

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA
ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN PRODUCCIÓN AGRÍCOLA**



**“SILICATO DE MAGNESIO EN LA CONCENTRACIÓN DE PLOMO
Y CADMIO EN EL MAÍZ (*Zea mays*) EN CONDICIONES DE
INVERNADERO”**

Presentada por:

JUAN CARLOS OSTOLAZA FARRO

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE
MAGISTER SCIENTIAE EN PRODUCCIÓN AGRÍCOLA**

Lima – Perú

2020

ÍNDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	REVISIÓN DE LITERATURA	5
2.1.	La contaminación ambiental	5
2.2.	Tipos de contaminación ambiental y causas que la producen.....	6
2.2.1.	Contaminación atmosférica.....	6
2.2.2.	Contaminación del agua	9
2.2.3.	Contaminación del suelo	13
2.3.	La actividad minera y su impacto ambiental.....	16
2.4.	Los metales pesados como contaminantes del suelo.....	18
2.4.1.	Reacción del suelo ante la presencia de metales pesados	22
2.5.	La contaminación de las cadenas tróficas	26
2.5.2.	Ingreso, transporte y acumulación del cadmio en plantas.....	32
2.5.3.	El Plomo, rango y contenido medio en vegetales	34
2.5.4.	El cadmio, rango y contenido medio en vegetales.....	36
2.6.	Remediación de suelos contaminados por metales pesados.....	39
2.6.1.	Técnicas de remediación de suelos	40
2.7.	Silicio en la naturaleza	51
2.7.1.	Formación del ácido silícico a partir de minerales silicatados.....	55
2.7.2.	El Silicio en el suelo.....	56
2.7.3.	El Silicio en las plantas	60
2.7.4.	Nutrición con silicio y fuentes de silicio usadas en la fertilización y enmendado de suelos.....	64
2.7.5.	El Silicio en la remediación del suelo	66
2.8.	La explotación aurífera en el Perú.....	70
2.8.1.	La explotación aurífera informal e ilegal en el Perú	72
2.8.2.	La explotación aurífera formal, informal e ilegal en la región Puno	76
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	79
3.1.	Tipo de investigación	79
3.2.	Formulación de la hipótesis.....	79
3.3.	Ubicación.....	79

3.4.	Materiales	79
3.4.1.	Suelo.....	79
3.4.2.	Cultivo indicador.....	80
3.4.3.	Silicato de Magnesio	80
3.4.4.	Otros materiales.....	81
3.5.	Metodología.....	81
3.5.1.	Procedimiento en campo	81
3.5.2.	Procedimiento en laboratorio:	83
3.5.3.	Variables a evaluar	83
3.5.4.	Análisis de datos.....	83
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	84
4.1.	Análisis de materia seca en plantas de maíz.....	84
4.2.	Análisis del contenido de plomo en plantas de maíz.....	86
4.3.	Análisis del contenido de cadmio en plantas de maíz	88
V.	CONCLUSIONES	92
VI.	RECOMENDACIONES.....	93
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	94
VIII.	ANEXOS	111

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Contaminación del suelo por actividades industriales	14
Tabla 2: Principales técnicas de recuperación de suelo.....	16
Tabla 3: Sustancias tóxicas y sus efectos en las plantas.....	19
Tabla 4: Metales pesados y otros contaminantes, su procedencia y efectos	21
Tabla 5: Metales pesados y otros contaminantes, su procedencia y efectos	22
Tabla 6: Disponibilidad relativa de los metales retenidos en el suelo por las plantas.....	28
Tabla 7: Rangos y contenido medio de Pb en vegetales de consumo.	36
Tabla 8: Rangos y contenido medio de Cd en vegetales de consumo.	39
Tabla 9: Principales técnicas de recuperación de suelos.	40
Tabla 10: Contenido elemental en la litósfera y en los suelos.....	52
Tabla 11: Minerales de interés para carbonatación mineral	60
Tabla 12: Criterios para diferenciar a las plantas acumuladoras de silicio	63
Tabla 13: Fuentes de Si usadas como fertilizantes	66
Tabla 14: Contenido de Plomo y Cadmio de la muestra de suelo utilizado en la investigación.....	80
Tabla 15: Características físico químicas y generales del silicato de magnesio utilizado como enmienda en la investigación.....	81
Tabla 16: Comparación de medias para materia seca hoja (g)	84
Tabla 17: Comparación de medias para materia seca raíz (g).....	85
Tabla 18: Comparación de medias para materia seca total (hoja + raíz) (g).....	86
Tabla 19: Comparación de medias para plomo (Pb) en hoja (mg).....	87
Tabla 20: Comparación de medias para plomo (Pb) en raíz (mg).....	87
Tabla 21: Comparación de medias para plomo (Pb) total (hoja + raíz) (mg).....	88
Tabla 22: Comparación de medias para cadmio (Cd) en hoja (mg).....	89
Tabla 23: Comparación de medias para cadmio (Cd) en raíz (mg).....	90
Tabla 24: Comparación de medias para cadmio (Cd) total (hoja + raíz) (mg).....	91

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Relación existente entre la contaminación de los tres vectores ambientales: aire, agua y suelo.	6
Figura 2: Emisiones de metano en los 10 principales países de la GMI en la gestión del estiércol. Clasificación de la Global Methane Initiative, año 2010.....	8
Figura 3: Países que más contaminan los océanos	12
Figura 4: Pasivos ambientales de la actividad minera por región en el Perú	17
Figura 5: Principales fuentes de procedencia de metales pesados en suelos.....	20
Figura 6: Dinámica de los metales pesados	23
Figura 7: Esquema del ciclo biogeoquímico de los metales pesados en agro ecosistemas.	27
Figura 8: Esquema del ciclo biogeoquímico de los metales pesados en agro ecosistemas.	27
Figura 9: Movimiento apoplástico y simplástico del cadmio raíz –xilema.....	33
Figura 10: Esquemización de la absorción, acumulación y translocación del cadmio en la planta.....	34
Figura 11: Dinámica ambiental del Plomo	35
Figura 12: Flujo del cadmio en el medio ambiente	37
Figura 13: Vitricación in situ	45
Figura 14: Proceso de extracción de aire	46
Figura 15: Proceso de lavado de suelos.....	48
Figura 16: Tratamiento in situ de flushing	49
Figura 17: Arriba: Tetraedros de Si en diferentes representaciones. Abajo: Octaedros de Al.	53
Figura 18: Estructura laminar de un filosilicato del tipo 1:1. A la izquierda la secuencia vertical de elementos, a la derecha una representación del frente de la lámina.	54
Figura 19: Estructura laminar de un filosilicato del tipo 2:1. A la izquierda la secuencia vertical de elementos, a la derecha una representación del frente de la lámina.	54
Figura 20: Ilustración de la sílica hidratada amorfa	56
Figura 21: Dinámica del silicio en el suelo.	57
Figura 22: Clasificación de los compuestos de silicio en el suelo.....	59
Figura 23: Concentración de Al^{3+} monomérico en solución en función de la concentración de ácido monosilícico (H_4SiO_4)	60

Figura 24: Representación esquemática del sistema de absorción del Si en diferentes especies de plantas.....	61
Figura 25: Absorción de Si por arroz, pepino y tomate en una solución nutritiva con 0.5 M de Si como ácido silícico	62
Figura 26: Representación esquemática de células epidermales de arroz. SC: complejos silicio-celulosa.....	64
Figura 27: Impacto del Magnesil sobre la reducción de tres metales pesados As, Pb y Cd.....	68
Figura 28: Esquema de flujo en el proceso Soliroc.....	70
Figura 29: Participación de la minería en el total de exportaciones (Millones de US\$)	71
Figura 30: Oro: Producción por estratos 1990 – 2014 (Part. %).....	72
Figura 31: Producción de Oro: Informal (según MINEM) vs Ilegal/informal, 2003-2014 (Toneladas).....	73
Figura 32: Conflictos sociales según tipo, Diciembre 2017	75
Figura 33: Conflictos socio ambientales por actividad, Diciembre 2017.....	76
Figura 34: Concesiones Mineras Provincia de Sandía a Noviembre 2016.....	78

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Materia seca de plantas de maíz (gr/planta) cultivadas en suelos agrícolas contaminados por relaves mineros tratados con tres dosis crecientes de silicato de magnesio orgánico como enmienda de suelos.....	111
Anexo 2: Extracción y concentración de plomo en hojas, raíz y total (mg/Kg) de plantas de maíz cultivadas en suelos agrícolas contaminados por relaves mineros tratados con tres dosis crecientes de silicato de magnesio orgánico como enmienda de suelos.	111
Anexo 3: Extracción y concentración de cadmio en hojas, raíz y total (mg/Kg) de plantas de maíz cultivadas en suelos agrícolas contaminados por relaves mineros tratados con tres dosis crecientes de silicato de magnesio orgánico como enmienda de suelos.	112
Anexo 4: Análisis de variancia para materia seca en hoja (g/planta) de plantas de maíz cultivadas en suelos agrícolas contaminados por relaves mineros tratados con tres dosis crecientes de silicato de magnesio orgánico como enmienda de suelos.	112
Anexo 5: Análisis de variancia para materia seca en raíz (g/planta) de plantas de maíz cultivadas en suelos agrícolas contaminados por relaves mineros tratados con tres dosis crecientes de silicato de magnesio orgánico como enmienda de suelos.	113
Anexo 6: Análisis de variancia para materia seca total (hojas + raíz) (g/planta) de plantas de maíz cultivadas en suelos agrícolas contaminados por relaves mineros tratados con tres dosis crecientes de silicato de magnesio orgánico como enmienda de suelos.	113
Anexo 7: Análisis de variancia para plomo (Pb) en hoja (mg/Kg) de plantas de maíz cultivadas en suelos agrícolas contaminados por relaves mineros tratados con tres dosis crecientes de silicato de magnesio orgánico como enmienda de suelos.	113
Anexo 8: Análisis de variancia para plomo (Pb) en raíz (mg/Kg) de plantas de maíz cultivadas en suelos agrícolas contaminados por relaves mineros tratados con tres dosis crecientes de silicato de magnesio orgánico como enmienda de suelos.	114
Anexo 9: Análisis de variancia para plomo (Pb) total (hoja + raíz) (mg/Kg) de plantas de maíz cultivadas en suelos agrícolas contaminados por relaves mineros tratados con tres dosis crecientes de silicato de magnesio orgánico como enmienda de suelos.....	114

Anexo 10: Análisis de variancia para cadmio (Cd) total en hoja (mg/Kg) de plantas de maíz cultivadas en suelos agrícolas contaminados por relaves mineros tratados con tres dosis crecientes de silicato de magnesio orgánico como enmienda de suelos.	114
Anexo 11: Análisis de variancia para cadmio (Cd) en raíz (mg/Kg) de plantas de maíz cultivadas en suelos agrícolas contaminados por relaves mineros tratados con tres dosis crecientes de silicato de magnesio orgánico como enmienda de suelos.	115
Anexo 12: Análisis de variancia para cadmio (Cd) total (hoja + raíz) (mg/Kg) de plantas de maíz cultivadas en suelos agrícolas contaminados por relaves mineros tratados con tres dosis crecientes de silicato de magnesio orgánico como enmienda de suelos.	115

RESUMEN

Los principales yacimientos de oro en la región Puno se ubican en las provincias de Lampa, Carabaya, San Antonio de Putina y Sandia, en esta última provincia se encuentra el distrito de Cuyocuyo cuyas reservas de oro se estiman en 50 millones de T.M. y donde impera la minería ilegal e informal que contamina los ríos y el suelo, afectando los cultivos, el ganado y la salud humana. De acuerdo con esto, la presente investigación tiene como objetivo determinar el efecto del silicato de magnesio como enmienda orgánica de suelo sobre la concentración de plomo (Pb) y cadmio (Cd) en el tejido del maíz (*Zea mays*) cultivado sobre una muestra de suelo contaminado proveniente del distrito de Cuyocuyo, provincia de Sandia, departamento de Puno. Para ello se procedió a analizar la muestra de suelo en laboratorio antes de la siembra, lo que determinó la presencia de plomo (Pb) y cadmio (Cd) en la muestra de suelo. Dicho suelo contaminado fue sometido a tratamientos crecientes de silicato de magnesio como enmienda de suelo sobre el cual se cultivó maíz y de donde se extrajeron muestras de tejido foliar que fueron analizadas a fin de determinar la concentración de plomo (Pb) y cadmio (Cd); a luz de los resultados, la presente tesis pudo demostrar que las plantas de maíz cultivadas sobre suelos contaminados con plomo (Pb) y cadmio (Cd) pero enmendados con silicato de magnesio concentraron en sus tejidos foliares menores cantidades de dichos metales contaminantes en comparación con el maíz cultivado sobre suelos sin enmendar, lo que indica que el silicato de magnesio incorporado como enmienda en el suelo tiene un efecto adverso a la solubilidad de los metales pesado con lo que se dificulta su absorción por las raíces de las plantas, minimizando así su paso a la cadena trófica.

Palabras clave: Metal pesado, suelo contaminado, tejido foliar, silicato de magnesio.

SUMMARY

The main gold deposits in the Puno region are located in the provinces of Lampa, Carabaya, San Antonio de Putina and Sandia, in the latter province is located in the district of Cuyocuyo, gold reserves are estimated at 50 million T.M. and where illegal and informal mining prevails, contaminating rivers and soil, affecting crops, livestock and human health. According to this, the present investigation aims to determine the effect of magnesium silicate as organic amendment of soil on the concentration of lead (Pb) and cadmium (Cd) in the tissue of corn (*Zea mays*) cultivated on a sample of contaminated soil from the district of Cuyocuyo, province of Sandia, department of Puno. To do this, the soil sample was analyzed in the laboratory before sowing, which determined the presence of lead (Pb) and cadmium (Cd) in the soil sample. This contaminated soil was subjected to increasing treatments of magnesium silicate as amendment of soil on which corn was cultivated and where leaf tissue samples were extracted that were analyzed in order to determine the concentration of lead (Pb) and cadmium (Cd); to the light of the results, this thesis was able to demonstrate that cultivated corn plants on soils contaminated with lead (Pb) and cadmium (Cd) but amended with magnesium silicate concentrated in their leaf tissues lower amounts of said contaminating metals compared to the cultivated corn on the soil without amendment, which indicates that the magnesium silicate integrated as organic amendment in the soil has an adverse effect on the solubility of heavy metals and with which it is difficult its absorption by the roots of the plants, thus minimizing his step to the trophic chain.

Key words: Heavy metal, contaminated soil, leaf tissue, magnesium silicate.

El contenido completo está bajo embargo provisional, hasta la recepción del ejemplar impreso. Esto debido a la restricción de atención presencial por el COVID-19