencionarse que estas enfermedades son idénticas porque son pocos los lugares con suelo, clima y otras condiciones iguales. Sin embargo, poseen características severas en común. Los animales afectados son de crecimiento retardado, anémicos y muestran progresiva debilidad, de tal manera que en casos severos el animal es incapaz de levantarse y usualmente muere. Esta enfermedad muestra una similar y asombrosa respuesta al cobalto, ya sea dado directamente a el animal o aplicado en el suelo deficiente.

En New Hampshire, como interesante leyenda que ha sido inventada acerca del lanzamiento de una maldición sobre la región por el profeta anciano indio Chocorua, la cual parece bastante real para los agricultores quienes tenían dificultades en la crianza de su ganado. Los científicos no obstante, no poniendo en evidencia a el venerable guerrero, encontraron que la aflicción era causada por la deficiencia de cobalto.

La deficiencia de cobalto en los animales es muy frecuente. El ganado lanar es más afecto que el vacuno y los animales jóvenes más que los viejos. Algunas veces, la única evidencia de la carencia de cobalto puede ser el desarrollo muy lento de los animales o la falta de aumento en peso de los mismos (12).

La enfermedad aguda conocida como "tambaleos de alpiste" - se presenta cuando los rumiantes consumen plantas de Phalaris tuberosa deficientes en cobalto. En ausencia de suficiente cobalto para producir vitamina B₁₂, una poderosa neurotoxina, aparentemente derivada de un precursor en el Phalaris, se libera - por las bacterias del rumen. El efecto es muy similar a la deficiencia de vitamina B₁₂ en humanos con anemia perniciosa. Al faltar la vitamina B₁₂ se forman sustancias neurotóxicas en este caso por la microflora simbiótica (11).

El margen entre deficiencia y toxicidad por cobalto es estrecho. Las grandes dosis de cobalto producirá una polycitemia en ratas, ratones, conejillo de india, conejos, perros, cerdos, pollos y ranas. Esta polycitamia representa un aumento en el número de células rojas en la sangre y aparentemente sucede desde el principio hasta el final estimulando directamente la médula del hueso.

El cobalto es encontrado en extremadamente pequeñas cantidades en la mayor parte de los órganos de el cuerpo humano, pero los requerimientos por el hombre son desconocidos. Favorables resultados han sido reportados desde su uso en el tratamiento de anemia de infantes.

La distribución de cobalto y otros elementos en los tejidos animales han sido reportados y con la ayuda de isotopos radioactivos artificiales se ha comprobado que el cobalto es encontrado en altas concentraciones en los órganos glandulares -- (12).

El cobalto parece ser un elemento micrometabólico esencial para ciertas especies de algas azul-verdes (13).

Investigadores rusos recientemente señalan respuestas a -- las aplicaciones de cobalto en algodón, judías y mostaza. Se dice que incrementan el crecimiento, la transpiración y la fotosíntesis, y que en las judías y la mostaza se observó un incremento de la actividad y contenido de clorofila en las hojas. En el algodón, un incremento en el número de cápsulas y un descenso en el número de fallas fué atribuído a la adición de cobalto. Más adelante, se afirmó que el contenido de agua y la actividad de la catalasa en las hojas se incrementaban, y que de los tratamientos con cobalto resultaba un descenso en la concentración del líquido celular. En el rendimiento de algodón se obtuvo, - con las adiciones de cobalto, un incremento del 9 al 21% (20).

5.3. Contenido de Cobalto en Suelos y Plantas

La riqueza mínima de cobalto que debemos exigir a los suelos para que éstos puedan suministrar cantidades apropiadas de este elemento a los productos vegetales, de modo que éstos constituyan un alimento con suficiente cobalto para los animales, - ha sido estimada en 2 ppm, esto es, aproximadamente 4.5 kg/ha, en la capa arable (3).

En Dartmoor, Inglaterra, los suelos sobre el cual las ovejas sufren de languidez han registrado un contenido de cobalto de 3.9 ppm comparado con 16.7 ppm en suelos en los cuales las - ovejas se restablecen (12).

Un buen forraje para ganado lanar debe contener 0.07 ppm - de cobalto en la materia seca, bastando cantidades algo menores para el ganado vacuno. Está demostrado que las leguminosas tienen más cobalto que las gramíneas y también que raramente contienen menos de 0.07 partes de cobalto por millón. Si aumentala proporción de leguminosas en el forraje, la deficiencia de cobalto en los animales tiende a disminuir.

Por otra parte, se sabe que la riqueza de cobalto en los vegetales suele ser menor de 0.1 ppm de materia seca. Que se sepa actualmente, este elemento no es esencial para las plantas cultivadas, excepto las leguminosas y, en éstas, únicamente para las bacterias de sus nódulos (3).

El cobalto se requiere para la Rhizobia para la fijación del nitrógeno, y desde este punto de vista debe ser considerado esencial en la producción de leguminosas.

La esencialidad del cobalto para la Rhizobia es debida enparte a la formación de la vitamina B₁₂ (cianocobalamina), la cual a su vez es esencial para la formación de la hemoglobina que se necesita para la fijación del nitrógeno.

Existen numerosas referencias de pruebas con leguminosas adecuadamente inoculadas con Rhizobia que dejaron de crecer enausencia de cobalto. La realización de experiencias con este elemento es difícil a causa de las bajas concentraciones que se presisan para el suministro de estos organismos que son del orden de 0.1 a 1.0 partes por billón. Una respuesta del crecimiento del trébol en condiciones naturales fué obtenida por una

aplicación de 560 gr/ha de sulfato de cobalto. Esta prueba se realizó en Australia del Sur. Un significativo incremento se observó en los rendimientos de materia seca y nitrógeno contenido en la planta (20).

La falta de riqueza suficiente de cobalto en el suelo puede tener como resultado que las leguminosas no crezcan de modo satisfactorio o bien en el caso de pastos y prados, que desaparezcan los tréboles y predominen las gramíneas. No se han apreciado síntomas específicos de deficiencia de cobalto en las leguminosas excepto que los nódulos de sus raíces no se desarrollan, ni en número, ni en tamaños normales (3).

5.4. Correcciones a la Deficiencia

Esta enfermedad puede combatirse mediante el agregado de sales de cobalto al suelo, lo que da como resultado el que aumente el contenido de cobalto en los forrajes con que se alimentan los animales. En relación con esta enfermedad del ganado, es significativo el hecho de que el cobalto se le ha encontrado formando parte de la vitamina B₁₂ (11).

En los que atañe al ganado vacuno y a otros rumiantes, la adición directa de la sal mineral al alimento da resultados completamente satisfactorios (3).

Las ovejas sufriendo marcadamente de deficiencia de cobalto ha sido encontrado para restablecerse completamente con cantidades de éste de 0.1 mg directamente. Sin embargo, más asombrosa es la respuesta a las aplicaciones al suelo. Bonner y --

asociados han reportado que una aplicación de 28 onzas de sulfato de cobalto por acre aumenta el contenido de cobalto de los pastos de un nivel de 0.06 ppm a un nivel saludable de más de 0.1 ppm la cual fué mantenida por lo menos un año (12).

6. NIQUEL

6.1. Importancia del Níquel

En las plantas y animales se encuentran con frecuencia trazas de níquel, pero no se tiene la evidencia de que este elemento sea esencial. Se ha dicho que el níquel es valioso como le-nitivo en la enfermedad de Morton Mains, cuando falta el cobalto (14). También se sospecha que el níquel toma parte en la --síntesis de algunas vitaminas como la P (18).

6.2. Contenido en el Suelo

El níquel es tóxico para las plantas a relativamente bajas concentraciones. Los suelos derivados de rocas serpentinas son notablemente ricos en níquel (20). El total de níquel en el --suelo varía usualmente entre 10 y 40 ppm (20). En suelos de --Nueva Jersey se ha encontrado níquel en proporción de 2 a 4 ppm, esto es, de 4.5 a 90 kg/ha en la capa arable (3).

Los suelos derivados de serpentina pueden contener incluso 500 ppm de níquel y es posible que sea debido a ésto, más bien que a su elevada riqueza de magnesio su notable falta de productividad (3).

6.3. Contenido en las Plantas y Animales

Existen algunas indicaciones de que el níquel es un esti--mulante para las plantas en concentraciones muy diluidas, pero es completamente tóxico en la proporción de 5 ppm en la disolu-

ción nutritiva. El contenido normal de níquel en las plantas - se halla entre 0.1 y 5 ppm de la materia seca (2).

Experimentos realizados por Tiffin (1971) han revelado la presencia de níquel cargado negativamente en exudados de xilema de plantas de tomate, pepino, maíz, zanahoria y cacahuete (14).

Nielsen (1970) ha mostrado que los pollos enjaulados en cajas plásticas y administrados con dietas altamente purificadas - requieren níquel para un crecimiento máximo y prevención de una deformidad de las piernas poco usual (14).

El níquel en la sangre de animales está extensamente ligado a los componentes del suero. Nomoto, McNeely y Sunderman -- (1971) han separado del suero de conejo una metaloproteína-Ni - a la que han llamado "Níqueloplasmina". Es éste el principal - transportador de Ni en el plasma (14).

En las zonas ricas en níquel puede darse la acumulación de este elemento en la córnea de corderos y terneros, teniendo lugar la consiguiente ceguera (16).

7. PLATA

Ciertos elementos por ejemplo metales pesados como la plata, pueden alcanzar altas concentraciones localizadas en el suelo (por ejemplo, en escoriales mineros) y muestran un poderoso efecto tóxico (4).

8. PLOMO

8.1. Fuentes de Plomo

Entre las fuentes naturales de plomo en el aire están el suelo y los polvos de las rocas, los aerosoles volcánicos meteoríticos y marinos, el humo de la madera y el tabaco, y el ^{210}Pb que se origina del Rn por los fenómenos de exhalación de la tierra.

El plomo alcanza los suelos y la cubierta de plantas como un depósito aéreo y durante la precipitación, irrigación, drenaje de minas, desecho de hojas o como polvo que vuela de un lugar a otro. Más aún, el plomo es algunas veces adicionado al suelo como pesticida.

Las mediciones sobre el contenido de plomo total nativo en suelos no contaminados desarrollados de piedras arenosas rojas y de sedimentos del Silúvico o de sus corrientes de Gales, dieron resultados tan altos como 40 a 70 ppm (DAvis, 1968). Esto se compara con un valor promedio de 16 pp, para la corteza terrestre.

8.2. Contenido en el Suelo

El plomo contaminante que alcanza el suelo desde diversas fuentes entra a un nuevo ciclo de procesos que siguen a la incorporación dentro de la capa superficial. Esto puede alterar su disponibilidad para las plantas. Así, el plomo de precipitación reciente derivado de la combustión de la gasolina y asocia

do fundamentalmente con haluros es relativamente soluble. Con el tiempo, sin embargo, es convertido a una matriz menos soluble (Singer y Hanson, 1969). Probablemente debido a la pérdida de haluros y a la asociación con SO_4^{2-} , CO_3^{2-} y PO_4^{3-} en forma aniónica y con la materia orgánica del suelo (Schnitzer, 1968)-(14).

El plomo es fijado por la arcilla del suelo y esto parecería que los sulfatos, sulfitos, fosfatos e iones carbonatos suministraría el plomo aumentado a un suelo normal, tan insoluble como inactivo.

Suelos muy ácidos no obstante incrementan la solubilidad del plomo, en algunos suelos de huertas de Oregón, ha sido encontrado que el plomo será conducido a la larga en la parte inferior del espesor de la tierra de laboreo, después que las huertas habían sido rociadas con arsenato de plomo por 20 años.

Los compuestos solubles del plomo son tóxicos para las plantas excepto en muy bajas concentraciones. En algunas huertas comerciales de manzana, los residuos de aspersiones de arsenato de plomo han acumulado al extremo de que una extensión de las cosechas de abono-verde no pueden crecer de gran tamaño. Esto supone que el arsénico es el principal responsable de esta condición, aunque el plomo puede ser un factor contribuyente -- (12).

8.3. Contenido en las Plantas

Dos vías están disponibles para la entrada de plomo a las-

raíces y la captación por las hojas. Una vez dentro del sistema, el plomo parece ser retenido por la membrana celular, mitocondrias y cloroplastos (Sabnis, Gordon y Galston, 1969).

La competencia por plomo entre sitios de adsorción en el medio de la raíz y aquellos en la superficie de la raíz contribuyen en forma importante a la captación de plomo.

Es difícil obtener evidencias críticas sobre la absorción foliar de plomo después de su deposición del aire, esto es debido a la dificultad experimental para diferenciar entre el plomo depositado sobre el tejido foliar y el plomo adsorbido por éste.

En general, las concentraciones de plomo en partes de plantas expuestas al aire disminuyen a medida que la distancia de la zona de tránsito se incrementa (14).

8.4. Toxicidad

Un ejemplo de toxicidad es el contenido extremadamente alto de plomo en los suelos de las aceras, provocado por los diferentes compuestos de plomo que arrojan los escapes de los vehículos con motores de gasolina (17).

El envenenamiento crónico de ganado pastando cerca de las carreteras y de los sitios de quema de baterías, eventualmente puede llevar a un colapso total por encefalitis y a la muerte (Kradel, Adams y Guss, 1965) (14).

El plomo entra en el hombre por inhalación e ingestión. -- Absorbido y transportado por la sangre, es acumulado en el hígado

do, riñones y huesos. También, se presenta en los intestinos, páncreas y pulmones. A nivel celular, el plomo se concentra en el núcleo, mitocondrias y microsomas.

Un alto nivel de exposición al plomo fué una situación común entre los opulentos de la Roma antigua, esto se debió a una ignorancia similar a la que causó el plumbismo en niños en años recientes. La ingestión de cantidades tóxicas de el plomo resultó del uso de recipientes y de utensilios de cocina recubiertos de plomo y de masticar hojuelas de pintura con plomo en la antigüedad. A partir de experimentos llevados a cabo con animales se puede deducir que la exposición crónica de plomo a bajos niveles, tal como ocurre en la mayoría de las áreas urbanas, -- puede tener un impacto en la salud en un sentido general.

El envenenamiento por plomo se inicia con convulsiones y anemia y puede continuar con enfermedades del sistema nervioso-periférico, gota, nefritis crónica, encefalopatía y muerte. Puede ser detectado a tiempo por el nivel de ácido α -aminolevulínico en la orina. La detoxificación se lleva a cabo con un medicamento quelante.

8.5. Medidas de Control

Como sucede con otros metales pesados la alcalinización reduce la captación de plomo por las plantas del suelo. Esto puede ser debido a varias razones. El incremento en el pH del suelo puede resultar en precipitaciones de plomo como hidróxido, carbonato o fosfato. Los iones calcio competiran con las canti

dades traza de plomo presente por sitios de intercambio en el suelo y superficie de las raíces. La adición de fertilizantes de fósforo al suelo puede también reducir la disponibilidad de plomo, dependiendo del tipo de suelo y de planta.

Las restricciones de la actividad de metal en el aire resultan de la formación de sulfato de plomo en aerosol. Podría ser útil limitar el uso de plomo en la gasolina, tuberías, soldaduras, pinturas, pesticidas y otros productos, además de reforzar la instalación de dispositivos para la limpieza de aire controlando la emisión de las industrias de procesamiento de metales y de las minas (14).

9. SELENIO

9.1. Importancia

El selenio es de considerable importancia práctica por dos razones: su esencialidad y su toxicidad. Los animales de sangre caliente y posiblemente el hombre requieren de selenio, pudiendo ser la deficiencia de este elemento la causa de serios problemas en la producción de ganado (1).

En Estados Unidos existen lugares donde los niveles nativos de selenio disponibles en los suelos son suficientemente elevados para producir plantas conteniendo niveles de este elemento que podrán ser tóxicos para los animales, existen otras áreas que producen plantas que no contienen suficiente selenio para satisfacer los requerimientos nutricionales de los animales. Aún otras áreas producen plantas que contienen niveles adecuados pero no tóxicos de selenio. No existe tal vez otro elemento traza que cause problemas en Estados Unidos que muestre un patrón geográfico más nítido que la presencia de los problemas asociados con el selenio (14).

9.2. Contenido en el Suelo

Algunos suelos, principalmente los derivados de las rocas cretáceas, contienen bastante cantidad de este elemento, llegando incluso a 80 ppm de selenio. El promedio en tales suelos es aproximadamente de 5 ppm (3). Los suelos seleníferos son ampliamente distribuidos en las regiones semiáridas del medio Oeste de los Estados Unidos, donde la lluvia es insuficiente para

lixiviar los compuestos solubles de selenio (12).

Afortunadamente tales suelos son comparativamente raros y se encuentran confinados a zonas de baja precipitación anual, aunque el selenio está presente en pequeñas cantidades en grandes áreas de suelos. Una característica interesante de este elemento es que no todas las plantas absorben el selenio en cantidades tóxicas. Aquellas que lo toman en mayor proporción lo utilizan para su desarrollo normal y crecen únicamente en zonas donde este elemento existe en el suelo (19). Todos los suelos en los cuales crecieron plantas acumuladoras de selenio o pastos y granos ricos en selenio (más de 5 ppm) eran neutros o alcalinos frecuentemente contenían CaCO_3 y CaSO_4 libres. La importancia del perfil de suelo neutro o alcalino en la producción de plantas ricas en selenio se volvió evidente cuando se descubrió que los suelos ácidos formados por rocas ricas en selenio en Hawai y Puerto Rico no producían plantas conteniendo niveles tóxicos de este elemento (Lakin, 1961). La diferencia en disponibilidad de selenio en los suelos ácidos y alcalinos ha sido atribuida a la formación de compuestos insolubles o complejos de hierro férrico y selenito en suelos ácidos y a la formación de compuestos de tipo selenato relativamente solubles en suelos alcalinos (14).

Un contenido superior al 0.5 ppm en el suelo es potencialmente peligroso y se sabe de áreas con cifras superiores a 10 ppm donde el envenenamiento por selenio es severo. La cantidad de selenio en plantas forrajeras fluctúa usualmente entre 10 y 50 ppm bajo estas condiciones. Sin embargo, ciertas plantas --

que parecen tener un fuerte metabolismo de selenio pueden acumular hasta 10,000 ppm de selenio de los mismos suelos (4).

9.3. Toxicidad

Los niveles excesivos de selenio en ciertas plantas creciendo en las planicies del Norte y en los Estados de las Montañas Rocallosas fueron descubiertos en 1931 como responsables de ciertos problemas de producción de ganado en estas áreas. En las siguientes dos décadas se estableció que los suelos que producían plantas altas en selenio eran casi siempre formadas a partir de rocas sedimentarias de las etapas Pérmica y Cretácica, o de materiales derivados de estas rocas (14). Considerable interés ha despertado el hecho de que el suelo de ciertas regiones posea grandes cantidades de selenio y que el padecimiento de los equinos y bovinos, conocida como enfermedad del "alcalí", sea realmente un envenenamiento por selenio (19). Se le ha atribuido a cantidades excesivas de selenio una variedad de efectos de crecimiento, daño de órganos, cambios en la susceptibilidad de la caída de dientes, parálisis y aún la muerte de los animales y ocasionalmente el hombre. Se ha reportado que el ganado vacuno ovejitas, cerdos y caballos sufren uno u otro tipo de daño al consumir forraje rico en selenio (1).

La enfermedad llamada del alcalí, se pone de manifiesto por deformaciones y expulsión de los cascos de los animales, es uno de los síntomas de intoxicación de selenio. El vértigo ciego, una forma más adelantada de la enfermedad, conduce a la muerte en corto plazo. Los huevos de las gallinas alimentadas-

con granos seleníferos, tienen poca incubabilidad. Se cree que concentraciones de 0.5 pp, de selenio en la leche y en el agua son peligrosas para el ser humano (3). El selenio es el único elemento mineral conocido hasta el momento, con la excepción -- del molibdeno el cual puede ser absorbido en cantidades sufi--- cientes por las plantas usadas como alimento haciendólas peli-- grosamente tóxicas para los animales. El selenio es tóxico pa-- ra muchas plantas, pero se conocen algunas especies que pueden-- ser acumuladoras de selenio capaces de absorber por mucho tiem-- po hasta la cantidad que podría ser letal para plantas ordina-- rias. El promedio de selenio contenido en estas acumuladoras,-- casi todas de las cuales son leguminosas del género Astragalus,-- cerca de 800 ppm y el más alto es de 15,000 ppm. En contraste-- con el trigo del mismo suelo promedia más bajo que 5 ppm de se-- lenio (12).

Estas plantas suelen ser empleadas como indicadoras de la-- presencia de selenio; al mismo tiempo sirven como convertidoras y toman parte importante en la producción de concentraciones tó-- xicas de compuestos de selenio para cultivos de escarda y plan-- tas forrajeras. La planta convertidora absorbe los compuestos-- solubles de selenio no parovechables para otras especies, y al-- descomponerse y formar humus, lo deja en condiciones de ser fá-- cilmente absorbido por nuevas plantas (19). El problema primor-- dial en estas regiones consiste en luchar contra las plantas -- que acumulan selenio, en las cuales la concentración de este -- elemento puede llegar a 15,000 ppm en la materia seca. Las --- plantas que acumulan más selenio son ciertas especies del gène--

ro Astragalus, Xylorrhiza, Conopis y Stanleya. Estas plantas parece ser que necesitan selenio (3). Otra de las plantas que se sabe que acumulan selenio pertenece al género Sium (20).

El peligro de envenenamiento en el hombre, debido a el consumo de harina de granos obtenidos en suelos seleníferos, es totalmente improbable e inadmisibile, puesto que dichos suelos --- siempre son de indole local, y los molinos procesan habitualmente grandes cantidades de grano proveniente de diversas regiones. Se tiene noticias de algunos casos de envenenamiento en México, cuando fueron consumidas hortalizas obtenidas en un suelo altamente selenífero, en una zona donde la provisión local de agua poseía igualmente un alto contenido de ese elemento (19).

9.4. Esencialidad del Elemento

Recientemente el selenio ha obtenido una mayor atención a causa de su deficiencia en ciertas áreas. En 1944 fué establecido que el selenio es un elemento esencial para los animales superiores. Una deficiencia de este elemento en animales superiores se manifiesta en la forma de una enfermedad conocida como "distrofia muscular". Casos de distrofia muscular en ovejas y ganado vacuno han sido descritos en los Estados Unidos, Nueva Zelanda y Australia (20). La enfermedad conocida como el "músculo blanco" en los corderos y en los terneros, esta muy difundida en Nueva Zelanda, habiendo sido apreciada frecuentemente en otras partes del mundo. Algunos de ellos han nacido muertos, o mueren prontamente después de su nacimiento. Si viven se --- vuelven letárgicos y rígidos. Las medidas de lucha incluyen el

suministro de 5 mg de selenio en forma de selenato sódico a las ovejas madres un mes antes del parto y un kg a los corderos al-destete. Para terneros, se le aplican subcutáneamente 10 mg de selenio a los tres meses de edad, repitiendo este tratamiento - a los seis meses (3).

9.5. Medidas de Control

La toxicidad del selenio para el ganado puede ser solventada en parte suministrando harina grasa de linaza como suplemento en la ración. El arseniato sódico es útil como remedio, pero es demasiado venenoso para manejarlo en la explotación. Se ha hecho mucho trabajo experimental con el ácido arsenílico y - compuestos parecidos obteniéndose buen resultado. Los sulfatos son un antídoto parcial para la toxicidad del selenio, pero únicamente son efectivos contra los selenatos, y no contra los selenitos o contra las formas orgánicas de dicho elemento (3). A causa del peligro de toxicidad del selenio no se hacen adicio--nes de este elemento en los suelos por vía fertilizante. A los animales afectados se les da el elemento en cantidades apropiadas, de una sal de selenio (20). El selenio tiene una relación muy íntima con la vitamina E, pudiendo reemplazarla en parte -- (3).

Las relaciones entre vitamina E y selenio fueron clarificadas por el trabajo de Thompson y Scott (1969), quienes mostra--ron que aproximadamente 0.01 ppm de selenio era adecuado para - pollos si la dieta contenía 100 ppm de vitamina E, pero como -- los niveles dietéticos vitamina E fueron reducidos a 10 ppm, --

los requerimientos de la dieta de selenio se incrementaron a -- aproximadamente 0.1 ppm de selenio.

En la actualidad, la inyección de una mezcla de selenito y vitamina E a corderos y becerros es el único método aprobado de uso del selenio para animales en Estados Unidos. La adición de selenio a alimentos mezclados para ganado está bajo consideración (14). Se han hecho intentos para disminuir la absorción de selenio por las plantas, adicionando azufre en exceso, pero fracasaron porque los suelos seleníferos por lo regular ya son muy altos en azufre, el cual se deriva en gran medida del yeso (19).

9.6. El Elemento como Control Biológico

Por otra parte, algunos insectos son muy sensibles al selenio y son muertos por concentraciones tan bajas en las plantas que no perjudican las hojas de otras. Este factor provee un medio de control certero a insectos nocivos por tratamiento al suelo hechos necesariamente bajo el uso de insecticidas en sprays, especialmente en el invernadero. Los experimentos han sido conducidos sobre el uso de selenio por este método como un insecticida y sobre los efectos residuales del elemento en la comestibilidad y el crecimiento de los vegetales en los suelos tratados en estas condiciones (12).

10. VANADIO

10.1. Esencialidad del Elemento

Aunque se sabe que no es requerido por los vegetales superiores, el vanadio es un elemento micrometabólico esencial por lo menos para algunas especies de algas verdes (13).

Es requerido en concentraciones muy bajas (0.01 ppm) por el alga verde *Scenedesmus* y posiblemente otros microorganismos. Puede actuar en la fijación del nitrógeno reemplazando parcialmente al molibdeno en la nitrogenasa (4).

D.I. Arnon y Gunilla Wessel, de la Universidad de California, demostraron en 1953 que el vanadio es esencial para el crecimiento de *Scenedesmus*. Singularmente, los requerimientos de *Scenedesmus* de vanadio son elevados y la misma técnica de cultivo ha faltado de dar respuesta con otras algas que han sido probadas.

C. Warburg, de Alemania sugirió en 1955 que adiciones de vanadio a suspensiones de *Chlorella* -una célula simple de alga verde- permite a la planta la fotosíntesis más eficientemente con la luz verde de baja intensidad, pero el efecto del vanadio no fué observado con luz blanca a alta intensidad.

El vanadio ha mostrado ser un elemento de significancia biológica por H. Bortels en 1930. El molibdeno o el vanadio se han usado en la vida libre de los microorganismos del suelo, en *Azotobacter croococcum* como un catalizador en la fijación de nitrógeno (21).

El vanadio puede reemplazar al molibdeno hasta un cierto límite en la nutrición de Azotobacter.

Incrementos en el crecimiento de las plantas superiores -- atribuibles al vanadio se han señalado para el espárrago, lechuga, cebada y maíz. La relación de este elemento con la nutri-- ción de las plantas es totalmente desconocida (20).

El número de especies de microorganismos fijadores de ni-- trógeno capaces de usar cualquiera de los dos molibdeno o vana-- dio es limitado.

No se ha podido demostrar los requerimientos de vanadio -- por las plantas superiores, y se sabe que no han salido bien -- los experimentos hechos del mismo modo en otros laboratorios.

La imperfección de el conocimiento, de el lugar que ocupa-- el vanadio en la nutrición de las plantas no es debido a la falta de esfuerzo, sino más bién a una falta de observación positifva (21).

11. MATERIALES Y METODOS

MATERIAL:

1. Ceniza Volcánica

METODO DE DIFRACCION DE RAYOS X

La difracción de rayos X proporciona un medio cómodo y práctico para la identificación cuantitativa de compuestos cristalinos. Esta aplicación se basa en el hecho de que el tipo de difracción de rayos X es único para cada sustancia cristalina. Así, si puede hallarse una coincidencia exacta entre el tipo de una muestra desconocida y una auténtica, puede suponerse su identidad química.

Para estudios de difracción analíticos, la muestra se reduce a un polvo fino y homogéneo. En tal forma, el enorme número de pequeños cristallitos se orienta en todas las direcciones posibles; así cuando un haz de rayos X atraviesa el material, un número importante de partículas puede esperarse que se orienten de tal modo que cumplan la condición de Bragg para la reflexión desde cualquier posible espaciamento interplanar.

La muestra puede mantenerse en el haz en tubos capilares de vidrio de pared delgada o celofan. Alternativamente, puede mezclarse una muestra con un aglutinador no cristalino apropiado y moldearse en forma apropiada.

El método clásico, y todavía muy usado, para registrar patrones de difracción es el fotográfico. Quizá el instrumento más común para este objeto es la cámara de polvo Debye-Scherrer.

Aquí, el haz de un tubo Coolidge es filtrado para producir un haz casi monocromático, que se colima haciéndola pasar por el tubo estrecho. La radiación no difractada sale luego de la cámara por un estrecho tubo de salida. La cámara es cilíndrica y va equipada de modo que sostenga una punta de película alrededor de su pared interna. La muestra se mantiene en el centro del haz por una montura ajustable. Cada conjunto de líneas en la cámara de polvo representa difracción procedente de un conjunto de planos de cristales. El ángulo Bragg θ de cada línea se evalúa fácilmente, de la geometría de la cámara.

Registro electrónico.- Puede obtenerse también patrones de difracción con un instrumento, el Monocromador y detector de rayos X. En este caso, la fuente fija es un tubo Coolidge filtrado. La muestra substituye al cristal único en su montura. El patrón de difracción se obtiene entonces por registro automático de igual modo que para un espectro de emisión o absorción -- (17).

12. RESULTADOS Y DISCUSION

Los datos obtenidos del análisis de la ceniza volcánica de los elementos tóxicos encontrados en ésta, fueron los siguientes:

<u>Elemento</u>	<u>Concentración en ppm</u>
Aluminio	4 ppm
Cadmio	1 ppm
Estroncio	2 ppm
Plomo	0.1 ppm
Selenio	2 ppm
Arsénico	2 ppm

Cálculos de los elementos tóxicos que aporta la ceniza volcánica (expresados en kg/ha). Tomando en cuenta una capa de -- 15 cm de espesor de ceniza volcánica.

1. Determinación del volúmen ocupado en 1 ha.

$$(100 \text{ m}) (100 \text{ m}) (0.15 \text{ m}) = 1500 \text{ m}^3 \text{ de ceniza/ha.}$$

$$\text{Peso} = (1,500,000,000 \text{ cm}^3)(1.052 \text{ gr/cm}^3) = 1,578.000.000 \text{ gr} \\ = 1,578.000 \text{ kg de ceniza volcánica en 1 ha.}$$

2. Determinación de los elementos en kg/ha.

a) Aluminio = peso de 1 ha de ceniza x concentración en mg.

$$(1578,000 \text{ kg})(4 \text{ mg}) = 6.312 \text{ kg de aluminio/ha.}$$

b) Cadmio = (1;578,000 kg) (1 mg) = 1.578 kg de cadmio/ha.

c) Estroncio = (1;578,000 kg) (2 mg) = 3.156 kg de estron---
cio/ha.

d) Plomo = (1;578,000 kg) (0.1 mg) = 0.1578 kg de plomo/ha.

e) Selenio = (1;578,000 kg) (2 mg) = 3.156 kg de selenio/ha.

f) Arsénico = (1;578,000 kg)(2 mg) = 3.156 kg de arsénico/ha.

Como es de observar las cantidades de elementos tóxicos -- presentes en la ceniza volcánica son de gran importancia dado -- que los cálculos obtenidos en el presente trabajo estan en base a 15 cm de espesor lo que no representa datos muy reales debido a que existieron cantidades mucho mayores de deposición sobre -- el suelo, por lo que los cálculos de estos elementos se eleva-- ran en la misma proporción.

Los resultados anteriores relativos a la presencia de ele-- mentos tóxicos en la ceniza volcánica aunados a otros problemas ocasionados por la misma, tales como la difusión de la luz so-- lar y daño in situ a la agricultura podrán acarrear serios pro-- blemas en esas tierras a corto y largo plazo, ya que las canti-- dades calculadas rebasan en un amplio margen las concentracio-- nes normales de los elementos en cuestión, por lo que los daños serán no solo a la vegetación nativa sino a la agricultura en -- general, así como a la microflora del propio suelo, por lo que -- la dinámica poblacional se verá afectada desfavorablemente; por consiguiente no solo habrá daños por la presencia misma de los -- elementos sino que al verse afectada la dinámica poblacional -- también el ciclo normal de los elementos (mayores-menores e in-- termedios) se verá afectado desfavorablemente, por lo que es de esperarse algunas deficiencias de elementos así como daños por -- toxicidad.

La presencia de grandes cantidades de partículas finas ---

(Ash) que constituyen la ceniza provocará cambios en la estructura y alteraciones substanciales en la textura por lo que las condiciones edáficas propias se verán afectadas.

13. CONCLUSIONES Y RECCMENDACIONES

En base a los resultados obtenidos en el presente trabajo se puede concluir que:

1. Las cantidades de elementos tóxicos aportados por la ceniza volcánica son considerables por lo que los efectos de toxicidad son de esperarse, así bien, se hace patente la necesidad de abonos orgánicos que favorezcan la diversidad microbiana nativa del suelo que coadyuve a la eliminación de dichos residuos.
2. Los elementos nutritivos benéficos a las plantas se verán -- afectados en sus ciclos normales dado que la dinámica microbiana se alterará.
3. Las características edáficas como textura y estructura se ve rán alteradas, provocando también cambios en el pH.

14. BIBLIOGRAFIA

1. Alexander, M. 1980. Introducción a la microbiología del -- suelo. Segunda edición. Ed. AGT. México.
2. Bear, F.E. 1958. Suelos y fertilizantes. Primera edición.- Ed. Omega. España.
3. Bear, F.E. 1969. Los suelos en relación con el crecimiento de los cultivos. Primera edición. Ed. Omega. España.
4. Bidwell, R.G.S. 1983. Fisiología vegetal. Ed. A.G.T. Méxi- co.
5. Bonner, J., A.W. Galston. 1967. Principios de fisiología - vegetal. Quinta edición. Ed. Aguilar. España.
6. Cairo O., G. Quintero. 1980. Suelos. Primera edición. Ed.- "Rene Meneses". Cuba.
7. Demolon, A. 1965. Dinámica del suelo. Quinta edición. Ed.- Omega. España.
8. Donahue, R.L., R.W. Miller., J.C. Shickluna. 1981. Intro- ducción a los suelos y al crecimiento de las plantas. Ed.- Dossalt. Colombia.

9. Fassbender, H.W. 1984. Química de suelos. Ed. I.I.C.A. --- Costa Rica.
10. Fitzpatrick, E.A. 1978. Introducción a la ciencia del suelo. Primera edición. Ed. Cultural. México.
11. Foth, H.D., L.M. Turk. 1975. Fundamentos de la ciencia del suelo. Primera edición. Ed. Continental. México.
12. Gilbert, F.A. 1953. Mineral nutrition. Quinta edición. Ed. Universidad de Oklahoma. Estados Unidos.
13. Meyer, B.S., D.B. Anderson., R.H. Bönning. 1972. Introducción a la fisiología vegetal. Tercera edición. Ed. Universitaria de Buenos Aires. Argentina.
14. Mortvedt, J.J., P.M. Giordano., W.L. Lindsay. 1972. Micronutrients in Agriculture. Primera edición. Estados Unidos.
15. Rojas, G.M. 1972. Fisiología vegetal aplicada. Segunda edición. Ed. McGraw-Hill de México. México.
16. Schütte, K.H. 1966. Biología de los microelementos y su -- función. Primera edición. Ed. Tecnos. España.
17. Skoog, D.A., D.M. West. 1957. Análisis instrumental. Primera edición. Ed. Interamericana. México.

18. Soil. 1957. The yearbook of Agriculture. Ed. Gobierno de --
Los Estados Unidos. Estados Unidos.
19. Teuscher, H., R. Alder., J.P. Seaton. 1965. El suelo y su-
fertilidad. Primera edición. Ed. Continental. México.
20. Tisdale, S.L., W.L. Nelson. 1982. Fertilidad de los suelos
y fertilizantes. Primera edición. Ed. Hispano-Americana. -
México.
21. Walter, S. 1948. Trace elements in plants and animals.
22. Worthen, E.L., S.R. Aldrich. 1959. Suelos agrícolas su con-
servación y fertilización. Segunda edición. Ed. U.T.H.E.A.
México.

