



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA
CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE

**TESIS PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
GÉOGRAFO Y DEL MEDIO AMBIENTE**

AUTOR: CAPT. MONTES PAGUAY LUIS EDWIN

**TEMA: ESPACIALIZACIÓN DE CONCENTRACIÓN DE METALES
PESADOS CROMO, ZINC Y PLOMO EN EL COMPLEJO INDUSTRIAL
FABRILFAME Y PROPUESTA DE REMEDIACIÓN DE SUELOS**

**DIRECTOR: ING. PAULINA GUEVARA
CODIRECTOR: ING. ALEXANDER ROBAYO**

SANGOLQUÍ, ABRIL 2014

CERTIFICACIÓN

Ing. Paulina Guevara

Ing. Alexander Robayo

Certifican:

Que el trabajo titulado “ESPACIALIZACIÓN DE CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS CROMO, ZINC Y PLOMO EN EL COMPLEJO INDUSTRIAL FABRILFAME Y PROPUESTA DE REMEDIACIÓN DE SUELOS”, realizado por LUIS EDWIN MONTES PAGUAY, ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas por la ESPE, en el Reglamento de Estudiantes de la Universidad de las Fuerzas Armadas.

Debido a su importante aplicación se recomiendan su publicación.

El mencionado trabajo consta de un documento empastado y un disco compacto el cual contiene los archivos en formato portátil de Acrobat (pdf). Autorizan a LUIS EDWIN MONTES PAGUAY que lo entregue al Ingeniero Wilson Jácome, en su calidad de Director de la Carrera.

SANGOLQUI, 08 de Abril del 2014

Ing. Paulina Guevara

DIRECTOR

Ing. Alexander Robayo

CODIRECTOR

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

LUIS EDWIN MONTES PAGUAY

Declaro que:

El proyecto de grado denominado “ESPACIALIZACIÓN DE CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS CROMO, ZINC Y PLOMO EN EL COMPLEJO INDUSTRIAL FABRILFAME Y PROPUESTA DE REMEDIACIÓN DE SUELOS”, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las referencias que constan en las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de mí autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

SANGOLQUI, 08 de Abril del 2014

LUIS EDWIN MONTES PAGUAY

AUTORIZACIÓN

Yo, MONTES PAGUAY LUIS EDWIN

Autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas Escuela Politécnica ESPE la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución del trabajo “ESPACIALIZACIÓN DE CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS CROMO, ZINC Y PLOMO EN EL COMPLEJO INDUSTRIAL FABRILFAME Y PROPUESTA DE REMEDIACIÓN DE SUELOS”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

SANGOLQUI, 08 de Abril del 2014

LUIS EDWIN MONTES PAGUAY

DEDICATORIA

Este triunfo va dedicado con mucho cariño para mis padres Carmen y Luis, que siempre se han esforzado por brindarme todo su apoyo incondicional, que me han sabido conducir por el camino del bien y sobre todo que me han enseñado que nada en este mundo es imposible, que por más difíciles que parezcan los caminos si uno le pone corazón, voluntad, perseverancia y amor podrá salir victorioso.

A mis hermanos Patricio, Sandra, Andrés y Alexander que han sabido depositar su confianza en mí, y siempre he podido contar con ellos en todo momento. Mis hermanos son parte de un pilar fundamental en mi vida.

A mis compañeros civiles y militares que siempre fueron un apoyo importante e incondicional en mis objetivos trazados y mis logros alcanzados.

Para mi compañera incondicional, que me ha sabido comprender en todo momento, que ha sido el apoyo, el entusiasmo y la alegría en atreverme a conquistar muchas cosas, que siempre me brindo el abrazo fraterno en los momentos que necesitaba, para ti Emi con mucho cariño, consideración y respeto. Gracias por estar a mi lado

LUIS EDWIN MONTES PAGUAY

AGRADECIMIENTO

Al Padre celestial, que me ha sabido guiar por los senderos correctos y que siempre me ha dado fortaleza para sobreponerme a cualquier obstáculo que se me ha presentado en la vida.

Al glorioso Ejército Ecuatoriano que a través de la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE”, me dio la confianza y oportunidad de crecer profesionalmente, para beneficio de mi Patria.

A mis padres por su apoyo incondicional para la culminación de cada meta cumplida.

A mi directora la Ing. Paulina Guevara y mi Codirector el Ing. Alexander Robayo quienes me brindaron a más de sus conocimientos, me brindaron su tiempo y apoyo incondicional para salir con éxito en mi objetivo planteado. A ellos que a más de ser mí guía han sido unos verdaderos amigos.

A todos mis compañeros y amigos de la Universidad con los que compartí momentos inolvidables.

A los profesores y servidores públicos que conforman la Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente quienes con su apoyo, han sido parte fundamental en el cumplimiento de este gran objetivo planteado.

LUIS EDWIN MONTES PAGUAY

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1.1.	ANTECEDENTES	1
1.2.	IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	4
1.3.	JUSTIFICACIÓN.....	7
1.4.	DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	9
1.5.	OBJETIVOS.....	13
1.5.1.	Objetivo general.....	13
1.5.2.	Objetivos Específicos.....	13
1.6.	METAS	14
	MARCO TEORICO.....	15
2.1	CARACTERÍSTICAS DEL SUELO	15
2.2	CAUSAS DE LA CONTAMINACIÓN	15
2.3	FUENTES Y TIPOS DE CONTAMINANTES.....	16
2.4	CONTAMINACIÓN POR PRODUCCIÓN ENERGÉTICA Y ACTIVIDADES INDUSTRIALES	18
2.5	CONTAMINACIÓN POR PLOMO.....	19
2.6	CONTAMINACIÓN POR CROMO	21
2.7	CONTAMINACIÓN POR ZINC	26
2.8	RECUPERACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS.....	28
2.9	FITORREMEDIACIÓN	28
2.9.1.	Tolerancia de las plantas a los contaminantes.....	29
2.9.2.	Tolerancia a los metales pesados.....	30
2.10	BIOACUMULACIÓN	31
2.11	TUBÉRCULOS A SER ANALIZADOS.....	32
2.11.1.	La Papa (Solanum Tuberosum)	32
2.11.2.	La Malanga, (Xanthosoma Sagittifolium)	33
2.11.3.	Rábano (Raphanus Sativus L.)	33

2.11.4. El Camote (Ipomoea Batatas).....	37
2.11.5. Papa China (Colocasia Esculenta).....	38
2.11.6. Yuca (<i>Manihot Ssp</i>).....	39
2.12 NORMATIVAS	40
PARTE EXPERIMENTAL Y RECOPIACIÓN DE DATOS.....	45
3.1 Análisis del suelo del Complejo Industrial FABRILFAME.	45
3.2 MATERIALES Y METODOLOGÍA	46
3.2.1. Equipo y materiales.....	46
3.2.2. <i>Reactivos, Estándar y Fortificados.</i>	48
3.3 PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS	50
3.3.1. Recolección de la Muestra	50
3.3.2. Pre Tratamiento	51
3.3.3. Proceso de Extracción	51
3.3.4. Cuantificación.....	55
3.3.5. Validación del Método	57
3.3.6. Linealidad, función respuesta.	57
3.4 ANÁLISIS GEOESPACIAL	59
3.4.1 Procesamiento de Datos.....	59
3.5 RESULTADOS	64
ANÁLISIS DEL PODER DE BIOACUMULACIÓN DE SEIS TUBÉRCULOS	74
4.1 MATERIALES Y METODOLOGÍA	74
4.1.1. Equipo.-	74
4.1.2. Reactivos, Estándar y Fortificados.-	75
4.2 PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS	76
4.2.1. Recolección, contaminación del suelo	76
4.2.2. Pre tratamiento	77
4.2.3. Proceso de Extracción	78
4.2.4. Determinación de la bioacumulación de Cromo en suelo, tubérculo y planta.....	79
4.2.5. Cuantificación.....	80
4.2.6. Validación del Método	80
4.2.7. Linealidad, función respuesta.	81

4.3.	CÁLCULOS DE BIOACUMULACION EN LOS TUBERCULOS:	82
4.4.	RESULTADOS:	84
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	94
5.1.	CONCLUSIONES	94
5.2.	RECOMENDACIONES	98

ÍNDICE DE DIAGRAMAS

<i>Diagrama 1. Histograma de concentraciones de cromo en el Tubérculo del Papa</i>	<i>84</i>
<i>Diagrama 2. Histograma de concentraciones de cromo en el Tubérculo del Rábano</i>	<i>86</i>
<i>Diagrama 3. Histograma de concentraciones de cromo en el Tubérculo de la Malanga</i>	<i>87</i>
<i>Diagrama 4. Histograma de concentraciones de cromo en el Tubérculo de la Papa China</i>	<i>89</i>
<i>Diagrama 5. Histograma de datos de concentraciones de cromo en el Tubérculo Camote</i>	<i>90</i>
<i>Diagrama 6. Histograma de datos de concentraciones de cromo en el Tubérculo Camote</i>	<i>92</i>

ÍNDICE DE GRÁFICOS

<i>Gráfico 1. % de Absorción de Cromo en el Tubérculo</i>	<i>85</i>
<i>Grafico 2. % de absorción de Cromo en el Tubérculo</i>	<i>86</i>
<i>Grafico 3. % de absorción de Cromo en el Tubérculo</i>	<i>88</i>
<i>Grafico 4. % de absorción de Cromo en el Tubérculo</i>	<i>89</i>
<i>Grafico 5. % de absorción de Cromo en el Tubérculo</i>	<i>91</i>
<i>Grafico 6. % de absorción de Cromo en el Tubérculo</i>	<i>92</i>

ÍNDICE DE MAPAS

<i>Mapa 1. Mapa de puntos de muestreo</i>	47
<i>Mapa 2. Concentración del metal Cromo</i>	70
<i>Mapa 3. Concentración del metal Plomo</i>	71
<i>Mapa 4. Concentración del metal Zinc</i>	72
<i>Mapa 5. Concentración del metal Pb, Cr Zn</i>	73

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Áreas de Estudio</i>	11
<i>Figura 2 Complejo Industrial FABRIMIL</i>	12
<i>Figura 3. Papa (Solanum Tuberosum)</i>	33
<i>Figura 4. Malanga</i>	33
<i>Figura 5. Rábano (Raphanus Sativus L.)</i>	34
<i>Figura 6. Camote</i>	37
<i>Figura 7. Papa China</i>	38
<i>Figura 8. Yuca</i>	39
<i>Figura 9. Materiales de muestreo de campo</i>	46
<i>Figura 10. Procesos de secado de las muestras</i>	51
<i>Figura 11. Procesos de secado de las muestras</i>	51
<i>Figura 12. Materiales de laboratorio –Reactivos</i>	53
<i>Figura 13. Proceso de digestión</i>	54
<i>Figura 14. Proceso de Filtración de la muestra</i>	55
<i>Figura 15. Equipo de absorción atómica Perkin Elmer Analyst 200.</i>	56
<i>Figura 16. Muestras de suelo diluidas</i>	56
<i>Figura 17. Verificación de la tabla de atributos del shape generado</i>	60
<i>Figura 18. Selección del método Geoestadístico a aplicarse en el modelo</i>	61
<i>Figura 19. Selección de los parámetros generales del método.</i>	61
<i>Figura 20. Parámetros del semivariograma</i>	62
<i>Figura 21. Búsqueda del vecino más cercano</i>	62
<i>Figura 22. Validación cruzada y errores de predicción</i>	63
<i>Figura 23. Resumen de las características empleadas para generar cada modelo.</i>	64
<i>Figura 24. Modelo Kriging simple de concentración del metal Cromo</i>	65

<i>Figura 25. Modelo Kriging ordinario de concentración del metal Cromo.</i>	66
<i>Figura 26. Modelo Kriging simple de concentración del metal Plomo.</i>	67
<i>Figura 27. Modelo Kriging simple de concentración del metal Plomo</i>	67
<i>Figura 28. Modelo Kriging simple de concentración del metal Zinc.</i>	69
<i>Figura 29. Modelo Kriging simple de concentración del metal Zinc</i>	69
<i>Figura 30. Tubérculos estudiados en diferentes concentraciones de contaminación intencional.</i>	77
<i>Figura 31. Pretratamiento de las muestras de los tubérculos a ser digeridos.</i>	78
<i>Figura 32. Proceso de digestión del tubérculo</i>	79
<i>Figura 33. Estándares de Cromo</i>	81
<i>Figura 34. Respuesta del Equipo de Absorción Atómica (Y)</i>	82

INDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Criterios de Remediación (Valores máximos permisibles)</i>	42
<i>Tabla 2. Criterios de Remediación (Valores Máximos Permisibles)</i>	42
<i>Tabla 3. Características de Estándares certificados</i>	48
<i>Tabla 4. Estándares de Plomo</i>	49
<i>Tabla 5. Estándares de Cromo</i>	49
<i>Tabla 6. Estándares de Zinc</i>	50
<i>Tabla 7. Condiciones del equipo de Absorción Atómica para la determinación de Plomo, Cromo y Zinc</i>	57
<i>Tabla 8. Condiciones del equipo de Absorción Atómica para Plomo</i>	58
<i>Tabla 9. Condiciones del equipo de Absorción Atómica para Cromo</i>	58
<i>Tabla 10. Condiciones del equipo de Absorción Atómica para Zinc</i>	58
<i>Tabla 11. Valores de predicción y de error de concentración de Cromo</i>	65
<i>Tabla 12. Valores de predicción y de error de concentración de Plomo</i>	66
<i>Tabla 13. Valores de predicción y de error de concentración de Zinc</i>	68
<i>Tabla 14. Condiciones para la cuantificación de cromo por Absorción Atómica</i>	75
<i>Tabla 15. Estándares de Calibración</i>	75
<i>Tabla 16. Condiciones del Equipo de Absorción Atómica para la determinación de Cromo</i>	80
<i>Tabla 17. Resultados de la validación con muestras fortificadas</i>	81
<i>Tabla 18. Resultados del porcentaje de adsorción de cromo en el tubérculo Papa</i>	84
<i>Tabla 19. Resultados del porcentaje de adsorción de cromo en el tubérculo Rábano</i>	85
<i>Tabla 20. Resultados del porcentaje de adsorción de cromo en el tubérculo Malanga</i>	87

<i>Tabla 21. Resultados del porcentaje de adsorción de cromo en él tubérculo Papa China...</i>	88
<i>Tabla 22. Resultados del porcentaje de adsorción de cromo en él tubérculo Camote</i>	90
<i>Tabla 23. Resultados del porcentaje de adsorción de cromo en él tubérculo yuca</i>	91
<i>Tabla 24. Poder Bioacumulador de Cromo en seis tipos de Tubérculos</i>	93
<i>Tabla 25. Semana de análisis del tubérculo</i>	97

RESUMEN

El desarrollo industrial en el Ecuador ha provocado un incremento del uso de metales pesados en los diferentes procesos industriales. En el País son pocas las industrias que disponen de un sistema de tratamiento de aguas residuales. Estas aguas residuales pueden llevar contaminantes, los mismos que toman contacto con el suelo contaminándolo. El complejo industrial FABRILFAME en sus diferentes procesos industriales produce una gran variedad de residuos, los mismos que contienen diferentes compuestos químicos que pueden producir contaminación en el suelo del complejo. El objetivo de esta investigación empleando los sistemas de información fue la de elaborar un modelo de predicción de concentraciones de Cromo, Plomo y Zinc en el suelo del complejo industrial FABRIMIL y poder determinar si existe o no contaminación con estos metales. Si existiera contaminación y con el fin de poder presentar la fitorremediación como una alternativa de remediación de suelos contaminados, se analizó el poder bioacumulador de metales pesados en seis tipos de tubérculos endémicos del Ecuador, análisis que nos pudo determinar que los tubérculos factibles para realizar el proceso de fitorremediación son la Papa, el Rábano y la Papa China.

PALABRAS CLAVE: Fitorremediación, bioacumulación, espacialización, Cromo, Plomo, Zinc.

ABSTRACT

Industrial development in Ecuador has led to increased use of heavy metals in different industrial processes. The country has few industries that have a system of wastewater treatment. This wastewater can carry pollutants, taking the same ground contact contaminating. The FABRILFAME industrial complex in different industrial processes produce a variety of waste there of containing different chemicals that can cause contamination in the soil complex. The objective of this investigation is used information systems was to develop a model for predicting concentrations of chromium, lead and zinc in the soil FABRIMIL industrial complex and to determine whether or not there is contamination with these metals. If there is contamination and in order to present phytoremediation as an alternative remediation of contaminated soils, bioaccumulative heavy metal to be analyzed in six types of endemic tubers of Ecuador, analysis could determine that we carry the tubers feasible phytoremediation process are Potato, Radish and Potato China.

KEYWORDS: Phytoremediation, bioaccumulation, spatialization, Chromium, Lead, Zinc.

CAPITULO I

ESPACIALIZACIÓN DE CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS CROMO, ZINC Y PLOMO EN EL COMPLEJO INDUSTRIAL FABRILFAME Y PROPUESTA DE REMEDIACIÓN DE SUELOS

1.1. ANTECEDENTES

Los problemas de contaminación se han dado a través de los tiempos, sea en forma natural como por ejemplo el paso de un acuífero en estratos ricos en arsénico o por acción del hombre, el mismo que se ha ido incrementando desde la Revolución Industrial, donde de forma gradual se fueron generando diferentes tipos de residuos. Al principio no se prestaba interés por la generación de residuos porque se confiaba en la capacidad del medio para asimilarlos y se desconocía además sus efectos devastadores. A partir de los años 60 se empezó a tener conciencia del problema de los contaminantes ambientales. (Castillo, 2005).

Una de las consecuencias más negativas de la revolución industrial ha sido la dispersión de los contaminantes en el agua, atmósfera y suelo. De

éstos, el suelo es el medio más estático, donde los contaminantes pueden permanecer durante mucho tiempo. Esta permanencia a largo plazo es especialmente grave en el caso de contaminantes inorgánicos como los metales pesados, que no pueden ser degradados. Su persistencia, acumulación progresiva y/o su transferencia a otros sistemas supone una amenaza para la salud humana y la de los ecosistemas. (Becerril J.M., 2007)

Se debe tener presente que en nuestro país, las autoridades ambientales no aplican correctamente lo que cita el Art. 42 del T.U.L.S.M.A (Texto Unificado de Legislación Secundaria, Medio Ambiente) que textualmente dice *“Determinar, a nivel nacional, los límites permisibles para las descargas en cuerpos de aguas o sistemas de alcantarillado; emisiones al aire incluyendo ruido, vibraciones y otras formas de energía; vertidos, aplicación o disposición de líquidos, sólidos o combinación, en el suelo”*.

El Plomo es un metal de baja densidad, se descomponen con la acción de la temperatura y el agua; este metal forma muchas sales, óxidos y compuestos organometálicos. Ha sido conocido y explotado a través de los años por muchas aplicaciones, especialmente en combustibles y en algunos procesos industriales. El plomo es uno de los cuatro metales que tienen un mayor efecto dañino sobre la salud humana.

El precio de recuperar los ecosistemas contaminados es incalculable, y es por ello que los gobiernos, las industrias y la sociedad han reconocido la

necesidad de utilizar alternativas más económicas a los métodos tradicionales fisicoquímicos. No es de extrañar que la fitorremediación constituya una de las metodologías en expansión, considerándose como una tecnología muy competitiva y económica. (Arrieta Ramírez, 2011).

La *fitorremediación* de suelos contaminados se basa en el uso conjunto de plantas, enmiendas del suelo y técnicas agronómicas para eliminar, retener, o disminuir la toxicidad de los contaminantes del suelo (Chaney *et al.*, 1997). Este grupo de *fitotecnologías* reúne un gran número de ventajas, especialmente la limpieza y la economía; no utilizan reactivos químicos peligrosos, ni afectan negativamente a la estructura del suelo, sólo aplican prácticas agrícolas comunes; además, el proceso se realiza *'in situ'* evitando costosos transportes (Cunningham *et al.*, 1995).

Para su implementación se debe analizar el tipo y la cantidad de contaminante que se quiere remover, el entorno o las condiciones que presenta el lugar, y el tipo de planta a utilizar, en consecuencia es importante realizar un estudio de plantas endémicas hiperacumuladoras en la zona que puedan ser utilizadas, en el caso de que no existan, sería importante encontrar una que pueda desarrollarse de manera efectiva aceptando las condiciones del sitio.

Esta tecnología es sostenible gracias a que se emplean maquinarias, técnicas y suministros conocidos en agricultura, resultando de fácil

implantación y mantenimiento, además son poco perjudiciales para el ambiente y no afecta negativamente a los suelos ni a las comunidades aledañas.

Se debe destacar que la tecnología todavía está en proceso de desarrollo ya que aún se presentan ciertos inconvenientes o limitantes como son la profundidad que puedan alcanzar las rizosfera en el suelo contaminado o también de los largos periodos necesarios para completar la recuperación.

1.2. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

El complejo industrial FABRILFAME en sus diferentes procesos industriales produce una gran variedad de residuos, los mismos que contienen diferentes compuestos químicos que pueden producir contaminación en los suelos. El complejo Industrial ante una disposición gubernamental deberá ser reubicado, para la cual deberá entregar este complejo, el mismo que deberá estar libre de contaminación.

El Cromo se absorbe por vía oral, respiratoria o dérmica. Se distribuye a nivel de médula ósea, pulmones, ganglios linfáticos, bazo, riñón, e hígado. La absorción del Cromo (+3) es menor que la del Cromo (+6). El Cromo (+3) no atraviesa las membranas celulares. (REVISTA DE SALUD PÚBLICA DE Volumen 11(2) (COLOMBIA), Abril 2009).

Valores permisibles de exposición.

Los Valores Límites y en Medios Biológicos han sido propuestos por la American Conference of Governmental Industrial of Hygienists (ACGIH) (15,18), la NIOSH (19), la OSHA y otros. La Secretaria Distrital de Salud de Bogotá reporta valores de referencia para Población General hasta 10 µg/L y para población Expuesta hasta 20 µg/L. (REVISTA DE SALUD PÚBLICA DE Volumen 11(2) (COLOMBIA), Abril 2009).

Teniendo en cuenta el uso de insumos que contengan metales pesados tanto en el sector industrial como en el parque automotor, sus emisiones pueden contaminar el ambiente con Plomo, si estas concentraciones superan los límites permisibles, pueden afectar a la salud de los seres humanos. Por ejemplo el uso del suelo puede verse afectado por actividades industriales, agrícolas, comerciales y residenciales.

En las diferentes regiones del Ecuador existen diferentes tipos de fuentes que evacuan residuos con metales pesados, los mismos que al tomar contacto con el suelo podría superar los límites permisibles que tiene el suelo según su uso. Esta contaminación se puede dar en forma natural o antropogénico, dentro de esta última podrían estar inmiscuidas industrias del ejército ecuatoriano. Por esta razón es necesario buscar métodos que puedan recuperar el suelo sea en forma parcial o total, siendo la fitorremediación un posible método.

Los compuestos de cromo (VI), son más tóxicos que los compuestos de cromo (III). El problema de salud más común que ocurre en trabajadores expuestos al cromo involucra a las vías respiratorias. Estos efectos incluyen irritación del revestimiento del interior de la nariz, secreción nasal, y problemas para respirar (asma, tos, falta de aliento, respiración jadeante). Los trabajadores también han desarrollado alergias a compuestos de cromo, lo que puede producir dificultad para respirar y salpullido en la piel, Cáncer bronquial por compuestos hexavalentes, fundamentalmente los menos solubles como los cromatos de calcio, de estroncio y de cinc.

Dentro de los metales más dañinos a la salud humana destaca el Plomo el cual puede causar los siguientes efectos:

- Perturbación de la biosíntesis de hemoglobina y anemia
- Incremento de la presión sanguínea
- Daño a los riñones
- Abortos y abortos sutiles
- Perturbación del sistema nervioso
- Daño al cerebro
- Disminución de la fertilidad del hombre a través del daño en el esperma
- Disminución de las habilidades de aprendizaje de los niños

1.3. JUSTIFICACIÓN

El surgimiento y desarrollo de asentamientos humanos, actividades productivas, la industrialización de las empresas y la falta de técnicas apropiada en el tratamiento de los residuos han ocasionado la contaminación de los suelos por contaminantes, entre los cuales podemos mencionar los metales pesados de Cromo, Zinc y Plomo.

El complejo Industrial FABRILFAME, deberá entregar los suelos libre de contaminantes, y si los hubiere estos deberán estar dentro de los límites permisibles por la normativa del T.U.L.S.M.A

Es por ello, que surge la necesidad de recuperar este ecosistema empleando métodos alternativos y económicos a los métodos tradicionales fisicoquímicos. La fitorremediación constituye una de las metodologías y tecnología muy competitiva y económica, que beneficiará a la recuperación de este ecosistema, contribuyendo al desarrollo de las comunidades aledañas a los sectores contaminados, esta metodología de recuperación de los suelos emplea plantas (tubérculos) que puedan remover, transferir, estabilizar, descomponer, o degradar contaminantes.

Es necesario investigar el poder bioacumulador de metales pesados que tienen los tubérculos en las tres regiones naturales del Ecuador, puesto que la fitorremediación se realiza con plantas endémicas del sector con el fin de no alterar y perturbar los ecosistemas que se pretenden recuperar.

Ante la posibilidad de que los tubérculos tengan una alta capacidad de adsorción, se han considerado para este estudio 6 tipos de tubérculos de las tres regiones del Ecuador, los mismos que son de consumo humano, y existiría la posibilidad que estos tubérculos puedan ser transporte de contaminantes de metales pesados a los seres humanos.

Los seis tubérculos a ser analizados son:

- 1) La papa o patata (*Solanum tuberosum*)
- 2) El rábano (*Raphanus sativus*)
- 3) El camote (*Ipomoea batatas*)
- 4) La malanga (*Xanthosoma sagittifolium*)
- 5) La papa china (*Colocasia esculenta* L. Schott)
- 6) La Yuca (*Manihot esculenta*)

Al recuperar este ecosistema aportaríamos a dos de los objetivos del gobierno nacional, que pretende alcanzar con el Plan Nacional del Buen vivir que son:

Objetivo 3: Mejorará la calidad de vida de la población.

Objetivo 4: Garantizar los derechos de la naturaleza y promover un ambiente sano y sustentable. (PLAN NACIONAL DEL BUEN VIVIR 2009-2013)

1.4. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

a) Ubicación Geográfica

El proyecto de investigación se centró en el complejo industrial FABRILFAME, el mismo que se encuentra situado en la parroquia de Sangolqui, cantón Rumiñahui perteneciente a la provincia de Pichincha.

Adicionalmente se realizó en los cantones de Rumiñahui, Santo Domingo de los Colorados y el Puyo, el estudio del poder bioacumulador de tubérculos endémicos del Ecuador.

b) Datos Descriptivos

Los cantones de Rumiñahui, Santo Domingo de los Colorados y el Puyo como se indica en la figura 1, se encuentran distribuidos en las tres regiones del Ecuador, Sierra, Costa y Oriente respectivamente.

En el cantón Rumiñahui se encuentra ubicado el complejo industrial FABRILFAME, el mismo que realiza procesos industriales los cuales son; elaboración textil y calzado (FAME), mantenimiento y elaboración de municiones de diversos calibres (Fabrica de municiones Santa Bárbara). El clima del Cantón Rumiñahui, oscila entre los 16 °C en promedio, se encuentra a una altitud promedio de 2535 msnm.

El cantón de Santo Domingo de los Colorados, está ubicado en la Provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, tiene una altitud promedio de 655 msnm. Santo Domingo de los Colorados se encuentra ubicado en las

estribaciones de la Cordillera Occidental a 133 Km de la ciudad de Quito capital del Ecuador. Su temperatura habitual varía entre 21 a 33 °C en verano. En invierno normalmente de 23 a 34°C y a veces llega a los 38 °C.

El cantón del Puyo, en la provincia de Pastaza en la región amazónica, a una altitud promedio de 924 msnm. La ciudad del Puyo se encuentra ubicado aproximadamente a una hora de Baños. El clima es cálido húmedo, la temperatura varía entre los 18° y 33° C.

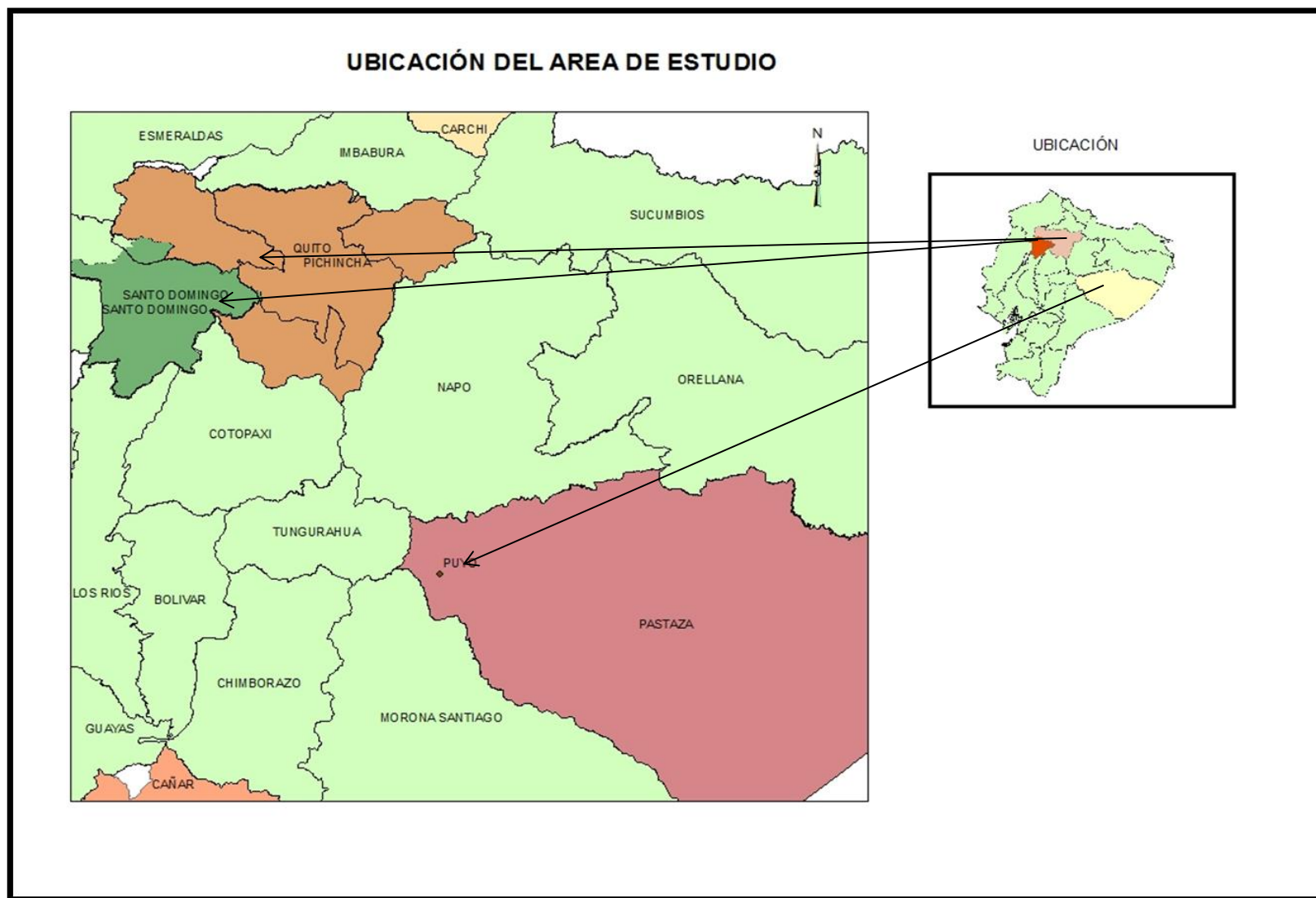


Figura 1. Áreas de Estudio



Figura 2 Complejo Industrial FABRIMIL

1.5. OBJETIVOS

1.5.1. Objetivo general

- Elaborar un mapa de concentraciones de Cromo, Plomo y Zinc en los suelos que conforma el complejo industrial FABRILFAME, y realzar una propuesta para recuperar suelos contaminados.

1.5.2. Objetivos Específicos

- Identificar el poder bioacumulador de plantas endémicas (tubérculos) de las tres regiones del Ecuador; costa, sierra y oriente empleando Cromo como contaminante.
- Identificar en un tiempo aproximado de cuatro a ocho meses por cada dos tipos de tubérculos de cada región de nuestro país, el poder bioacumulador con Cromo.
- Analizar la capacidad de absorción de Cromo en cada tubérculo por contaminación intencional del suelo.
- Determinación de la capacidad de acumulación focalizada de los contaminantes en diferentes estructuras de la planta.
- Analizar el suelo del complejo Industrial FABRILFAME, e identificar las concentraciones de Cromo, Plomo y Zinc. Si existiere contaminación con los metales estudiados, proponer una alternativa de remediación empleando las plantas estudiadas.

1.6. METAS

- Un mapa escala 1:1000 de concentración de Cromo, Plomo y Zinc en los suelos del complejo Industrial FABRILFAME.
- Listado de los seis tubérculos analizados con su porcentaje de absorción frente al Cromo.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1 CARACTERÍSTICAS DEL SUELO

El suelo es la parte superficial de la corteza terrestre que está dotada de una gran complejidad, tanto estructural como funcional. Esto es debido a las mutuas relaciones que se mantienen entre los seres vivos en el interior del suelo y el sustrato físico y químico donde se desarrolla. Todo ello constituye una unidad que debe ser analizada en su conjunto.

En definitiva, el suelo puede considerarse como un sistema que se acerca o se aleja del equilibrio, y que su funcionamiento está relacionado con el dinamismo de la corteza terrestre, derivado de los procesos bio-geo-químicos que en ella tienen lugar. (López, 1995)

2.2 CAUSAS DE LA CONTAMINACIÓN

Las sustancias que toman contacto con el suelo tienen diversas procedencias, unas veces son consecuencia de actividades naturales, y

otros productos de actuaciones humanas. En ambos casos, las sustancias pueden llegar a la superficie o al interior del perfil. A la superficie llegan en su mayor parte, por deposiciones naturales, vertidos antrópicos, deposición aérea, lluvia y deposición fluvial. En el interior del suelo los contaminantes proceden de infiltrados, transformaciones in situ, o ascenso capilar de capas freáticas más profundas.

Los contaminantes, una vez depositados en la superficie pueden volatilizarse, infiltrarse, biodegradarse o ser trasladados a otras zonas por organismos vivos o por escorrentía. Las sustancias que se infiltran pueden atravesar el sustrato sin reacción con los constituyentes del suelo o interaccionar con ellos, en este caso los elementos extraños pueden ser neutralizados, degradados, adsorbidos o precipitados. Como resultado final se produce la retención de las sustancias o su movilización, bien en el interior del suelo o ha través de sus lixiviados a las capas freáticas. Por otra parte, el suelo no es selectivo y puede actuar sobre compuestos orgánicos e inorgánicos, aniones y cationes, ácidos y bases, oxidantes y reductores, metales, sales, partículas coloidales, microorganismos, etc. (López, 1995)

2.3 FUENTES Y TIPOS DE CONTAMINANTES

La contaminación del suelo, de manera global, ha generado una serie de impactos sobre el hombre y los ecosistemas en distintas formas. Así los tipos de contaminantes y sus orígenes condicionan consecuencias, unas veces detectadas a corto plazo, debido a una contaminación puntual a un

tóxico conocido, y otras no detectables con inmediatez, pero con efectos devastadores en el futuro.

La contaminación de suelos puede clasificarse en función de su origen:

Natural.- Erupciones volcánicas, incendios naturales, deposiciones, productos de reacciones químicas y/o biológicas, etc.

Antropogénicas.- derivadas de actuaciones del hombre en cualquiera de sus actividades, agrícola, industrial, urbana, etc.

Los contaminantes pueden ser inorgánicos u orgánicos, y su toxicidad puede ser primaria, si procede de la fuente original, o secundaria si es producto de alguna transformación en el interior del suelo.

La denominada contaminación natural, o endógena, de carácter inorgánico se debe al desequilibrio que se produce cuando hay una acumulación de un componente inorgánico del suelo en concentraciones nocivas para las especies vivas. No obstante, las situaciones más graves son las que se derivan de la contaminación debida a la actividad humana. (López, 1995).

2.4 CONTAMINACIÓN POR PRODUCCIÓN ENERGÉTICA Y ACTIVIDADES INDUSTRIALES

Una de las principales causas de la contaminación del suelo, se enfoca en la producción de energía y el empleo de esta en diferentes tipos de actividades (industriales, movilización, entre otras).

La combustión de productos petrolíferos emana a la atmósfera partículas sólidas de residuos como óxidos de carbono (CO, CO₂), dióxido de azufre (SO₂), óxidos de nitrógeno (NO_x), hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), metales pesados (Pb, Cr, Zn, Cd), entre otros. Cada uno de estos sigue es asimilado por el suelo en diferentes tipos de procesos.

Estos productos vuelven a los ecosistemas terrestres cuando son transportados de forma mecánica o por las lluvias. Una vez que los contaminantes se encuentran en el suelo éstos pueden circular en su cavidad, ser absorbidos por las plantas o filtrarse hasta los cuerpos de agua.

La actividad minera en sus alrededores produce una notable contaminación con la presencia de metales como Pb, As, Zn, Sn, etc. Reduce la actividad biótica del suelo, incrementa así su susceptibilidad a la erosión, altera el paisaje y modifica el curso de las aguas superficiales y subterráneas.

2.5 CONTAMINACIÓN POR PLOMO

El plomo es un metal que se presenta abundante en la corteza terrestre; este metal es muy raro encontrarlo en su estado natural ya que por lo general está combinado con otros elementos los compuestos de plomo.

Se caracteriza por su color azulado. Tiene baja temperatura de fusión es decir que no se requiere de niveles altos de temperatura para que su estado pase de sólido a líquido. Además es resistente a la corrosión atmosférica y a la presencia de ácidos.

Este metal empezó a ser explotado debido a sus propiedades físicas de fácil moldeamiento y cambios de forma, siendo así empleado en varios procesos industriales.

Usos y Fuentes de Exposición

El plomo se utiliza tanto en forma líquida como sólida, es por eso que al ser empleados dentro de los diferentes procesos de producción generan polvo, humos o vapores.

Las actividades que emplean el metal plomo, pueden clasificarse según el nivel de riesgo de intoxicación; operaciones de elevado riesgo y de riesgo moderado. Para lo que se consideran las características físico-químicas del plomo, vías de entrada, intensidad de exposición y duración, de esta manera se puede considerar que las actividades de mayor riesgo son aquellas en las

que el plomo metálico o inorgánico es calentado y se forman aerosoles y humos en grandes cantidades.

Actividades de elevado riesgo:

- Metalurgia del plomo, fundición y refinado.
- Industrias de la construcción.
- Soldadura de objetos y aleaciones de plomo.
- Recuperación de plomo y de residuos metálicos que lo contengan.
- Fabricación de explosivos.
- Fabricación y manipulación de arseniato de plomo como insecticida.
- Fabricación y utilización de pinturas, esmaltes y barnices compuestos de sales y óxidos de plomo.

Actividades de riesgo moderado:

- Fabricación de municiones de plomo y su utilización en locales cerrados.
- Trabajos de demolición, especialmente raspado, quemado y oxicorte de materiales recubiertos con pintura de plomo.
- Fabricación de cables y trefilados.

Toxicología

Las principales vías de penetración del plomo al cuerpo humano son tres:

Vía respiratoria: Es la principal vía de entrada, penetra por inhalación de vapores, humos y partículas del polvo. El grado de absorción de plomo por esta vía depende de la concentración ambiental en el puesto de trabajo, del tiempo de exposición, de la forma física que se presente el metal plomo (vapores, humos o particulado), del tipo de ventilación, y de las condiciones de trabajo como son la temperatura, humedad y ventilación ambientales, y nivel de esfuerzo físico.

Vía oral: Las partículas de polvo del metal plomo son ingeridas a través de los alimentos, bebidas o a través de manos. Del 5 al 10% del plomo ingerido por esta vía pasa a la sangre, siendo el resto eliminado por las heces.

Vía cutánea: La absorción por esta vía es débil en el caso del plomo inorgánico al contrario que en el del plomo orgánico.

2.6 CONTAMINACIÓN POR CROMO

El metal Cromo es un elemento natural que se presenta en plantas, suelos, animales y gases volcánicos. En el ambiente el Cromo se encuentra en cómo; cromo trivalente que es un nutriente esencial para los seres humanos y como cromo hexavalente que son usualmente de origen antropogénico.

El cromo entre los elementos que abundan en la corteza terrestre ocupa el puesto 21, se lo encuentra combinado con hierro y oxígeno. Es un metal duro, muy resistente a la corrosión, quebradizo y de color gris plateado brillante.

El cromo tiene la propiedad de ser inoxidable tanto al aire húmedo como al aire seco y aún si se lo calienta a altas intensidades se oxida en pequeño grado.

Usos y Fuentes de Exposición

El cromo es utilizado en industrias químicas, metalúrgicas, y de materiales refractarios.

La industria química usa los derivados de cromo III y cromo VI en las operaciones de cromado, manufactura de pigmentos y colorantes, curtido de pieles y tratamiento de maderas.

En la industria de la metalurgia el cromo es un elemento esencial para los aceros inoxidables y otras aleaciones metálicas. Gracias a la tenacidad y resistencia del material son empleados en la fabricación de planchas de blindaje, proyectiles, cajas fuertes, prótesis metálicas para ortopedia.

En el campo de materiales refractarios los usos del cromo incluyen la fabricación de ladrillos para hornos metalúrgicos y otras aplicaciones afines que requieran la resistencia al calor.

Normalmente los niveles de concentración de cromo en aire son bajos sin embargo, las emisiones de industrias químicas que usan o producen compuestos de cromo, los incineradores y la gestión inadecuada de los desechos peligrosos aumentan éstas concentraciones convirtiéndose en un riesgo para el ser humano.

Los cursos de que tienen contacto con fuentes industriales o depósitos importantes de minerales de cromo pueden estar expuestos a concentraciones altas de cromo. Las aguas residuales de las industrias que producen cromado curtido, protección de maderas y textiles aportan cantidades considerables de cromo a las aguas superficiales.

Cabe mencionar que algunas de las plantas en su condición natural contienen concentraciones muy bajas de cromo incluso son no detectables. Algunos vegetales frescos, frutas, levadura, granos y carne contienen cromo de manera natural y es por esto que la ingestión de alimentos es la principal vía de exposición al metal.

Algunas personas pudieran estar expuestas a concentraciones de cromo muy superiores a las normales como por ejemplo trabajadores que realizan actividades de:

- Personas que manejan el tóner en máquinas de fotocopiado
- Técnicos de mantenimiento y reparación de máquinas de fotocopiado
- Obreros que fabrican baterías
- Fabricantes de velas
- Pintores
- Impresoras
- Obreros de la fabricación de hule
- Trabajadores del cemento, entre otros.

Toda los seres humanos corren el riesgo de ingerir cantidades de cromo mediante los alimentos o el agua, pero también se debe considerar la contaminación atmosférica debido a las emisiones industriales que utilicen cromo o compuestos de este.

Toxicología

El organismo de los seres humanos pueden asimilar el cromo de diferentes maneras como inhalación, ingestión y en menor medida por absorción mediante la piel. En el caso de trabajadores de industrias las vías respiratorias son las de mayor riesgo de contaminación.

Los seres humanos absorben el cromo por vía respiratoria cuando se inhala el aire que lo contiene. Las partículas de cromo metálico pueden depositarse en los pulmones, de aquí existen dos posibilidades.

Si se acumula en la parte superior del aparato respiratorio lo común es que las partículas absorbidas sean expulsadas mediante una tos común, en cambio si las partículas llegaron al fondo de los pulmones, estas pueden permanecer ahí el tiempo necesario para ingresar al fluido sanguíneo. Los compuestos de cromo VI se absorbe más rápidamente que los de cromo III.

El Cromo 3^+ es un nutriente esencial en el metabolismo de azúcares y grasas del cuerpo humano, además acelera la acción de la insulina como parte del proceso de tolerancia a la glucosa.

En personas desnutridas o diabéticas es muy probable que exista una deficiencia de cromo; aunque esto sea poco común la deficiencia de cromo se manifiesta en las personas como con la intolerancia a la glucosa, reducción de la longevidad, disminución de la cuenta espermática, trastornos en la fertilidad, pérdida de peso, disfunción del sistema nervioso.

Así también, el exceso a la exposición de cromo III puede afectar a la salud humana, produciendo cierta excesiva sensibilidad en la piel como el enrojecimiento y lesiones relacionadas. (Carrión & Lema, 2013).

2.7 CONTAMINACIÓN POR ZINC

El zinc se presenta en los, suelos, aire, agua, plantas, animales y seres humanos, es un elemento natural de la corteza terrestre y es parte inherente del medio ambiente.

El zinc puro es un metal brillante de color blanco – azulado. En contacto con aire seco tiene brillo metálico y se cubre rápidamente de una capa gris para protegerse del aire húmedo y evitar la corrosión. Es blando y se comporta de forma irregular con los cambios de temperatura.

El Zinc es un elemento químico esencial en los seres vivos que desempeña un papel importante en los procesos biológicos. En dosis adecuadas de ingesta es fundamental para cumplir con ciclos vitales como la digestión, reproducción entre otros procesos naturales.

Usos y Fuentes de Exposición

Dependiendo del proceso de cómo se haya obtenido (vía seca y vía húmeda) el Zinc es usado en diferentes tipos de procesos:

- Industrialmente: Vulcanización, catalizadores, como pigmento blanco en la industria de la cerámica, en la obtención de papel de copia, gomas.
- Farmacéutico: por sus propiedades absorbentes y astringentes se usan para el caso de quemaduras, escoceduras, infecciones y enfermedades de la piel.

- Fines Terapéuticos: Vía oral, como antiespasmódico o como emético dosis mayores, en inyecciones uretrales y en casos de deficiencia.
- Agricultura: Algunos compuestos de zinc han logrado remplazar fungicidas a base de Hg y Cu los cuales son muy tóxicos.
- Galvanizado: destinado al empleo en la galvanización del hierro y acero con objeto de proporcionar una cubierta resistente a la corrosión.

Las fuentes de exposición de zinc, está distribuido en alimentos y bebidas en concentraciones muy variables. Los productos más ricos en Zinc son los de origen marino como los mariscos, seguidos por las carnes rojas, derivados lácteos y huevos, y los cereales integrales. Los vegetales, en general, con excepción de las leguminosas, no son alimentos que presenten contenidos en zinc altos. Las verduras, hortalizas y frutas, grasas y dulces son fuentes pobres de zinc.

Toxicología

En el cuerpo humano la mayor cantidad de zinc es intracelular, este se distribuye en un 90% en los tejidos óseo y muscular; el resto, en la piel, hígado, páncreas, retina, células hemáticas y los tejidos gonadales en el varón.

A pesar de la baja toxicidad del zinc y de su amplio rango de tolerancia entre concentraciones adecuadas y tóxicas, se pueden presentar alteraciones a causa de la ingestión de altas dosis y por la exposición en largos períodos de tiempo.

EL Zinc puede desarrollar una toxicidad aguda en el cuerpo humano debido a inhalación de humos y polvos de compuestos de zinc en diferentes procesos industriales. Las dosis necesarias de compuestos de zinc para producir envenenamientos agudos son relativamente altas, y varían dependiendo del tipo de la especie biológica, la vía de administración y la disponibilidad del metal. Los síntomas más frecuentes son fiebre, debilidad, depresión, vómitos, salivación, dolor de cabeza, sudoración y dolores en pecho y piernas.

2.8 RECUPERACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS

En la actualidad se dispone de un amplio abanico de tecnologías de recuperación de suelos contaminados, algunas de aplicación habitual y otras todavía en fase experimental, diseñadas para aislar o destruir las sustancias contaminantes alterando su estructura química mediante procesos generalmente químicos, térmicos o biológicos.

Su aplicación depende de las características del suelo y del contaminante, de la eficacia esperada con cada tratamiento, de su viabilidad económica y del tiempo estimado para su desarrollo (Ortiz, Sanz, Dorado, & Villar, 2007).

2.9 FITORREMEDIACIÓN

El término genérico «fitorremediación» está constituido por un prefijo griego phyto, que significa planta, y un sufijo latino remedium, que significa

eliminar algo pernicioso.

La *fitorremediación* de suelos contaminados se basa en el uso conjunto de plantas, enmiendas del suelo y técnicas agronómicas para eliminar, retener, o disminuir la toxicidad de los contaminantes del suelo (Chaney, Malik, & Yin, 1997).

Este grupo de *Fito tecnologías* reúne un gran número de ventajas, especialmente la limpieza y la economía; no utilizan reactivos químicos peligrosos, ni afectan negativamente a la estructura del suelo, sólo aplican prácticas agrícolas comunes; además, el proceso se realiza *'in situ'* evitando costosos transportes

Inicialmente, el término de fitorremediación se asoció al uso potencial de especies hiperacumuladoras, plantas capaces de bioconcentrar niveles inusuales de metales en sus tejidos.

En la actualidad, las investigaciones en fitorremediación se encaminan no sólo al tratamiento de contaminantes inorgánicos (metales, metaloides, haluros y radio nucleídos), sino también al tratamiento de contaminantes orgánicos.

2.9.1. Tolerancia de las plantas a los contaminantes

Una característica esencial en cualquier tecnología de fitorremediación

es la tolerancia de las plantas a los contaminantes, que se define como la capacidad para resistir la acumulación en sus tejidos de elevados niveles de compuestos tóxicos. Para comprender el desarrollo de las plantas hipertolerantes es necesario conocer las estrategias moleculares que adoptan para resistir los efectos tóxicos de los contaminantes inorgánicos y orgánicos. (López, 1995)

2.9.2. Tolerancia a los metales pesados

La tolerancia de las plantas a los metales pesados está limitada tanto por la admisión celular, como por la resistencia de los metales una vez que han penetrado en las células.

Las plantas, para resistir los efectos tóxicos causados por los metales pesados, se relacionan con los siguientes mecanismos:

- Establecimiento de enlaces entre los metales y la pared celular.
- Nivel de tolerancia por la membrana celular hacia los metales.
- Reducción del transporte por la membrana celular.
- Flujo activo de metales desde las células hacia el exterior.
- Nivel de tolerancia de los enzimas vegetales hacia los metales.
- Compartimentación o acumulación del exceso de metales en órganos sub celulares como son las vacuolas.

2.10 BIOACUMULACIÓN

En toxicología, la bioconcentración o bioacumulación es el proceso de acumulación de sustancias químicas en organismos vivos de forma que estos alcanzan concentraciones más elevadas que las concentraciones en el medio ambiente o en los alimentos. Las sustancias propensas a la bioacumulación alcanzan concentraciones crecientes a medida que se avanza en el nivel trófico en la cadena alimenticia. En función de cada sustancia, esta acumulación puede producirse a partir de fuentes abióticas (suelo, aire, agua), o bióticas (otros organismos vivos). Las principales vías de introducción de una sustancia química en un organismo vivo son la respiratoria, la digestiva y la integumentaria. (Bioacumulación y Biomagnificación)

El término bioacumulación se acuñó entre las décadas de 1950 y 1960 por un grupo de naturalistas estadounidenses que encontraron altas concentraciones de DDT en el organismo de algunas especies de aves. Como consecuencia de este descubrimiento, el DDT fue prohibido para uso indiscriminado en muchos países. Además, en los años 1950 se descubrieron varios casos de intoxicación masiva por compuestos orgánicos de mercurio, como el desastre ecológico de la bahía de Minamata, en Japón, donde se dio a conocer la enfermedad de Minamata. (Bioacumulación y Biomagnificación).

Las sustancias potencialmente bioacumulables son, entre otras, la

Aldrina, el Captafol, el Clordano, los compuestos de mercurio, el Dicofol, el DDT, la Dieldrina, el Dinoseb, el Endrin, la Fenacetina, el HCH, el Heptacloro, el Lindano, el Paratión, el PBB, el PBDE, el Piretroide, los compuestos Organofosforados, el Óxido de Tributilestaño, el Toxafeno, los compuestos que contienen Bifenilos policlorados (policloruro de bifenilo o PCBs) y el Trióxido de antimonio, también son bioacumulables los metales pesados. (Bioacumulación y Biomagnificación)

2.11 TUBÉRCULOS A SER ANALIZADOS

2.11.1. La Papa (*Solanum Tuberosum*)

La papa es de origen americano. Su distribución abarca desde el sur del cañón del Colorado (EEUU) hasta el archipiélago de los Chonos en el sur de Chile, e incluye a todos los países de la Cordillera Andina.

La papa es uno de los cultivos más valiosos para la humanidad. En la mayoría de los países se siembra en extensas áreas y, por el volumen de producción, ocupa el cuarto lugar a nivel mundial, después del arroz, trigo y maíz. Sumado con estos cereales, tiene gran relevancia en la dieta alimentaria de la población mundial, en constante crecimiento. Se utiliza para la alimentación humana y animal, uso industrial y producción de tubérculos-semilla. (Ms.C.J. Salomon, Ms.C.J. Castillo, Dra. Estevez, Ms.C.J. Arzuaga, & Ortiz, 2010).

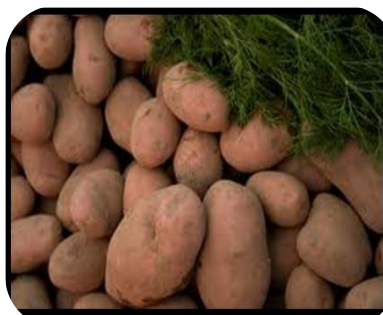


Figura 3. Papa (*Solanum Tuberosum*)

2.11.2. La Malanga, (*Xanthosoma Sagittifolium*)



Planta de la Malanga



Malanga

Figura 4. Malanga

La malanga en el Ecuador es un cultivo relativamente nuevo, que presenta una gran oportunidad de comercialización al mercado extranjero. El cultivo de la malanga en nuestro país se presenta en forma comercial en la zona de Santo Domingo de los Tsáchilas desde el año 1995. Sin embargo hay referencias de la existencia de este producto en las décadas anteriores, en las provincias de El Oro con el nombre de sango. (Viteri, 2009).

2.11.3. Rábano (*Raphanus Sativus L.*)

Rábano, nombre común de las plantas de un género de hierbas anuales o bianuales de la familia de las Crucíferas, y en particular del rábano común de huerta. Presenta un tallo ramoso, con numerosos pelos; la base de éste

se une con la raíz, y constituyen un tubérculo globoso. Las flores son blancas o amarillas, dispuestas en racimos terminales. Las hojas son grandes y ásperas, divididas en lóbulos con bordes dentados. Se cree que la planta procede de China; hoy se cultiva en toda la región templada boreal por la raíz pungente que forma, y suele consumirse en ensaladas. Las distintas variedades cultivadas se diferencian en tamaño, forma y color, que va desde el blanco al rojo, pasando por el amarillo. Esto depende también en parte de la estación en que se cultive; así, los rábanos de primavera son esféricos, mientras que los de verano son más grandes y alargados; ambos se consumen casi siempre crudos, mientras que las formas de otoño, aún más grandes, acostumbran a cocerse. El rábano japonés, grande y de color blanco, llamado daikon también se prepara encurtido o crudo. (Encarta, 2005)

Taxonomía del rábano



Figura 5. Rábano (*Raphanus Sativus* L.)

Origen

El origen de los rábanos no se ha determinado de forma concluyente; aunque parece ser que las variedades de rábanos de pequeño tamaño se originaron en la región mediterránea, mientras que los grandes rábanos pudieron originarse en Japón o China. En inscripciones encontradas en pirámides egipcias, datadas 2.000 años a.C.; ya se hacía referencia a su uso culinario. (Encarta, 2005).

BOTANICA DEL RABANO

Sistema radicular.- Raíz gruesa, carnosa, muy variable en cuanto a la forma y al tamaño, de piel roja, rosada, blanca, pardo-oscura o manchada de diversos colores.

(Infoagro, 2013)

Tallo.- Breve antes de la floración, con una roseta de hojas. Posteriormente, cuando florece la planta, se alarga alcanzando una altura de 0,50 a 1 m, de color glauco y algo pubescente. (Infoagro, 2013)

Hojas.- Básales, pecioladas, glabras o con pocos pelos hirsutos, de lámina lobulada o pinnatipartida, con segmentos laterales de borde irregularmente dentado. (Infoagro, 2013)

Flores.- Dispuestas sobre pedicelos delgados, ascendentes, en racimos grandes y abiertos; sépalos erguidos; pétalos casi siempre blancos, a veces

rosados o amarillentos, con nervios violáceos o púrpura; 6 estambres libres; estilo delgado con un estigma ligeramente lobulado. (Infoagro, 2013)

Fruto.- Silícula de 3-10 cm de longitud, esponjoso, indehiscente, con un pico largo. Semillas globosas o casi globosas, rosadas o castaño-claras, con un tinte amarillento; cada fruto contiene de 1 a 10 semillas incluidas en un tejido esponjoso. (Infoagro, 2013)

PROPAGACION Y CRECIMIENTO

Temperatura.- Prefiere los climas templados, teniendo en cuenta que hay que proteger al cultivo durante las épocas de elevadas temperaturas. El ciclo del cultivo depende de las condiciones climáticas, pudiendo encontrar desde 20 días a más de 70 días. (Infoagro, 2013)

La temperatura óptima de germinación está entre 20-25°C. Se adapta a cualquier tipo de suelo, aunque prefiere los suelos profundos, arcillosos y neutros. El pH debe oscilar entre 5,5 y 6,8. (Infoagro, 2013)

Luz.- una luminosidad deficiente durante la formación de los tubérculos influye favorablemente en la calidad de las mismas. Por lo contrario un exceso de luz en las mismas produce un ensuavecimiento en estas y hacen que se deprecien sensiblemente. (Suquilanda, 2001).

Suelo.- Se adapta a cualquier tipo de suelo, aunque prefiere aquéllos ricos en humus. Crecen en la mayoría de los suelos bien drenados, siempre que estén enriquecidos con humus en forma de turba, abono compuesto o estiércol. (Arnol, 2011).

2.11.4. El Camote (*Ipomoea Batatas*)

El género *Ipomoea* de la familia Convolvulaceae tiene alrededor de 600 especies distribuidas en los trópicos y subtrópicos de todo el mundo. El camote (*Ipomoea batatas*) es una de las ocho especies de la sección *Batatas* nativa que abarca desde México hasta el centro de Sudamérica. Presenta raíces engrosadas comestibles por lo que ha sido muy apreciado desde la antigüedad. (Linares, Bye, Ramirez, & Miranda, 2008).



Figura 6. Camote

El camote (*Ipomoea batatas*) es uno de los cultivos tradicionales más antiguos y valiosos. Actualmente se siembra en todo el mundo, especialmente en los países en desarrollo debido –entre otros factores– a su fácil propagación y pocos requerimientos de insumos, agua, fertilizantes y a su habilidad de crecer bajo altas temperaturas. Son plantas perennes que

bajo cultivo son manejadas como plantas anuales. (Cardenas Guizar, 2014)

El camote se propaga por medio de fragmentos de guía de una longitud de 30 a 40 cm, de los cuales se entierran las dos terceras partes. En países con clima templado la propagación se hace por medio de brotes que se obtienen de camotes pequeños o medianos que previamente se han sembrado en almácigos. (Linares, Bye, Ramirez, & Miranda, 2008).

2.11.5. Papa China (*Colocasia Esculenta*)



Figura 7. Papa China

Morfología: Planta herbácea, suculenta y perenne, que puede alcanzar 2 m de altura, las hojas tienen el pecíolo largo con láminas en forma oblongo ovaladas; el color de la pulpa es blanco, pero hay clones que presentan algunas coloraciones; por lo general, la planta no produce semillas y esto puede ser consecuencia de la propagación racional o porque los cormos se cosechan antes que las inflorescencias se formen; si se les permite completar el ciclo, producen pocas semillas.

Requerimientos climáticos: La “papa china” es una planta exigente en temperatura, 25-30°C, y precipitaciones entre 1800 a 2500 mm, bien distribuida, se adapta muy bien a suelos con pH entre 4,5 y 6,0. Existen variedades que se cultivan bajo inundación y también en suelos bien drenados; los demasiado pesados no permiten la emergencia de las plantas ni el desarrollo de los cormos; no es exigente en fertilidad del suelo, pero responde a la aplicación de fertilizantes. (Cóndor Pozo, 2010)

2.11.6. Yuca (*Manihot Ssp*)



Figura 8. Yuca

Origen.-La evidencia más antigua del cultivo de yuca proviene de los datos arqueológicos de que se cultivó en el Perú hace 4000 años. Las siguientes referencias al cultivo de Yuca provienen de la cultura Maya, hace 1400 años en Joya de Ceren (Morquecho Maldonado, 2013).

Actualmente los cultivos de yuca (*Manihot sculenta*) se encuentran distribuidos principalmente en las tierras bajas y calientes de los trópicos, sin

embargo, hay algunos cultivos de *Manihot esculenta* en tierras altas y frías de Bolivia. (Alvaro, 1977)

Se reproduce mejor de esquejes que por semilla en las variedades actualmente cultivadas. El crecimiento es lento en los primeros meses, por lo que el control de hierbas es esencial para un correcto desarrollo. En su uso normal, la planta entera se desarraiga al año de edad para extraer las raíces comestibles; si alcanza mayor edad, la raíz se endurece hasta la incomestibilidad. De las plantas desarraigadas se extraen los recortes para la replantación. (Wikipedia, 2014)

La raíz de la yuca es cilíndrica y oblonga, y alcanza el metro de largo y los 10 cm de diámetro. La cáscara es dura y leñosa, e incomestible. La pulpa es firme e incluso dura antes de la cocción, surcada por fibras longitudinales más rígidas; muy ricas en hidratos de carbono y azúcares, se oxida rápidamente una vez desprovista de la corteza. Según la variedad, puede ser blanca o amarillenta. (Wikipedia, 2014)

2.12 NORMATIVAS

NORMATIVA NACIONAL

La Norma Técnica de calidad ambiental del recurso suelo, se acoge lo dispuesto en el Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundario (TULSMA), Libro VI. Norma de Calidad Ambiental, Anexo 2. Norma de Calidad del Recurso Suelo, numeral 4.2.1

Norma de Calidad Ambiental del Recurso Suelo y Criterios de Remediación Para Suelos Contaminados

El objetivo principal de la presente norma es preservar o conservar la calidad del recurso suelo para salvaguardar y preservar la integridad de las personas, de los ecosistemas y sus interrelaciones y del ambiente en general. (MAE, 2013)

Los suelos contaminados deberán alcanzar los niveles de concentración establecidos en los criterios de remediación de suelos en la presente Norma. Los valores serán aplicados de acuerdo al uso de suelo donde se sitúa el área contaminada.

Criterios de Calidad del Suelo y Criterios de Remediación

Criterios de Calidad del Suelo.-

Los criterios de calidad, son valores de fondo aproximados o límites analíticos de detección para un contaminante en el suelo. Estos valores se encuentran en el T.U.L.S.M.A, Libro VI, Anexo 2 “Criterios de calidad de suelo”. (MAE, 2013)

Los valores de fondo se refieren a los niveles ambientales representativos para un contaminante en el suelo. Los valores pueden reflejar las variaciones geológicas naturales de áreas no desarrolladas o libres de la influencia de actividades industriales o urbanas generalizadas.

Los criterios de calidad de un suelo se presentan a continuación en la Tabla

1.

Tabla 1. Criterios de Remediación (Valores máximos permisibles)

Sustancia	Unidades(Concentración en Peso Seco)	Suelo
Parámetros Inorgánicos		
Cromo Total	mg/kg	20
Plomo	mg/kg	25
Zinc	mg/kg	60

Fuente: T.U.L.S.M.A, 2013

- Criterios de Remediación o Restauración del Suelo

Los criterios de remediación se establecen de acuerdo al uso del suelo, tienen el propósito de establecer los niveles máximos de concentración de contaminantes en un suelo, y son presentados en el Anexo 3. (MAE, 2013)

Los criterios de Remediación o Restauración se establecen de acuerdo al uso que del suelo (agrícola, comercial, residencial e industrial), y son presentados en la Tabla 2. Tienen el propósito de establecer los niveles máximos de concentración de contaminantes de un suelo en proceso de remediación o restauración.

Tabla 2. Criterios de Remediación (Valores Máximos Permisibles)

Sustancia	Unidades (Concentración en Peso Seco)	USO DEL SUELO			
		Agrícola	Residencial	Comercial	Industrial
Parámetros Generales					
Conductividad	mmhos/cm.	2	2	4	4
pH		6 a 8	6 a 8	6 a 8	6 a 8
Parámetros Inorgánicos					
Cromo Total	mg/kg	65	65	90	90
Cromo VI	mg/kg	0.4	0.4	1.4	1.4
Plomo	mg/kg	100	100	150	150
Zinc	mg/kg	200	200	380	380

Fuente: T.U.L.S.M.A., 2013

El Plan Nacional para el Buen Vivir 2009-2013 plantea nuevos retos orientados hacia la materialización y radicalización del proyecto de cambio de la Revolución Ciudadana, para la construcción de un Estado plurinacional e intercultural y finalmente para alcanzar el Buen Vivir de las y los ecuatorianos.

Las propuestas contenidas en el Plan Nacional para el Buen Vivir 2009-2013, plantean importantes desafíos técnicos y políticos e innovaciones metodológicas e instrumentales.

El Buen Vivir, es por tanto, una apuesta de cambio que se construye continuamente desde esas reivindicaciones por reforzar una visión más amplia, que supere los estrechos márgenes cuantitativos del economicismo, que permita la aplicación de un nuevo paradigma económico cuyo fin no se concentre en los procesos de acumulación material, mecanicista e interminable de bienes, sino que promueva una estrategia económica incluyente, sustentable y democrática. Es decir, una visión que incorpore a los procesos de acumulación y redistribución a los actores que históricamente han sido excluidos de las lógicas del mercado capitalista, así como a aquellas formas de producción y reproducción que se fundamentan en principios diferentes a dicha lógica de mercado. (Plan Nacional del Buen Vivir, 2009)

Dentro de los objetivos establecidos en Plan Nacional del Buen Vivir

tenemos:

Objetivo 3: Mejorará la calidad de vida de la población.

Objetivo 4: Garantizar los derechos de la naturaleza y promover un ambiente sano y sustentable.

CAPITULO III

PARTE EXPERIMENTAL Y RECOPIACIÓN DE DATOS

3.1 ANÁLISIS DEL SUELO DEL COMPLEJO INDUSTRIAL FABRILFAME.

La zona de estudio corresponde al complejo industrial FABRIMILFAME, el mismo que se encuentra en la parroquia urbana del Cantón Rumiñahui: Sangolquí (Cabecera cantonal).

La empresa del HOLDINGDINE S.A. desarrolla sus actividades en cumplimiento con el ordenamiento jurídico establecido en la Ley de Compañías, Ley de Contratación Pública, Ley y Reglamento del Régimen Tributario, Reglamento General de Riesgos de Trabajo, Reglamento de Seguridad y Salud. Además aplica las normas AATCC, ASTM e ISO, para el control de materia prima. El complejo industrial FABRILFAME S.A, se encuentra conformado por las empresas de FAME, Fabrica de municiones Santa Bárbara y Explocen.

FAME es una empresa nacional que diseña, fabrica y comercializa uniformes militares e institucionales, calzado, equipo de camping, ropa de

trabajo, para los miembros de las Fuerzas Armadas y el mercado civil.

FABRICA DE MUNICIONES SANTA BARBARA, está bajo su responsabilidad el mantenimiento de armamento militar y de fabricación de municiones de diversos calibres. Dispone de Galpones de procesamiento, y almacenamiento de munición de diversos calibres.

En uno de los galpones de la fábrica se realiza el proceso de pintar las municiones, pese a que en la actualidad se utiliza pintura sin plomo cabe mencionar que anteriormente se emplea pintura con este metal, es por esto que en los alrededores de estos galpones existan residuos de este metal en concentraciones considerables.

EXPLOCEN.- Dispone del área administrativa dentro del complejo industrial. Las bodegas de procesamiento y almacenamiento del material explosivo se encuentran en otras instalaciones alejadas del sector urbano.

3.2 MATERIALES Y METODOLOGÍA

3.2.1. Equipo y materiales.

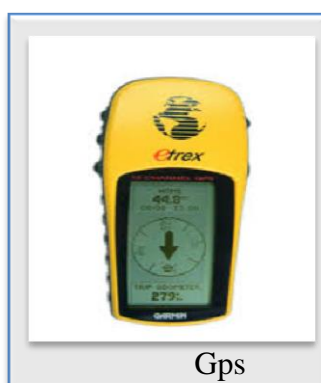
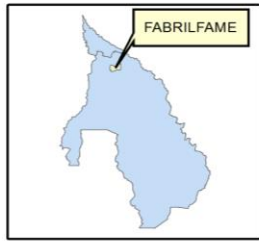


Figura 9. Materiales de muestreo de campo

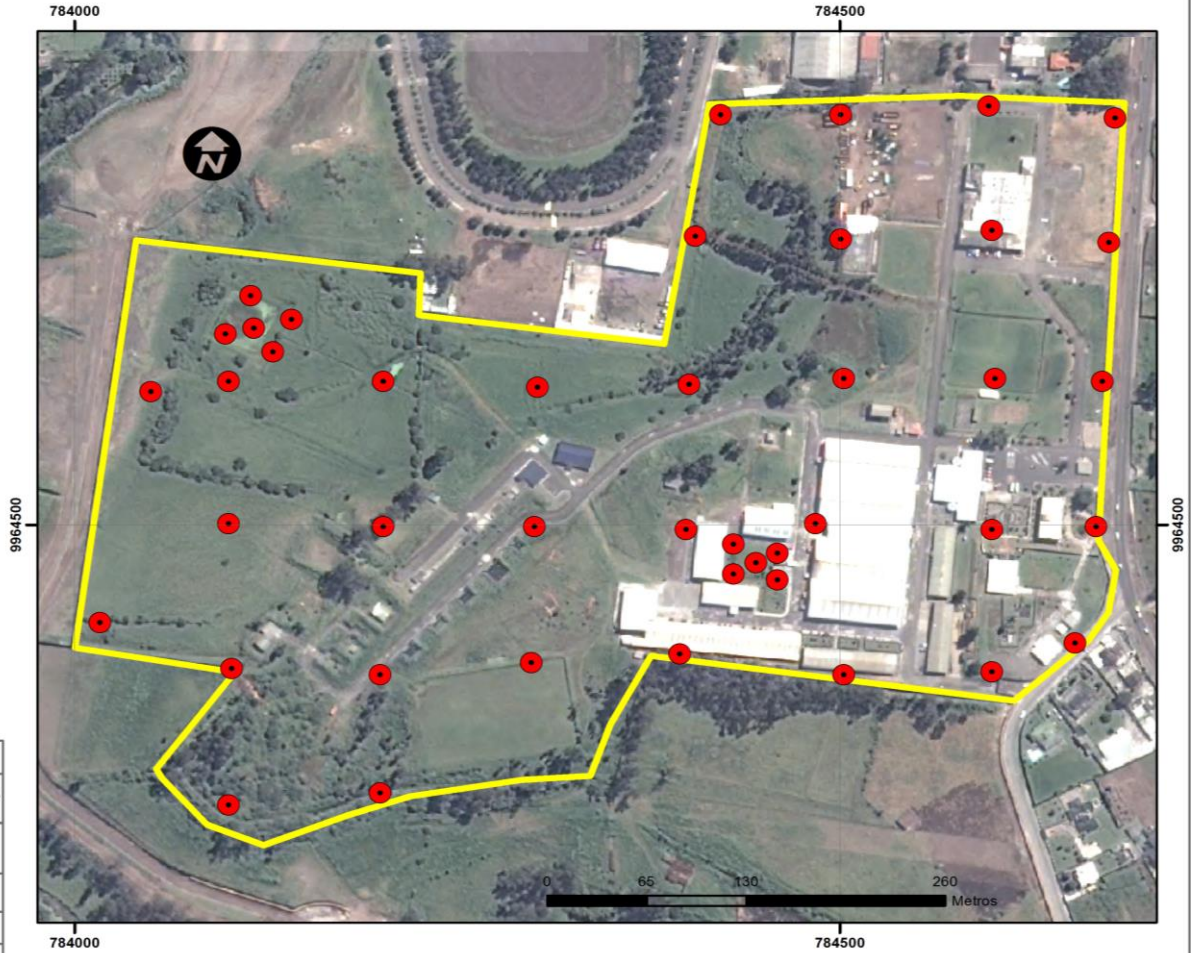
MAPA DE UBICACIÓN DE PUNTOS DE MUESTREO EN EL COMPLEJO INDUSTRIAL FABRILFAME



Ubicación a nivel parroquial

SIMBOLOGÍA

- PUNTOS DE MUESTREO
- Área de Estudio
- C. Industrial Fabril



UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE	
PROYECTO: ESPACIALIZACIÓN DE CONCENTRACIÓN DE LOS METALES CROMO PLOMO Y ZINC, EN EL SUELO DEL COMPLEJO INDUSTRIAL FARILFAME	
UBICACIÓN: PROV. PICHINCHA - CANTÓN RUMIÑAHUI PARROQUIA SANGOLQUI	CONTIENE: UBICACIÓN - SIMBOLOGÍA PUNTOS DE MUESTREO
SISTEMA DE REFERENCIA/DATUM: 17 S / WGS 84	REALIZADO POR: CAPT. MONTES PAGUAY LUIS
FUENTE: CARTOGRAFÍA BASE DEL CANTÓN RUMIÑAHUI SISTEMA NACIONAL DE INFORMACIÓN	ESCALA: 1 : 4000
	FECHA: 25 DE MARZO DEL 2014

Mapa 1. Mapa de puntos de muestreo

3.2.2. Reactivos, Estándar y Fortificados.

El reactivo utilizado fue Ácido Nítrico Emsure al 65% 1.39 g/cm^3 ; entre los estándares está Pb al 2% HNO_3 1000 $\mu\text{g/ml}$, Cromo al 2% HNO_3 1000 $\mu\text{g/ml}$ y Zn al 2% HNO_3 1000 $\mu\text{g/ml}$, valores que se encuentran declarados en el certificado de análisis del estándar y se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3. Características de Estándares certificados

Estándar	Casa Comercial	Unidades	Valores Certificados
Lead	Perkin Elmer	$\mu\text{g/ml}$	1000 ± 5.0
Chromium	Perkin Elmer	$\mu\text{g/ml}$	1000 ± 3.0
Zinc	Perkin Elmer	$\mu\text{g/ml}$	1000 ± 3.0

FUENTE: El autor

De los estándares certificados de 1000ppm de Lead (Pb), 1000ppm de Chromium (Cr) y 1000ppm de Zinc (Zn), se prepara el estándar de 100ppm de Pb, 100ppm de Cromo y 50ppm de Zn respectivamente, de este se prepararon 5 estándares para elaborar la curva de calibración del equipo de absorción atómica.

A partir del estándar certificado de 1000ppm de Lead Pb, se toma un volumen de 10ml. Se colocó en un balón de 100ml. Aforando con HNO_3 al 10% de concentración, el mismo procedimiento se realizó para Cromo, obteniendo estándares de 100ppm para Plomo y Cromo. Para Zinc solo se ocupó 5ml del estándar de 1000ppm de Zinc para preparar el estándar de

50ppm.

De las nuevas concentraciones de 100ppm Pb, 100ppm Cromo y 50ppm Zinc, se toman los valores mostrados en las tablas 4, 5 y 6.

Se aforo con solución los cuales sirven para realizar la calibración del equipo de absorción atómica.

Tabla 4. Estándares de Plomo

Pb		
Estándar (ppm)	Volumen de Pb 100ppm (ml)	Volumen de aforo (ml)
1	0,25	25
2	0,2	
5	1,25	
8	2	
10	2,5	

Fuente: El autor

Tabla 5. Estándares de Cromo

Cr		
Estándar (ppm)	Volumen de Cr 100ppm (ml)	Volumen de aforo (ml)
0,1	0,05	50
1	0,5	
2	1	
4	2	
5	2,5	
10	5	

Fuente: El autor

Tabla 6. Estándares de Zinc

Estándar (ppm)	Zn	
	Volumen de Zn de 50ppm (ml)	Volumen de aforo (ml)
0,1	0,05	50
0,25	0,125	
0,5	0,25	
1	0,5	

Fuente: El autor

3.3 PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS

Para esta fase de la metodología se toma como referencia los métodos estándar 3030 (digestión de metales).

3.3.1. Recolección de la Muestra

Una vez identificada y definida el área de estudio y los sitios con probabilidades de mayor exposición de contaminantes (Piscina de tratamiento abandonada, y galpones de pintura de munición), se determinó un número total de 42 muestras distribuidas de la siguiente manera; 29 muestras en los vértices de una cuadrícula de 100 metros, 8 muestras en los lugares de posible contaminación sector industrial y 5 muestras de validación del modelo espacial realizado (Mapa 1).

Con la ayuda de un GPS navegador, se identificó los puntos de muestreo. Empleando un barreno para la toma de la muestra se almaceno en cajas de papel de cada punto y se trasladaran al laboratorio, como se demuestra en la figura 10.



Figura 10. Procesos de secado de las muestras
Fuente: Autor

3.3.2. Pre Tratamiento

La muestra de suelo se la homogeniza y se coloca en la estufa a 70°C por 24 h, a fin de eliminar la humedad, posteriormente se toma 2gr. Y se somete al proceso de extracción del metal figura 11.

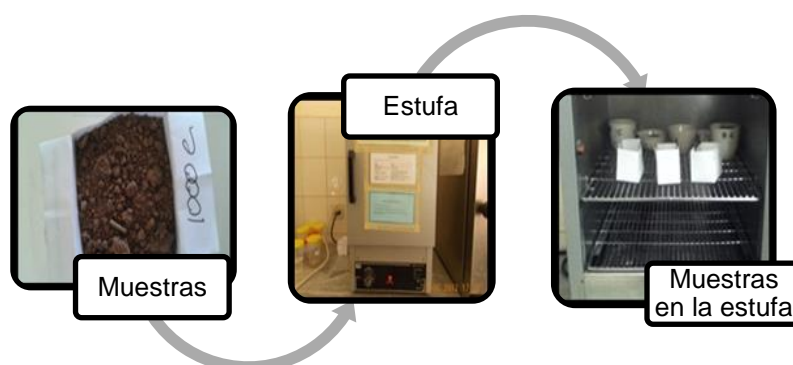


Figura 11. Procesos de secado de las muestras
Fuente. Autor

3.3.3. Proceso de Extracción

A fin de poder realizar el proceso de digestión se utilizó los materiales, equipos y reactivos según se muestra en la figura 12.

Materiales de uso personal



- Mascarilla con filtro
- Guantes de nitrilo
 - Mandil
 - Gafas

Material de Laboratorio

Balanza



Plancha



Mortero



Vaso de
presipitacion



Papel Filtro



Embudo



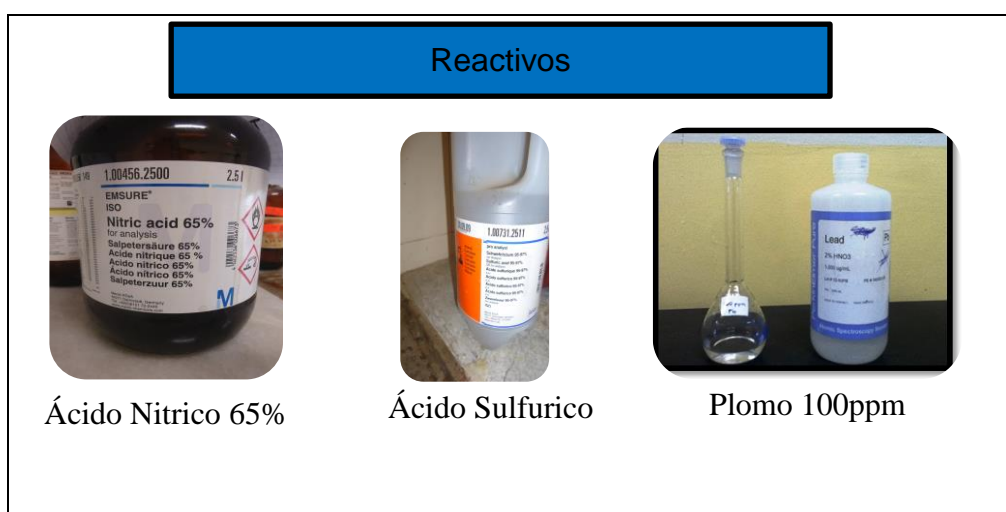


Figura 12. Materiales de laboratorio –Reactivos

Para el proceso de digestión, se añade a la muestra 10ml de HNO_3 al 10%, se coloca en la plancha que se encuentra a 150°C de temperatura y en 0 rpm. Se espera hasta que se volatilice el HNO_3 y quede una fina capa del mismo sobre el suelo, se adiciona nuevamente 10ml de HNO_3 al 10% y se retira de las planchas al primer hervor.

El proceso de digestión se encuentra representado en la figura 13.



Figura 13. Proceso de digestión

Finalmente se retira la muestra de la plancha y se la filtra hasta obtener aproximadamente 10ml. De la solución para su posterior lectura en el equipo de absorción atómica.

Se registra el valor exacto de aforo de cada solución y finalmente almacenar en un tubo de ensayo, bien cerrado con el correspondiente identificador de la muestra según como se muestra en la figura 14.

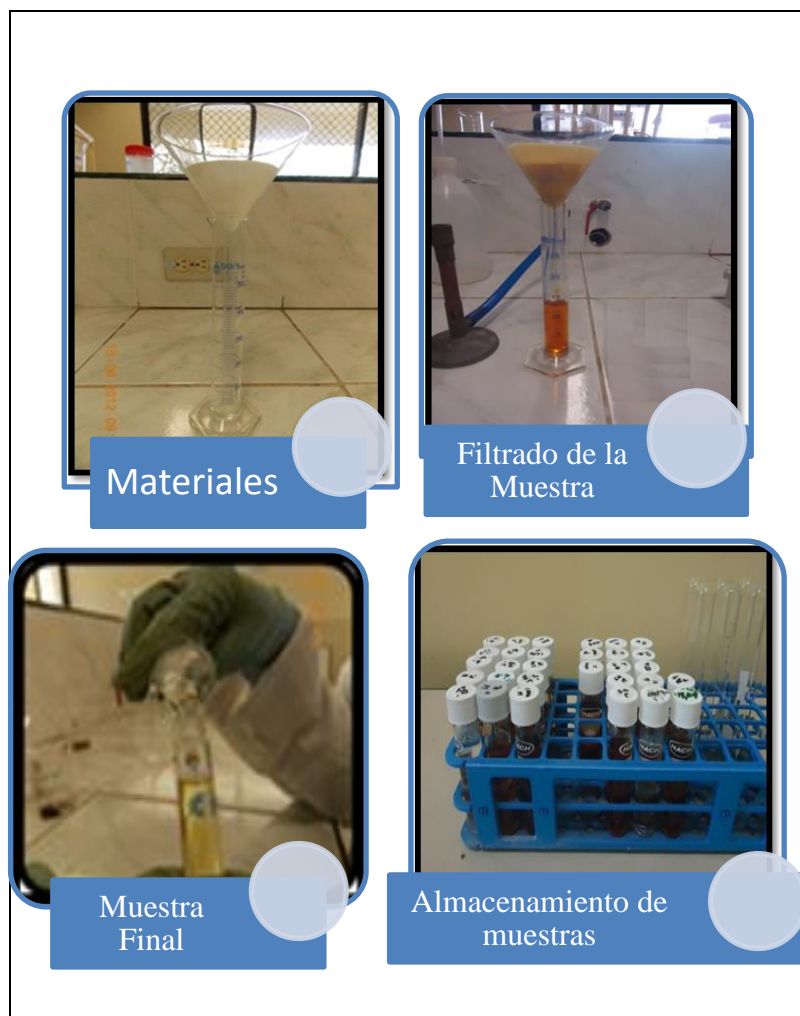


Figura 14. Proceso de Filtración de la muestra

3.3.4. Cuantificación

Para la lectura de la concentración de Pb, Cr y Zn en el suelo, se utilizó el equipo de absorción atómica Perkin Elmer Analyst 200 con 10ml. De solución de cada muestra de suelo.

En las figuras 15 y 16 se puede visualizar el Equipo para cuantificar la concentración de los metales y las muestras diluidas de Cromo, Plomo y Zinc.



Figura 15. Equipo de absorción atómica Perkin Elmer Analyst 200.



Figura 16. Muestras de suelo diluidas

El Equipo de Absorción Atómica Perkin Elmer Analyst AA200, la tolerancia permitida del equipo es de una absorbancia de $0.2 \pm 20\%$ en la solución de chequeo, con sistema de detección de llama con una

combinación entre oxígeno y acetileno. Las condiciones de trabajo establecidas se detallan en la Tabla 7 según el metal que se estudió.

Tabla 7. Condiciones del equipo de Absorción Atómica para la determinación de Plomo, Cromo y Zinc

	PLOMO	CROMO	ZINC
Longitud de onda:	283.31 nm	357.87 nm	213.86 nm
Flujo de Oxidante: Aire	10 L/min	8 L/min	10 L/min
Flujo de Acetileno: Acetileno	2.5 L/min	4 L/min	2.5 L/min
Flama directa:	Aire – Acetileno	Aire – Acetileno	Aire – Acetileno
Rango de trabajo lineal	0,1 a 10 ppm	0,1 a 10 ppm	0,1 a 1 ppm
Solución de chequeo	8 ppm	4 ppm	0,5 ppm

Fuente: El autor

3.3.5. Validación del Método

Para realizar la validación del método, se trabajó con muestras fortificadas, es decir a cada grupo de muestras analizadas se incrementó una muestra como blanco de solución extractante HNO₃ 10% y se adicionó 0,8ml de la solución de 100ppm de Pb de concentración a fin de obtener la concentración característica de 8 ppm. De esta forma se verifica que el proceso de digestión y de lectura del metal no se esté alterando y que tanto para la lectura de los estándares de calibración como de las muestras fortificadas estén dentro del rango de incertidumbre del $\pm 20\%$.

3.3.6. Linealidad, función respuesta.

Como se muestra en las siguientes tablas, se trabajó con 5 estándares para Plomo, con 6 estándares para Cromo y con 4 estándares para Zinc, los

cuales son utilizados para elaborar las curvas de calibración para cada metal.

La curva de calibración de los estándares son obtenidos mediante una regresión lineal, se analiza en el eje Y la medida de absorbancia que proporciona el equipo y, en el eje X la concentración de los estándares en ppm. para cada elemento, como se muestra en la tabla 8, 9 y 10.

Tabla 8. Condiciones del equipo de Absorción Atómica para Plomo

CALIBRACIÓN DEL EQUIPO	
ESTÁNDAR	ABSORBANCIA
1ppm	0.036
2ppm	0.078
5ppm	0.131
8ppm	0.186
10ppm	0.212

Fuente: El autor

Tabla 9. Condiciones del equipo de Absorción Atómica para Cromo

CALIBRACIÓN DEL EQUIPO	
ESTÁNDAR	ABSORBANCIA
0.1ppm	0.019
1ppm	0.052
2ppm	0.081
4ppm	0.113
5ppm	0.154
10ppm	0.214

Fuente: El autor

Tabla 10. Condiciones del equipo de Absorción Atómica para Zinc

CALIBRACIÓN DEL EQUIPO	
ESTÁNDAR	ABSORBANCIA
0.1ppm	0.027
0.25ppm	0.089
0.5ppm	0.176
1 ppm	0.233

Fuente: El autor

De los resultados obtenidos se tuvo un coeficiente de correlación (R^2) mayor o igual a rango entre 0.995 a 0.979, siendo aceptable para este análisis e indicando una buena calibración del equipo.

3.4 ANÁLISIS GEOESPACIAL

A partir de los resultados obtenidos de las concentraciones de Cromo, Plomo y Zinc y empleando el software ARCGIS se procede a generar los modelos de predicción.

3.4.1 Procesamiento de Datos

Obtenidos los datos de concentración de los tres metales en cada una de las muestras, se procede a realizar el análisis exploratorio para lo cual se utilizó el software Excel 2003. Con éste análisis es posible identificar datos atípicos, frecuencia, variabilidad y forma de los datos.

Con los resultados obtenidos se puede tomar la decisión de continuar con el siguiente análisis o antes rectificar las muestras que presenten un comportamiento anormal, mediante la toma de una nueva muestra.

Cargar un nuevo proyecto de ArcMap 10.2 en base a la base de datos de las muestras con su respectivo identificador, ubicación y valor de concentración.

Como se muestra en la figura 17, los datos de las muestras de los tres metales, exportar a un archivo de tipo shape con el respectivo sistema de referencia en el que se está trabajando.

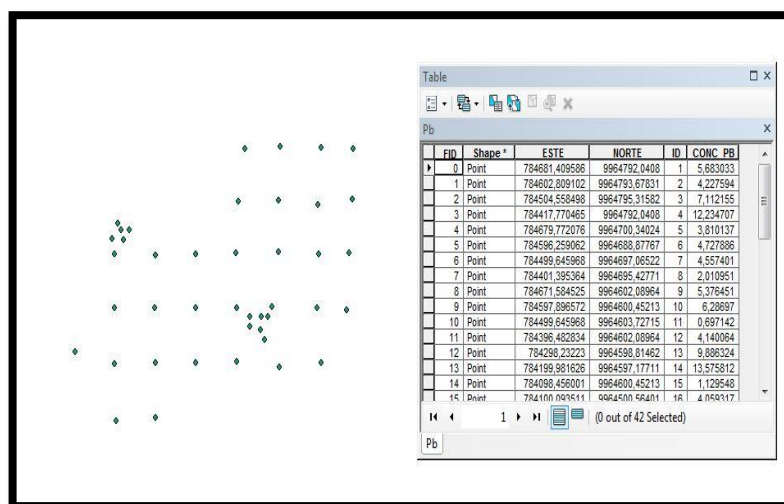


Figura 17. Verificación de la tabla de atributos del shape generado

Se verifica si está activada la extensión Geostatistical Analysis y abrir la herramienta con la opción Geoestadístico Wizard.

Para la selección del método como se muestra en la figura 18., se selecciona el método Geoestadístico, para este caso la opción Kriging/Cokriging, en el Input data seleccionar el shape con los datos. En la pestaña Attribute seleccionar el campo correspondiente a la variable que se está analizando.

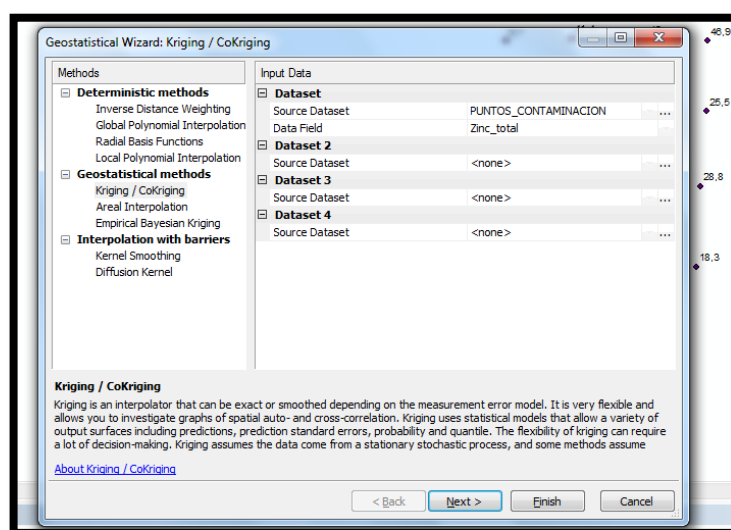


Figura 18. Selección del método Geoestadístico a aplicarse en el modelo

A continuación en la ventana de Geostatistical wizard, se define los parámetros generales del método como son; tipo de Kiging, tipo transformación (log, Box-Caja). Y finalmente que tipo de modelo sea de Predicción según como se muestra en la Figura 19.

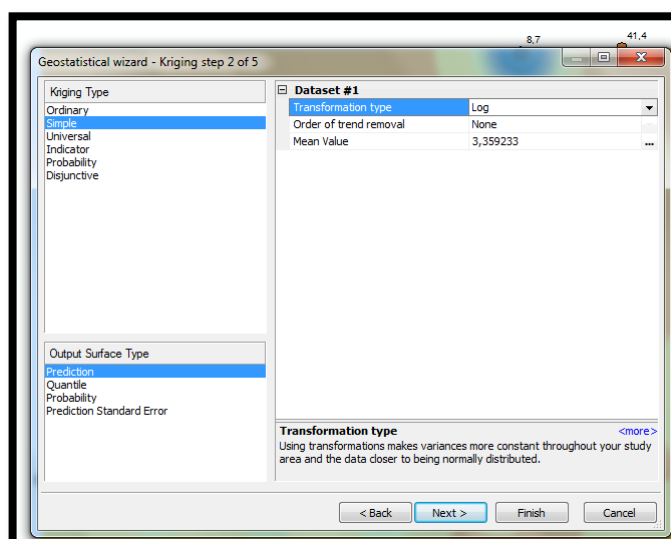


Figura 19. Selección de los parámetros generales del método.

Como se muestra en la Figura 20, se tiene la ventana de Semivariogram/ Covariance Modeling y se deja por defecto los parámetros propuestos por el software.

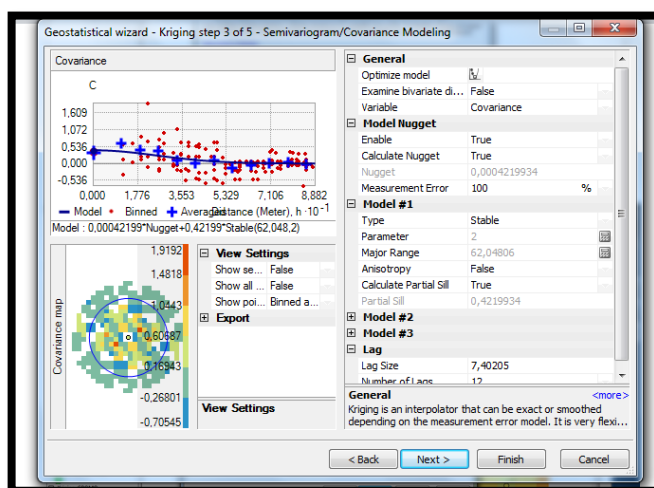


Figura 220. Parámetros del semivariograma

En la ventana de Searching Neighborhood, se presentan el número de datos vecinos que se toman para el cálculo de valores donde no existen mediciones. Dejar por defecto como se muestra en la Figura 21.

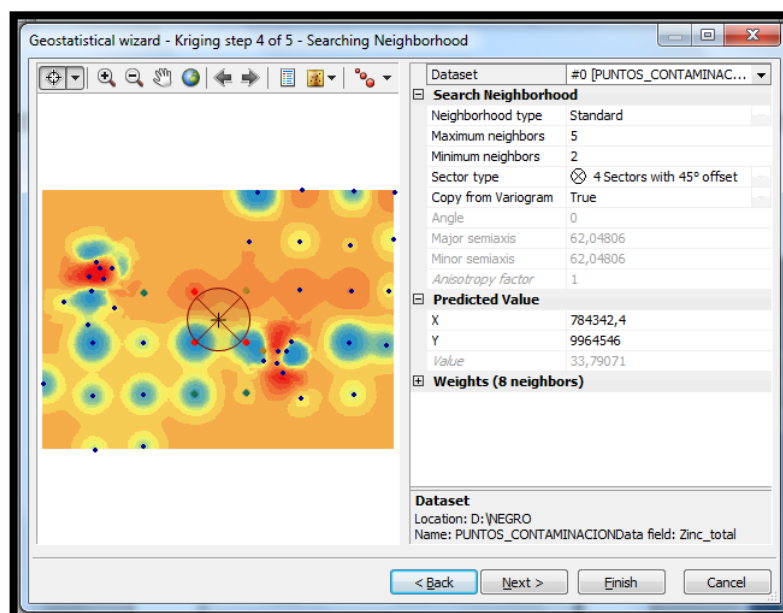


Figura 21. Búsqueda del vecino más cercano

En la ventana Cross Validation se puede apreciar la calidad del modelo de acuerdo a los valores dados en la sección de Prediction Errors según se muestra en la figura 22.

El Root-Mean-Square es el resultado de la suma de las distancias cuadradas entre los valores medidos y modelados a la raíz.

El Average Estándar Error representa el error promedio que existe al calcular un número arbitrario de modelos con los datos. Mientras más cerca estos valores se encuentran a los valores de estos dos parámetros mucho mejor es el modelo.

También indica el Root Mean Square Standardized el cual al ser un valor más cercano a 1 es un indicador de un buen modelo.

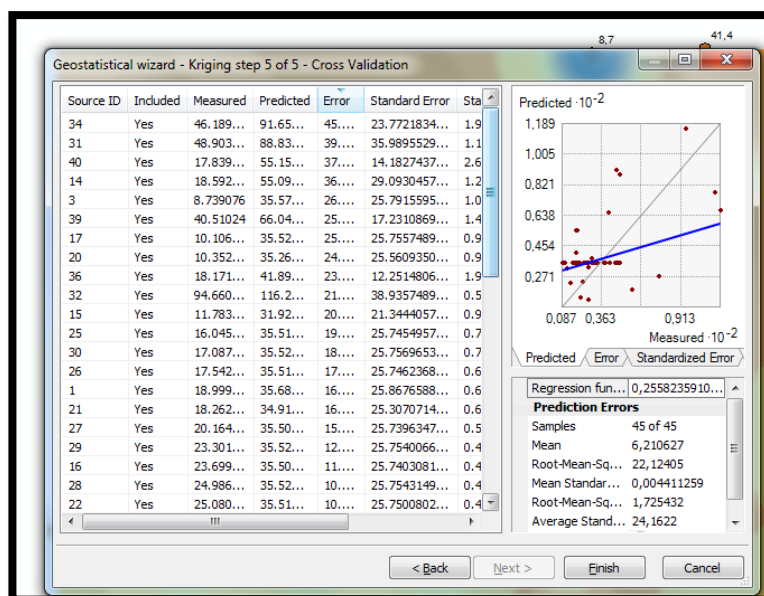


Figura 322. Validación cruzada y errores de predicción

Se obtiene finalmente una capa tipo raster como resultado de la predicción espacial para la variable en cualquier punto dentro del área de estudio. A partir de esto se realizará un mapa de concentraciones de plomo, cromo y zinc en el complejo industrial Fabrimil.

Finalmente se procede a la verificación del modelo en campo según se muestra en la figura 23.

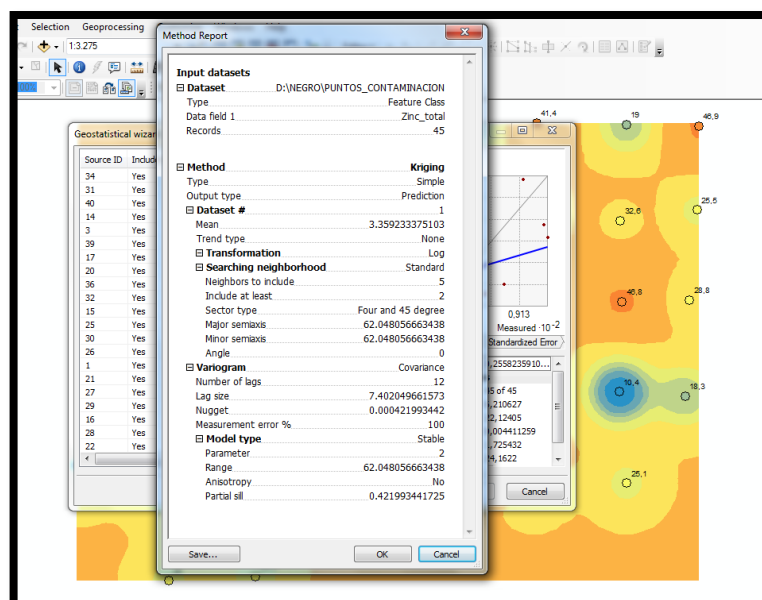


Figura 23. Resumen de las características empleadas para generar cada modelo.

3.5 RESULTADOS

Empleando los diversos modelos del software Arcgis 10.2, en la predicción de las concentraciones de los metales Cromo, Plomo y Zinc, se obtuvieron las siguientes predicciones

Cromo

Según se muestra en la tabla 11 el modelo es aceptado el error generado tiene un error promedio de 0.078, una desviación estándar de 0,64 y una varianza de 0,41.

Tabla 11 Valores de predicción y de error de concentración de Cromo

PTO	NORTE	ESTE	Cr [] ppm	Included	Predicted [] ppm	Error
1	9964726,5	784086,2	5,76	Yes	6,102	0,340
2	9964745,1	784637,8	4,21	Yes	5,082	0,870
3	9964348,2	784545,2	7,45	Yes	7,196	-0,257
4	9964342,9	784061,0	5,99	Yes	6,468	0,482
5	9964554,6	784346,8	5,34	Yes	5,848	0,507
6	9964443,0	784465,8	9,97	Yes	9,082	-0,890
7	9964644,7	784114,8	6,32	Yes	5,817	-0,505

Fuente: El autor

El Modelo aplicado para el metal de Cromo fue de tipo Logarítmica (los datos tienen una mejor dispersión) y se empleó un método ordinario los mismos que se muestran en las figuras 24 y 25.

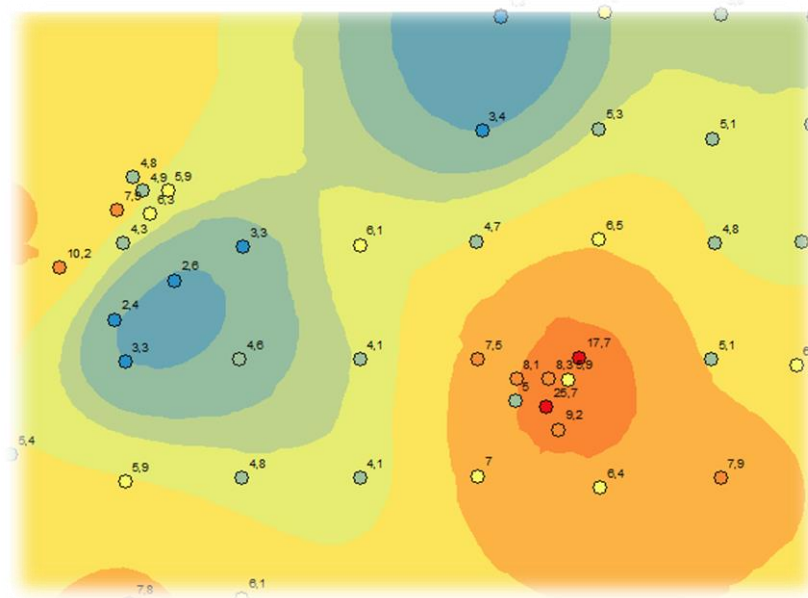


Figura 244. Modelo Kriging simple de concentración del metal Cromo.

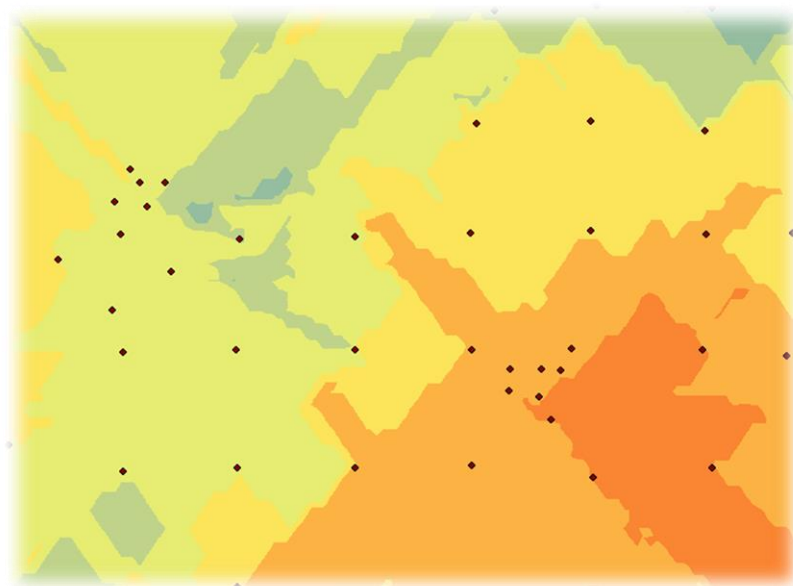


Figura 25. Modelo Kriging ordinario de concentración del metal Cromo.

Debido a la dispersión que muestran los tipos de modelos, se empleó el modelo Kriging simple para la predicción de concentración del metal Cromo.

Plomo

Según se muestra en la tabla 12 el modelo es aceptado el error generado tiene un error promedio de -0.85, una desviación estándar de 1,56 y una varianza de 2,44.

Tabla 12. Valores de predicción y de error de concentración de Plomo

PTO	NORTE	ESTE	PB [] ppm	Included	Predicted [] ppm	Error
1	9964726,5	784086,1	7,494	Yes	7,531	0,038
2	9964745,1	784637,8	6,993	Yes	7,404	0,410
3	9964348,2	784545,2	8,236	Yes	7,657	-0,579
4	9964342,9	784061,0	10,476	Yes	7,802	-2,674
5	9964554,6	784346,8	7,386	Yes	7,538	0,153
6	9964443,0	784465,8	3,968	Yes	4,097	0,129
7	9964644,7	784114,8	26,346	Yes	22,863	-3,482

Fuente: El autor

El Modelo aplicado para el metal de Plomo fue de tipo Logarítmica (los datos tienen una mejor dispersión) y se empleó un método simple y ordinario los mismo que se muestra en las figuras 26 y 27.

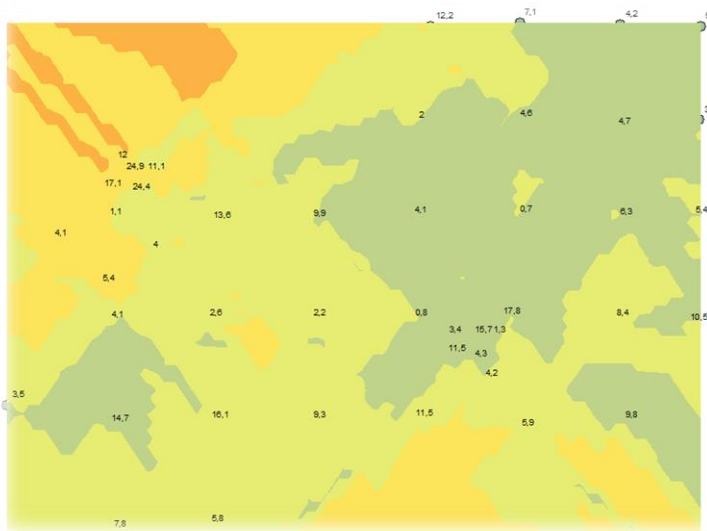


Figura 26. Modelo Kriging simple de concentración del metal Plomo.

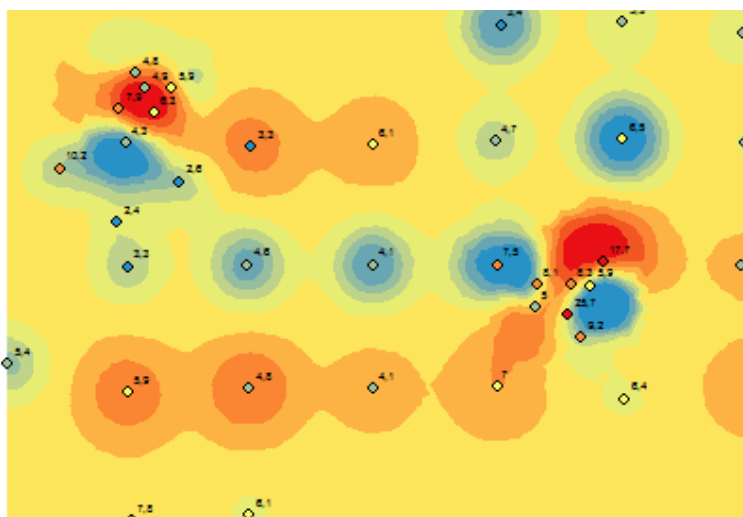


Figura 27. Modelo Kriging simple de concentración del metal Plomo

Debido a la dispersión que muestran los tipos de modelos, se empleó el modelo Kriging simple para la predicción de concentración del metal Plomo.

Zinc

Según se muestra en la tabla 13 el modelo es aceptado el error generado tiene un error promedio de -6,28 una desviación estándar de 19,88 y una varianza de 395,37.

Tabla 13. Valores de predicción y de error de concentración de Zinc

PTO	NORTE	ESTE	Zn [] ppm	Included	Predicted [] ppm	Error
1	9964726,5	784086,1	29,385	Yes	34,484	5,100
2	9964745,1	784637,8	37,143	Yes	35,140	-2,002
3	9964348,2	784545,2	32,987	Yes	35,403	2,416
4	9964342,9	784061,0	30,275	Yes	34,958	4,683
5	9964554,6	784346,8	36,284	Yes	35,522	-0,761
6	9964443,0	784465,8	78,483	Yes	75,885	-2,597
7	9964644,7	784114,8	164,859	Yes	114,030	-
						50,829

Fuente: El autor

El Modelo aplicado para el metal de Plomo fue de tipo Logarítmica (los datos tienen una mejor dispersión) y se empleó un método simple y ordinario los mismo que se muestra en las figuras 28 y 29.

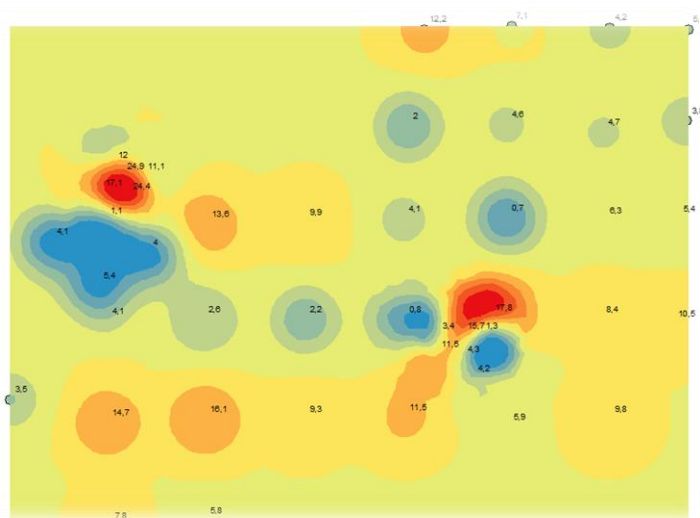


Figura 28. Modelo Kriging simple de concentración del metal Zinc.

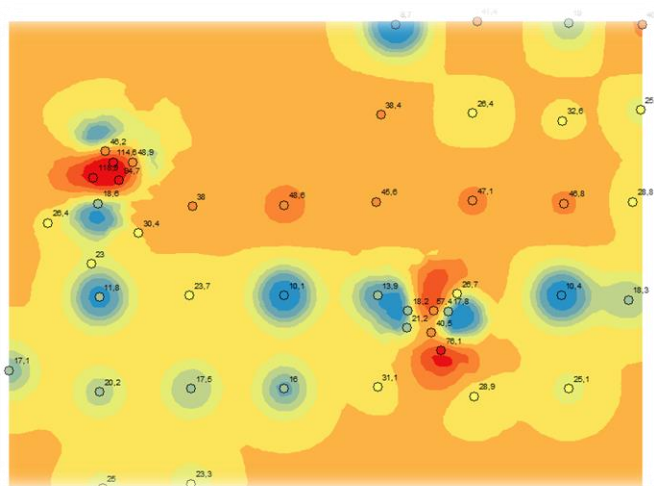
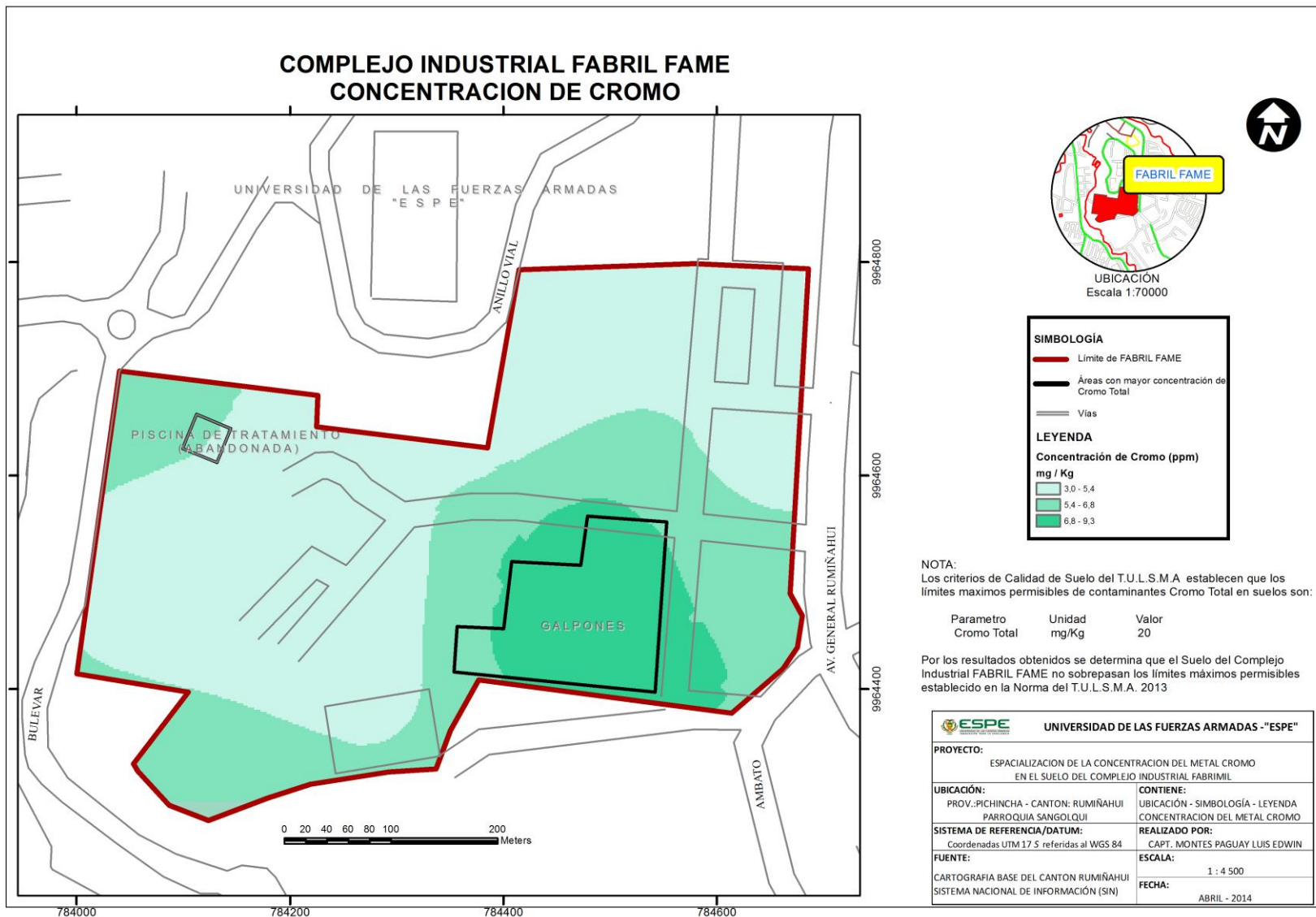


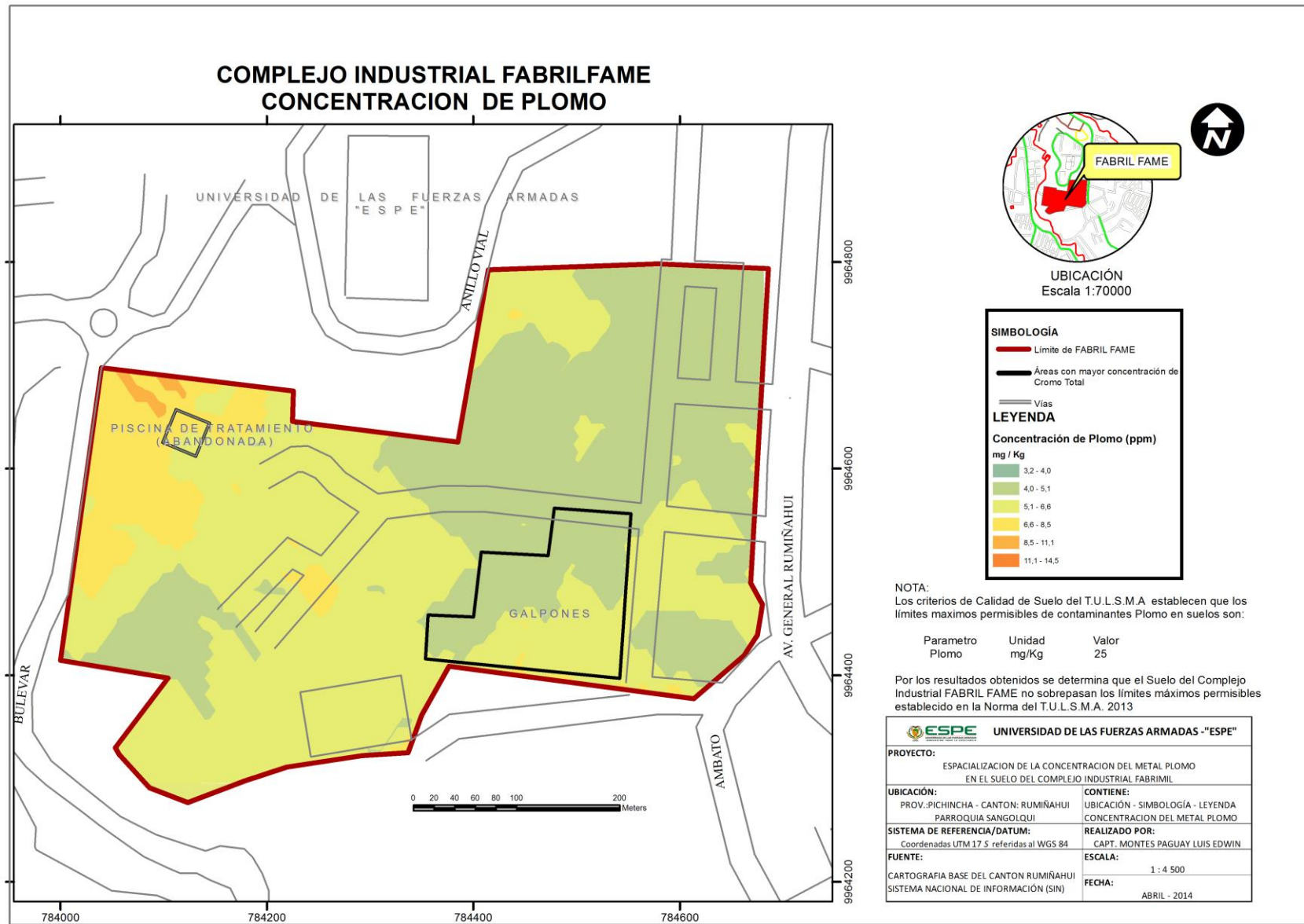
Figura 29. Modelo Kriging simple de concentración del metal Zinc

Debido a la dispersión que muestran los dos tipos de modelos, se puede concluir que el metal Zinc no tiene una adecuada continuidad de concentraciones, por lo cual no se puede predecir un modelo adecuado de concentración de este metal.

Una vez definido los diferentes modelos de predicción se establecieron los siguientes mapas de concentraciones de Cromo Plomo y Zinc.

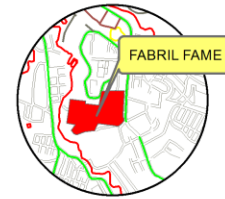
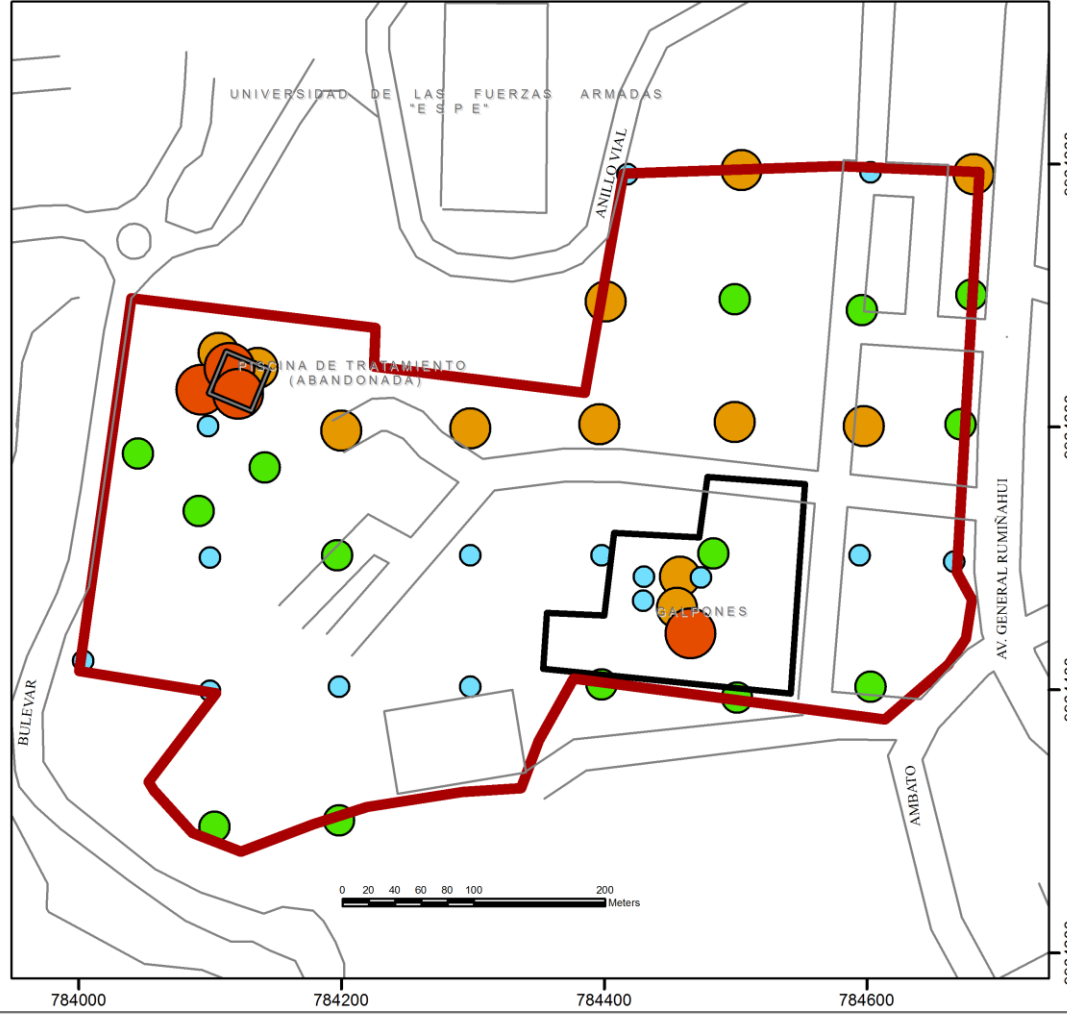


Mapa 2. Concentración del metal Cromo



Mapa 3. Concentración del metal Plomo

COMPLEJO INDUSTRIAL FABRILFAME CONCENTRACION DE ZINC



UBICACIÓN
Escala 1:70000

SIMBOLOGÍA

- Limite de FABRIL FAME
- Áreas con mayor concentración de Cromo Total
- Vías

LEYENDA

Concentración de Zinc (ppm)
mg / Kg

- 8,7 - 21,2
- 21,3 - 32,6
- 32,7 - 57,4
- 57,5 - 118,9

NOTA:
Los criterios de Calidad de Suelo del T.U.L.S.M.A. establecen que los límites máximos permisibles de contaminantes Zinc en suelos son:

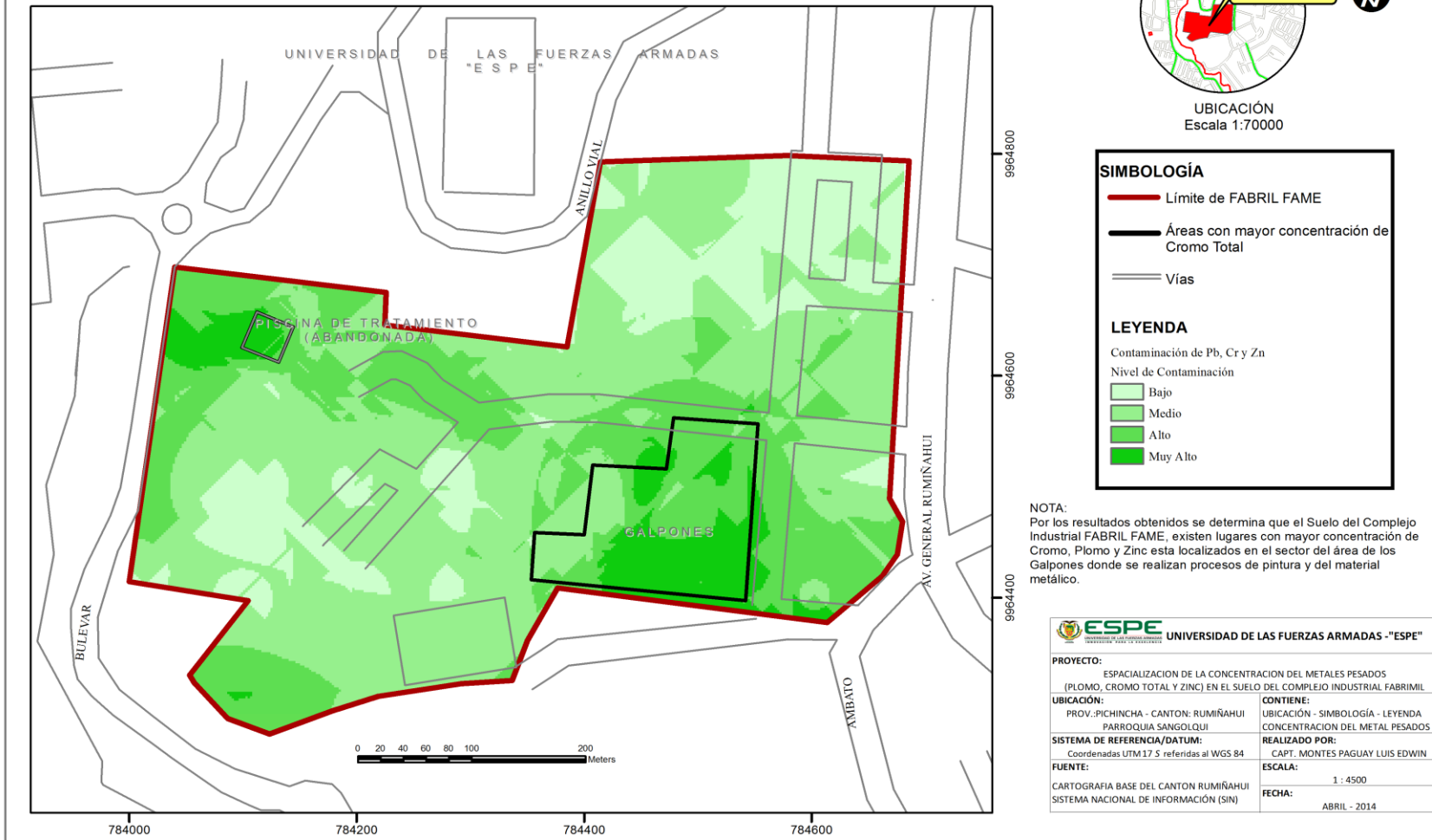
Parametro	Unidad	Valor
Zinc	mg/Kg	60

Por los resultados obtenidos se determina que el Suelo del Complejo Industrial FABRIL FAME existen sitios que sobrepasan los límites máximos permisibles establecido en la Norma del T.U.L.S.M.A. 2013

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - "ESPE"	
PROYECTO: ESPACIALIZACION DE LA CONCENTRACION DEL METAL ZINC EN EL SUELO DEL COMPLEJO INDUSTRIAL FABRILFAME	
UBICACIÓN: PROV.: PICHINCHA - CANTON: RUMIÑAHUI PARROQUIA SANGOLQUI	CONTIENE: UBICACIÓN - SIMBOLOGÍA - LEYENDA CONCENTRACION DEL METAL ZINC
SISTEMA DE REFERENCIA/DATUM: Coordenadas UTM 17 S referidas al WGS 84	REALIZADO POR: CAPT. MONTES PAGUAY LUIS EDWIN
FUENTE: CARTOGRAFIA BASE DEL CANTON RUMIÑAHUI SISTEMA NACIONAL DE INFORMACIÓN (SIN)	ESCALA: 1 : 4 500
	FECHA: ABRIL - 2014

Mapa 4. Concentración del metal Zinc

COMPLEJO INDUSTRIAL FABRIL FAME CONCENTRACIONES DE METALES PESADOS (Pb, CR, Zn)



Mapa 5. Concentración del metal Plomo, Cromo y Zinc

CAPITULO IV

ANÁLISIS DEL PODER DE BIOACUMULACIÓN DE SEIS TUBÉRCULOS

El objetivo de esta investigación es la de analizar la capacidad bioacumuladora de seis tubérculos endémicos del Ecuador con el metal cromo, los mismos que podrían ser empleados en el proceso de remoción de contaminantes de metales pesados, empleando el método de Fitorremediación. Para determinar el poder de bioacumulación, se realizó semanalmente una contaminación controlada en el laboratorio, empleando diferentes soluciones de Cromo 6^{+} .

4.1 MATERIALES Y METODOLOGÍA

4.1.1. Equipo.-

Se utilizó un Equipo de Absorción Atómica Perkín Elmer analyst 200, con sistema de Detección de llama, Tabla 14.

Tabla 14. Condiciones para la cuantificación de cromo por Absorción Atómica

Longitud onda:	357.87 nm
Flujo de oxidante: Aire	6 l/min
Flujo de reductor: Acetileno	4 l/min
Flama directa:	Aire - acetileno

Fuente: El autor

4.1.2. Reactivos, Estándar y Fortificados.-

Reactivos grado analítico utilizados fueron: Ácido Nítrico para análisis Merck al 65% y 1.39 g/cm^3 , Dicromato de Potasio granular marca Mallinckrodt, Estándar comercial de calibración para absorción atómica marca PerkinElmer de $1000 \mu\text{g/ml} \pm 3.0$ de Cromo en 2% HNO_3 , valores que se encuentran declarados en el certificado de análisis del estándar según se muestra en la tabla 15.

Tabla15. Estándares de Calibración

Estándar final (ppm)	Volumen de aforo de estándar final en sol 10% HNO_3 (ml)	Estándar inicial (ppm)	Volumen de estándar inicial (ml)
100	100	1000	10
0.1	50	100	0.05
1	50	100	0.5
2	50	100	1
4	50	100	2
5	50	100	2.5
10	50	100	5

Fuente: El autor

A partir del estándar de 1000ppm de Cromo, se tomó un volumen de 10ml., se colocó en un balón de 100ml. aforando con HNO_3 al 10% de concentración para obtener una concentración de 100 ppm de Cromo, de igual manera se prepararon los estándares que fueron empleados para la

calibración del equipo de Absorción Atómica a partir del estándar de 100 ppm, como lo indica la tabla 15.

4.2 PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS

4.2.1. Recolección, contaminación del suelo

Se realizó la siembra de los tubérculos en maseteros, los mismos que se ubicaron en los laboratorios de la Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente de la ESPE matriz acantonado en la parroquia de Sangolqui del cantón Rumiñahui – Puyo – Santo Domingo de los Tsachilas.

La cantidad de suelo que se empleo fue de aproximadamente 4 a 9 kg. de suelo de cultivo previamente abonado.

La contaminación intencional se hizo en referencia a la metodología empleada por Dra. Meneses L, 2009 con modificaciones a las condiciones de trabajo como; inicio de la contaminación del suelo desde la tercera semana de cultivo del tubérculo con contaminaciones semanales de 100 ml. de solución de Cromo VI con las siguientes concentraciones 10, 50, 100, 500, 1000 ppm y un blanco, este procedimiento se realizó hasta el desarrollo del tubérculo estudiado.

En la figura 30, se visualiza los seis tubérculos analizados.



Figura 30. Tubérculos estudiados en diferentes concentraciones de contaminación intencional.

4.2.2. Pre tratamiento

Se homogenizó el suelo y se tomó aproximadamente 4gr. de suelo, se colocó a 75°C por 24h, consecutivo a esto se pesó 2gr. de suelo seco y se sometió al proceso de extracción del metal cromo, para su posterior medición de concentración del metal cromo en el equipo de Absorción Atómica.

Mismo procedimiento se realizó con el tubérculo a ser analizado. Se lo separó, hojas, tallo y tubérculo. Se colocó en la estufa por 24 horas a 75°C., se pesó aproximadamente 2 gr, se le añadió 2ml de ácido sulfúrico y se procedió a realizar el proceso de extracción, según se representa en la figura 31.

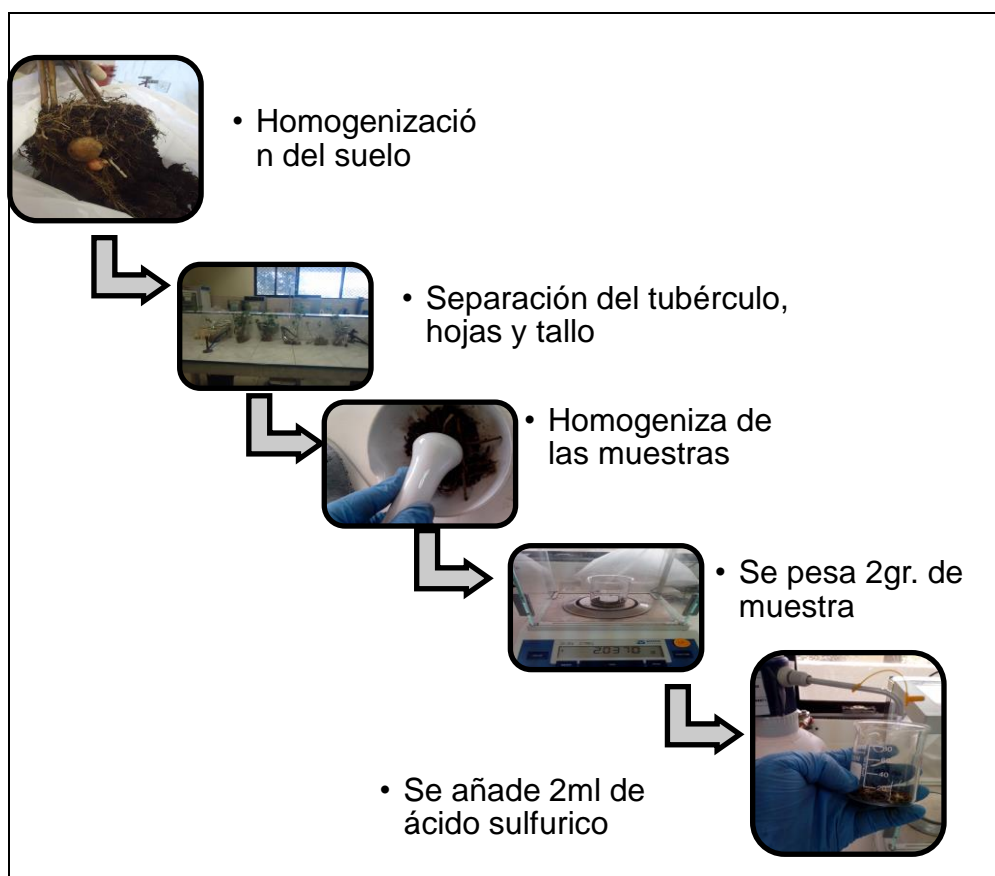


Figura 31. Pretratamiento de las muestras de los tubérculos a ser digeridos

4.2.3. Proceso de Extracción

La digestión se realizó con 10 ml. de ácido nítrico al 10%, mediante una plancha de calentamiento se volatilizo y se filtró 10ml. de extracto de cada una de las muestras de suelo, hoja, tallo y tubérculo para su posterior lectura en el equipo de Absorción Atómica Perkin Elmer.

El proceso de digestión del suelo es similar al proceso de extracción del tubérculo. El procedimiento de extracción del tubérculo hojas y tallo, inicia después de haber colocado 2 ml de ácido sulfúrico. El proceso de digestión se muestra a continuación en la figura 32.

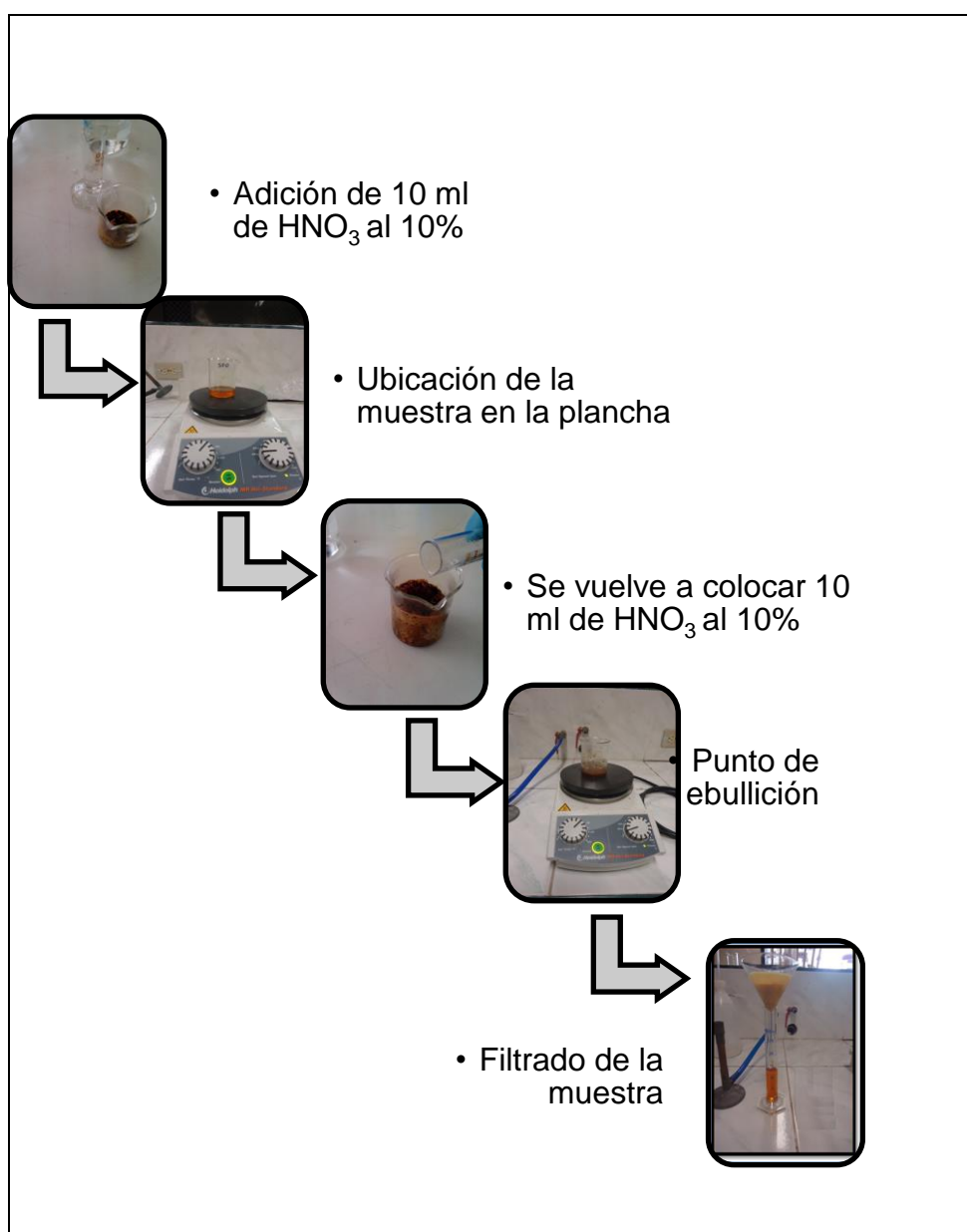


Figura 32. Proceso de digestión del tubérculo
Fuente: El autor

4.2.4. Determinación de la bioacumulación de Cromo en suelo, tubérculo y planta.

Se tomó como referencia los métodos estándar 3030 (digestión de metales) y 3111 (flama directa de aire-acetileno) se procedió a realizar el análisis correspondiente en el laboratorio de la carrera de Ingeniería

Geográfica para la determinación de cromo acumulado en el tubérculo, suelo y planta por cada nivel de contaminación intencional.

4.2.5. Cuantificación

La concentración de Cromo en el suelo, tubérculo y en la planta, fue cuantificado mediante el Equipo de absorción atómica Perkin Elmer analyst 200 con 10ml. de dilución de cada muestra, las condiciones del equipo se muestran en la tabla 16.

Tabla 16. Condiciones del Equipo de Absorción Atómica para la determinación de Cromo

	Condición
Longitud de onda:	357.87 nm
Flujo de Oxidante: Aire	8 L/min
Flujo de Acetileno: Acetileno	4 L/min
Flama directa:	Aire - Acetileno
Rango de trabajo lineal	0,1 a 10 ppm
Solución de chequeo	4 ppm

Fuente: El autor

4.2.6. Validación del Método

Para la validación del método, se trabajó con muestras fortificadas en cada uno de los análisis realizados en el suelo, planta y tubérculo. Se trabajó con muestras de blanco de suelo, planta y tubérculo. Al blanco se le agrego 0,4ml de Cromo a 100ppm, y se verifico su recuperación posterior al proceso de extracción, la concentración esperada debe estar dentro del +/-20% de incertidumbre.

Los resultados de la validación del método de análisis de concentración de Cromo en el suelo se presentan en la tabla 17.

Tabla 17. Resultados de la validación con muestras fortificadas

Muestra	Concentración de Cr Esperada	Concentración promedio de Cr Obtenida	% Recuperación
Blanco de suelo fortificado	4 ppm	3,216	80,4 %
Blanco de ácido fortificado	4 ppm	3,766	94,2 %

Fuente: El autor

4.2.7. Linealidad, función respuesta.

Se trabajó con seis estándares. Las concentraciones de los estándares fueron de 0,1ppm, 1ppm, 2ppm, 4ppm, 5ppm y 10ppm como se muestra en la figura 33.

Con estos estándares se elaboró la curva de calibración del equipo de Absorción Atómica.



Figura 13. Estándares de Cromo

El equipo de absorción atómica señala la curva de calibración de los estándares analizados; eje Y (respuesta del equipo en Absorbancia) y eje X (concentración del analito en ppm) .Figura 34.

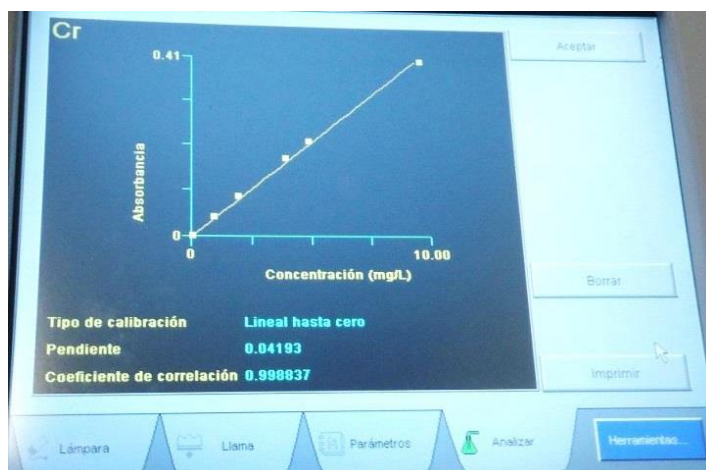


Figura 34. Respuesta del Equipo de Absorción Atómica (Y) vs concentración de estándares de Cromo total en ppm (X)

Obteniéndose un coeficiente de correlación de 0, 998837 y una pendiente de 0.04193 como se indica en la foto 15, que para este análisis es aceptable ya que se consideró un coeficiente de correlación de mayor a 0,995. Con estos datos se generó la curva de calibración del equipo que permitió el cálculo de concentración de Cromo en muestras con un volumen de 10 ml del extracto concentrado.

4.3. CÁLCULOS DE BIOACUMULACION EN LOS TUBERCULOS:

$$[x] = \frac{[Cr] * Vc}{M_T}$$

Ec. 1

X= Concentración esperada

[Cr] = Concentración del contaminante (ppm)

Vc = Volumen total del contaminante (ml)

M_T = Masa total donde se realizó la contaminación (gr)

$$[x] = \frac{[Cr]*VT}{1000}$$

Ec. 1

X= Concentración esperada

[Cr] = Concentración del contaminante (ppm)

Vc = Volumen total del contaminante (ml)

M_T = Masa total donde se realizó la contaminación (gr)

3.1 Determinación de concentración esperada de Cr en el suelo al final

del desarrollo del tubérculo.

Ej:

[Cr] = 1000 ppm

Vc = 1000 cm³

M_T = 4000 gr.

$$[x] = \frac{[1000] * 1000}{400}$$

$$[x] = 250 \text{ ppm}$$

Determinación de concentración final de Cromo en el suelo al final del

desarrollo del tubérculo.

[y] = Concentración final de Cromo en el suelo

[Cr'] = Concentración de Cromo, según la lectura del equipo de absorción atómica (ppm)

Va = Volumen de aforo del extracto (ml)

W = Peso del suelo analizado (gr)

$$[y] = \frac{[Cr'] * Va}{w}$$

Ec. 2

Ej:

[Cr'] = 27.683 ppm

Va = 10 ml

W = 2.0026 gr.

$$[y] = \frac{[27.683] * 10}{2.0026}$$

$$[y] = 138.23 \text{ ppm}$$

4.4. RESULTADOS:

TUBÉRCULO PAPA

Los resultados de absorción del tubérculo de la Papa con el metal cromo según las diferentes concentraciones aplicadas, se detalla en la tabla 18 y en el diagrama 1.

Tabla 18. Resultados del porcentaje de adsorción de cromo en el tubérculo Papa

PAPA					
Volumen Contaminante: 1000 ml.					
Contaminante (ppm)	Esperada (ppm)	Suelo (ppm)	Tubérculo (ppm)	Residual (ppm)	% Absorción Tubérculo (ppm)
10 ppm	2,8	1,699	1,16	60,7	41%
50 ppm	13,9	6,664	5,33	47,9	38%
100 ppm	28,1	16,187	11,84	57,6	42%
500 ppm	132,9	85,084	21,59	64,0	16%
1000 ppm	268,8	118,946	22,39	44,3	8%

Fuente: El autor

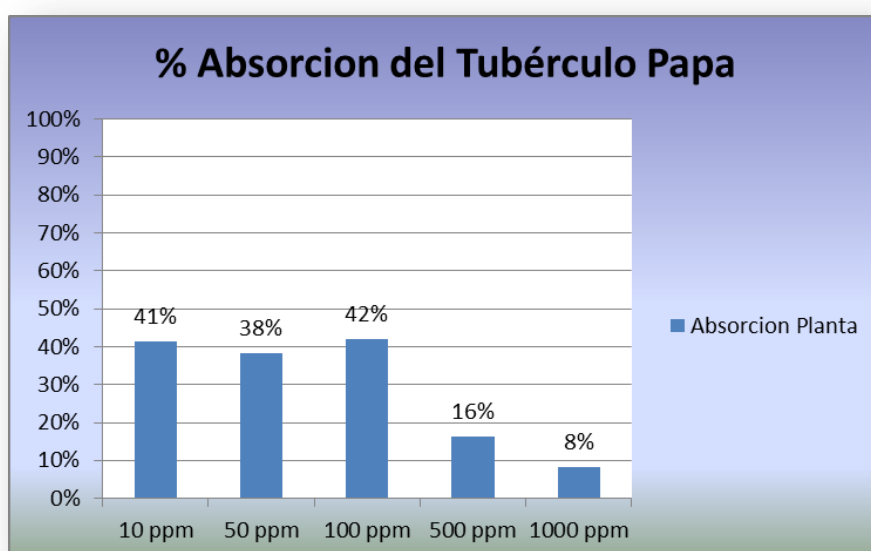


Diagrama 1. Histograma de concentraciones de cromo en el Tubérculo del Papa

Fuente: El autor

La concentración final absorbida por el tubérculo de la Papa es de aproximadamente el 30 % como se muestra en el grafico 1.

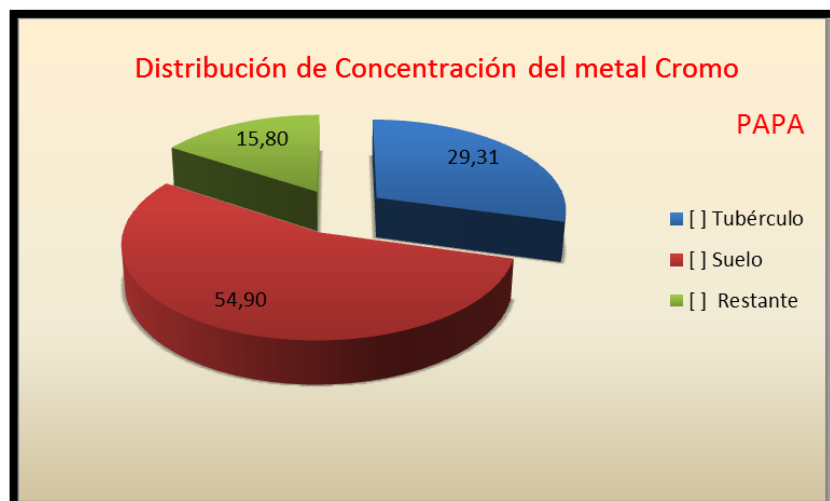


Gráfico 1. % de Absorción de Cromo en el Tubérculo

TUBÉRCULO RABANO

Los resultados de absorción del tubérculo del Rábano con el metal cromo según las diferentes concentraciones aplicadas, se detalla en la tabla 19 y en el diagrama 2

Tabla 19. Resultados del porcentaje de adsorción de cromo en él tubérculo Rábano

RABANO					
Volumen Contaminante: 500 ml.					
[] Contaminante (ppm)	[] Esperada (ppm)	[] Suelo (ppm)	[] Tubérculo (ppm)	[] Residual (ppm)	% [] Absorción Tubérculo (ppm)
10 ppm	5	2,0	2,7	0,3	54%
50 ppm	25	2,9	7,0	15,1	28%
100 ppm	50	10,2	10,0	29,8	20%
500 ppm	250	20,7	57,6	171,8	23%
1000 ppm	500	19,7	248,0	232,3	50%

Fuente: El autor

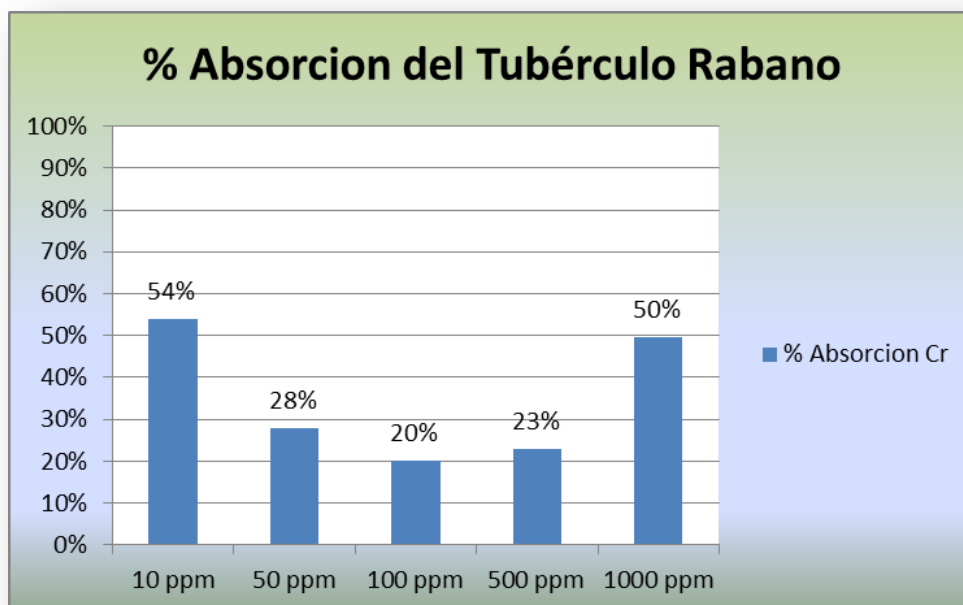


Diagrama 2. Histograma de concentraciones de cromo en el Tubérculo del Rábano
Fuente: El autor

La concentración final absorbida por el tubérculo del Rábano es de aproximadamente el 35 % según como se muestra en el grafico 2.



Grafico 2. % de absorción de Cromo en el Tubérculo

TUBÉRCULO MALANGA

Los resultados de absorción del tubérculo de la Malanga con el metal cromo según las diferentes concentraciones aplicadas, se detalla en la tabla 20 y en el diagrama 3.

Tabla 20. Resultados del porcentaje de adsorción de cromo en el tubérculo Malanga

MALANGA					
Volumen Contaminante: 600 ml.					
Contaminante (ppm)	Esperada (ppm)	Suelo (ppm)	Tubérculo (ppm)	Residual (ppm)	% Absorción Tubérculo (ppm)
10 ppm	6	0,7	0,5	1,9	8%
50 ppm	30	0,9	1,0	8,1	3%
100 ppm	60	7,5	3,6	17,2	6%
500 ppm	300	10,8	10,7	17,4	4%
1000 ppm	600	23,8	47,6	152,5	8%

Fuente: El autor

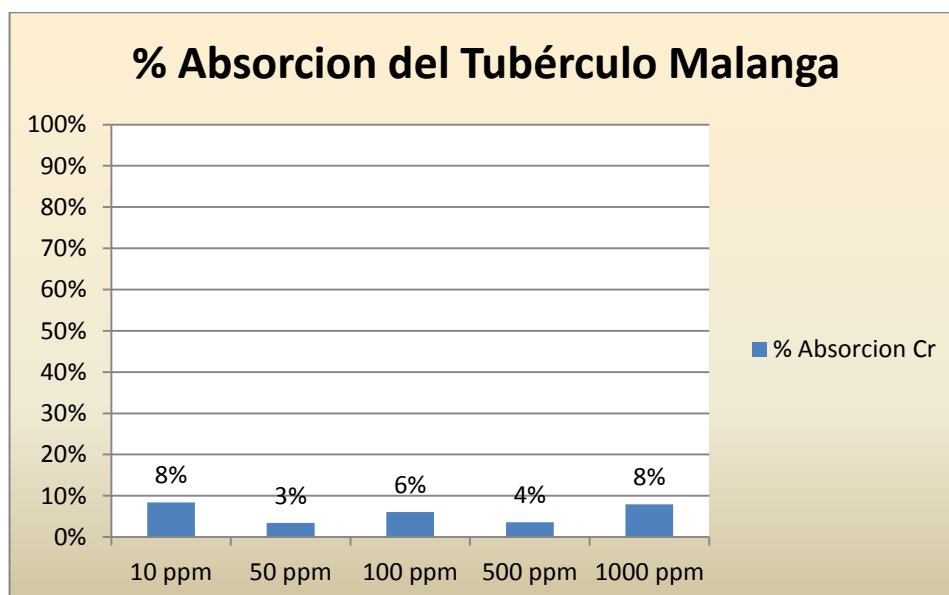


Diagrama 3. Histograma de concentraciones de cromo en el Tubérculo de la Malanga

Fuente: El autor

La concentración final absorbida por el tubérculo de la Malanga es de aproximadamente el 6 % según como se muestra en el grafico 3.

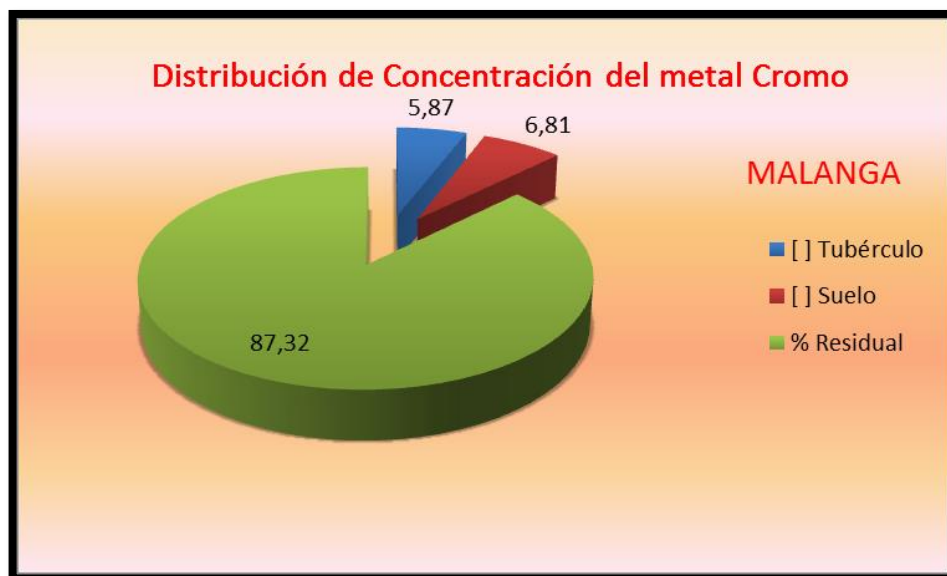


Gráfico 3. % de absorción de Cromo en el Tubérculo

TUBÉRCULO PAPA CHINA

Los resultados de absorción del tubérculo de la Papa China con el metal cromo según las diferentes concentraciones aplicadas, se detalla en la tabla 21 y en el diagrama 4.

Tabla 21. Resultados del porcentaje de adsorción de cromo en el tubérculo Papa China

PAPA CHINA					
Volumen Contaminante: 600 ml.					
[] Contaminante (ppm)	[] Esperada (ppm)	[] Suelo (ppm)	[] Tubérculo (ppm)	[] Residual (ppm)	% [] Absorción Tubérculo (ppm)
10 ppm	6	2,5	3,4	5,8	57%
50 ppm	30	4,1	8,5	20,8	28%
100 ppm	60	6,8	15,8	36,0	26%
500 ppm	300	17,0	141,2	255,8	47%
1000 ppm	600	36,8	351,7	320,6	59%

Fuente: El autor

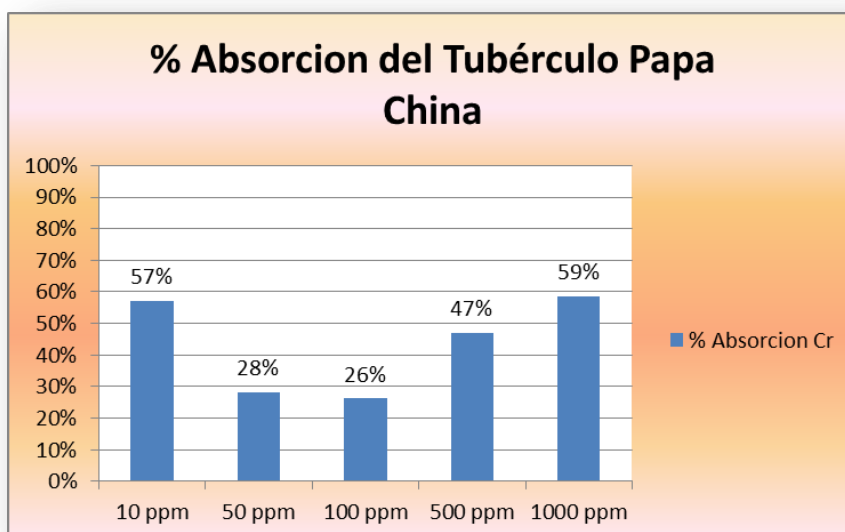


Diagrama 4. Histograma de concentraciones de cromo en el Tubérculo de la Papa China
Fuente: El autor

La concentración final absorbida por el tubérculo de la Papa China es de aproximadamente el 44 % según como se muestra en el gráfico 4.

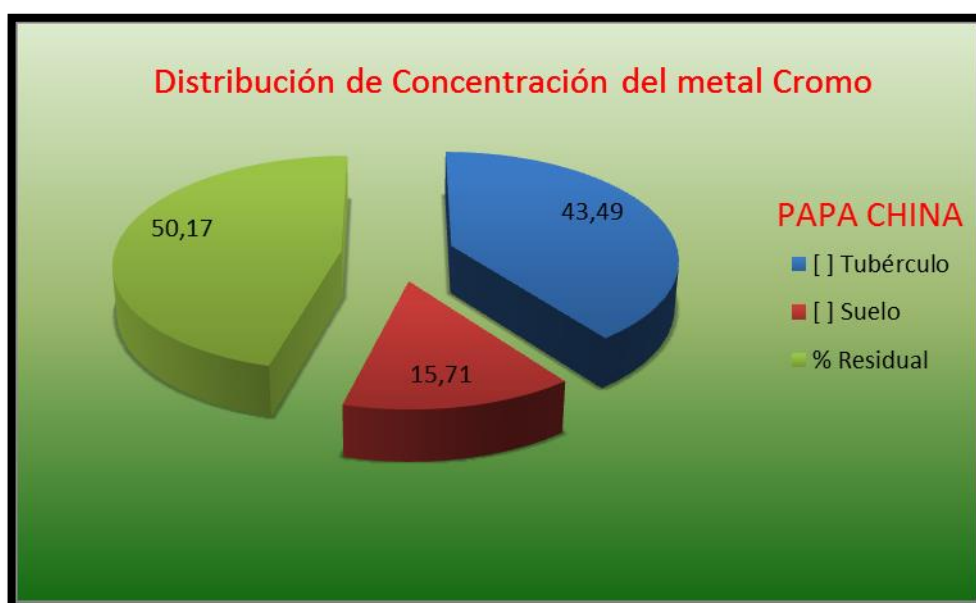


Gráfico 4. % de absorción de Cromo en el Tubérculo

TUBÉRCULO CAMOTE

Los resultados de absorción del tubérculo del Camote con el metal cromo según las diferentes concentraciones aplicadas, se detalla en la tabla 22 y en el diagrama 5

Tabla 22. Resultados del porcentaje de adsorción de cromo en el tubérculo Camote

CAMOTE					
Volumen Contaminante: 500 ml.					
Contaminante (ppm)	Esperada (ppm)	Suelo (ppm)	Tubérculo (ppm)	Residual (ppm)	% Absorción Tubérculo (ppm)
10 ppm	5	6,2	1,5	2,9	30%
50 ppm	25	9,6	2,7	10,1	11%
100 ppm	50	11,4	5,1	17,1	10%
500 ppm	250	45,9	26,1	89,2	10%
1000 ppm	500	94,5	86,9	253,8	17%

Fuente: El autor.

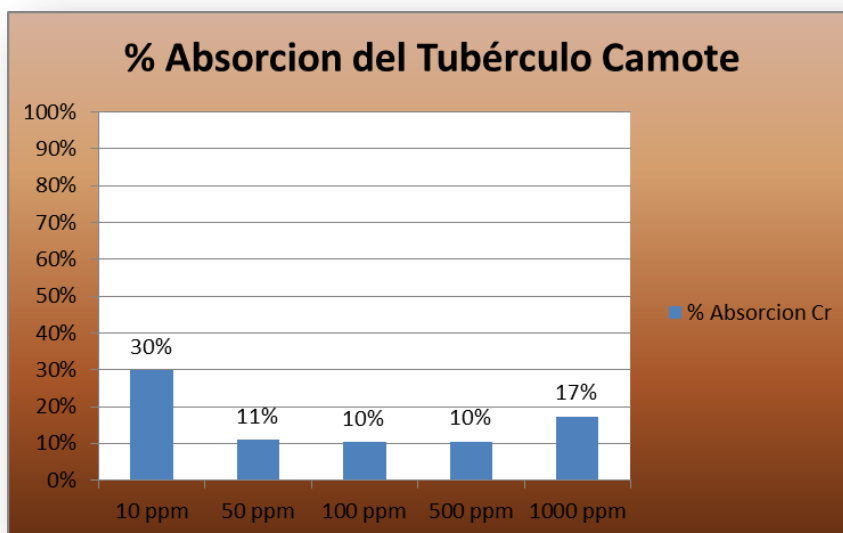


Diagrama 5. Histograma de datos de concentraciones de cromo en el Tubérculo Camote

Fuente: El autor

La concentración final absorbida por el tubérculo del Camote es de aproximadamente el 16 % según como se muestra en el gráfico 5.



Gráfico 5. % de absorción de Cromo en el Tubérculo

TUBÉRCULO YUCA

Los resultados de absorción del tubérculo de la Yuca con el metal cromo según las diferentes concentraciones aplicadas, se detalla en la tabla 23 y en el diagrama 6

Tabla 232. Resultados del porcentaje de adsorción de cromo en él tubérculo yuca

YUCA					
Volumen Contaminante: 500 ml.					
[] Contaminante (ppm)	[] Esperada (ppm)	[] Suelo (ppm)	[] Tubérculo (ppm)	[] Residual (ppm)	% [] Absorción Tubérculo (ppm)
10 ppm	5	0,4	0,3	1,0	5%
100 ppm	50	1,3	2,6	10,3	5%
1000 ppm	500	20,2	35,7	81,7	7%

Fuente: El autor.

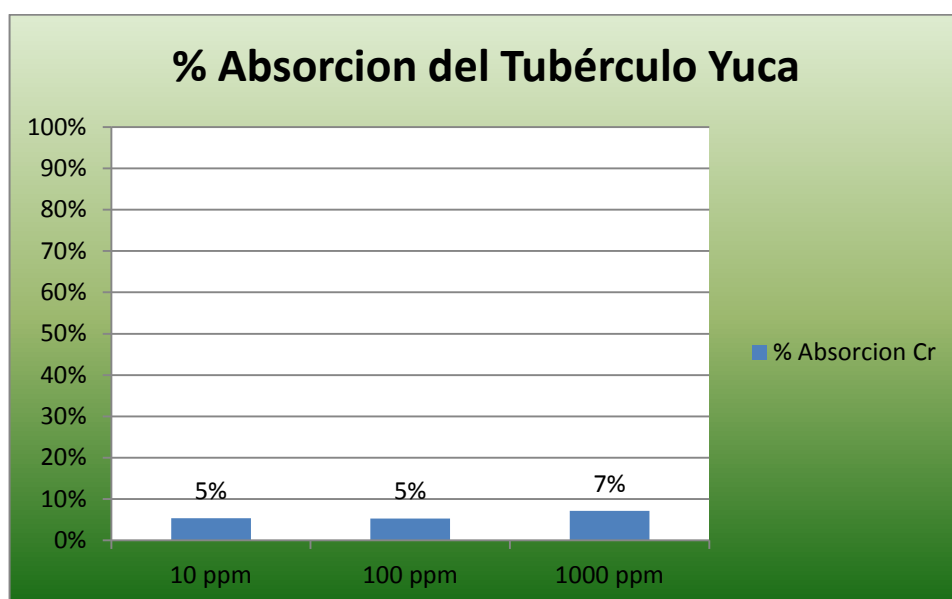


Diagrama 6. Histograma de datos de concentraciones de cromo en el Tubérculo Camote
Fuente: El autor

La concentración final absorbida por el tubérculo de la Yuca es de aproximadamente el 6 % según como se muestra en el gráfico 6.

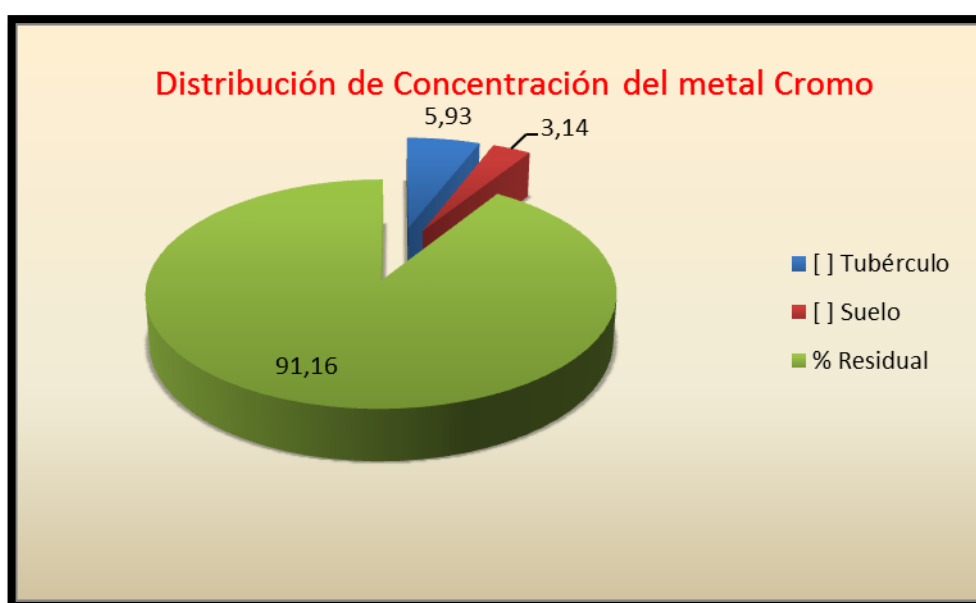


Gráfico 6. % de absorción de Cromo en el Tubérculo

Según los resultados obtenidos se puede concluir que los tubérculos que son recomendables para realizar el proceso de recuperación de suelos a

través de la fitorremediación son la Papa con el 30%, el Rábano con el 35% y la Papa China con el 44% de Absorción del metal cromo, según se muestra en la tabla 24.

Tabla 24. Poder Bioacumulador de Cromo en seis tipos de Tubérculos

TUBÉRCULO	REGIÓN	PORCENTAJE DE ABSORCIÓN
PAPA , (<i>Solanum Tuberosum</i>)	Sierra	30 %
RABANO , (<i>Raphanus Sativus L.</i>)	Sierra	35 %
MALANGA , (<i>Xanthosoma Sagittifolium</i>)	Costa-Oriente	6 %
EL CAMOTE , (<i>Ipomoea Batatas</i>)	Costa-Oriente	16 %
PAPA CHINA , (<i>Colocasia Esculenta</i>)	Oriente-Costa	44 %
YUCA , (<i>Manihot Ssp</i>)	Oriente-Costa	6 %

Fuente: El autor

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Al realizar la lectura del estándar característico de cada metal con intervalos de lectura de veinte muestras, se verificó que el equipo mantiene su calibración correcta proporcionando resultados confiables con un error de $\pm 20\%$.
- Los modelos de predicción que fueron generados de contaminación de Cromo, Plomo y Zinc, requirió de 42 puntos, todos distribuidos de la siguiente manera. Se tomó muestras en cada uno de los vértices de una grilla de 100 metros de intervalo, cinco muestras de los lugares probablemente mayor contaminados (Piscina de tratamiento y Galpones de Pintura).
- La distribución de los puntos para el metal Cromo permitió determinar que si existía continuidad en concentración del contaminante lo cual permitió realizar un modelo confiable de predicción de la concentración del metal Cromo.

- La distribución de los puntos para el metal Plomo permitió determinar que si existía continuidad aceptable en concentración del contaminante lo cual permitió realizar un modelo confiable de predicción de la concentración metal Plomo.
- La distribución de los puntos para el metal Zinc permitió determinar que no existe continuidad en concentración del contaminante lo cual no permitió realizar un modelo de predicción de concentración de este metal.
- A fin de eliminar las concentraciones de Cromo, Plomo y Zinc en los sitios de mayor concentración de estos metales en el suelo del complejo industrial FABRILFAME, es recomendable realizar el proceso de fitorremediación con el tubérculo del rábano. Este tubérculo tiene un 35 % de absorción y es de un corto periodo de desarrollo del bulbo.
- Valores considerables de concentración de Plomo y Cromo se encuentran en el área de la piscina de tratamiento abandonada y en el sector de los galpones donde se realiza el pintado del material de metálico.
- El porcentaje obtenido en concentraciones de Cromo y Plomo no sobrepasan los límites permisibles según las normas T.U.L.S.M.A. de calidad de suelo.

- El porcentaje obtenido en concentraciones de Zinc en algunos puntos del Complejo Industrial sobrepasan los límites permisibles según las normas T.U.L.S.M.A. de calidad de suelo.
- El software ArcGis 10.2 puede generar y validar modelos con considerables errores considerables, según los datos que sean empleados como insumos.
- La continuidad que dispone cada contaminante, está directamente relacionado con la generación del modelo de predicción correcto.
- El metal Zinc, no tiene una continuidad en su comportamiento de dispersión en el suelo, por lo cual no se pudo generar el modelo de predicción para este contaminante.
- Para determinar el poder bioacumulador del metal cromo se analizó dos tubérculos de las regiones Costa, Sierra y Oriente de nuestro país.
- Los suelos analizados en el estudio, tiene Cromo total entre 0,092 y 1,8 ppm en su composición, por lo cual este valor se utilizó como fondo en las lecturas analizadas, a fin de poder determinar el valor real de concentración de Cromo total en cada una de las muestras analizadas.
- Debido al extenso periodo de tiempo que requiere el desarrollo completo del tubérculo, el análisis del poder bioacumulador de Cromo fue cuantificado una vez que se verifico que el bulbo del tubérculo

haya alcanzado un desarrollo que permitió ejecutar este estudio. Esto podemos visualizarle en la tabla 25.

Tabla 25. Semana de análisis del tubérculo

TUBERCULO	SEMANA DE ANÁLISIS
PAPA	Décima Segunda Semana
RÁBANO	Sexta Semana
MALANGA	Decima cuarta semana
CAMOTE	Decima cuarta semana
PAPA CHINA	Decima segunda semana
YUCA	Decima segunda semana

Fuente: El autor

- Los tubérculos que alcanzaron mayor porcentaje de absorción del cromo total fueron; la papa con el 30 %, el rábano con el 35%, y la papa china con el 44%.
- Tomando en cuenta los cortos periodo en que se desarrolla el cultivo de la papa, el rábano y la papa china, sería estos tubérculos factibles emplear como método para remediar suelos contaminados con metales pesados en la región sierra, costa y oriente.
- Por la sensibilidad de estos tubérculos a la absorción de metales pesados del suelo, dependiendo del sector donde se encuentren estos cultivos, estos pudieran absorber grandes cantidades de contaminantes que pudieran afectar a la salud del ser humano, así tenemos por ejemplo que al contaminar los tubérculos estudiados con

concentraciones de 1000 ppm, estos absorbieron entre 22 y 351 ppm de cromo total dentro de la estructura del tubérculo.

- Los tubérculos analizados, tuvieron diferentes reacciones a la aplicación del contaminante Cromo. Así tenemos que en la Papa, la Papa china y el Camote a mayor concentración del cromo, los tubérculos desarrollaron menor cantidad de follaje, en cambio en el Rábano, la Malanga y la Yuca, no se presentó mayor cambio en la estructura del Tubérculo.

RECOMENDACIONES

- La calibración del equipo de absorción atómica Perkin Elmer AA200 es indispensable para obtener resultados confiables en la investigación, con uso de los estándares certificados que garantizan los resultados.
- Los modelos generados y validados por el Software ArcGis 10.2 deben ser analizados y validados por la persona que realice estos procedimientos, ya que el software podría generar modelos errados.
- A fin de evitar que los resultados puedan verse afectados por causa de las características específicas de cada semilla de los tubérculos, es recomendable hacer la contaminación de la misma concentración por lo menos en tres tubérculos de la misma especie.

- Es importante que los investigadores durante el proceso de muestreo y de laboratorio utilicen los respectivos implementos de seguridad necesarios tanto para no contaminar y la preservación de las muestras como para evitar daños futuros a la salud propia.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Plan Nacional del Buen Vivir*. (2009). Quito: SEMPLADES.
- Alvaro, M. (1977). *Cultivo de Raices y Tubérculos Tropicales*. Obtenido de <http://www.books.google.com.ec/books?id=GaQgAQAAIAAJ>
- Arnol, F. (Marzo de 2011). *El Rabano en el Ecuador*. Obtenido de http://www.elrbanoenecuador-juan.blogspot.com/2011_03_01_archive.html
- Arrieta Ramírez, O. M. (2011). *Evaluación de la influencia del Bioestímulo sobre un suelo contaminado con diesel y su integración a la Gestión Ambiental*. Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Becerril J.M., B. O. (2007). Bioindicadores de la calidad del suelo. *Ecosistemas*, 16 (2), 50-55.
- Bioacumulación y Biomagnificación*. (s.f.). Obtenido de www.educagratis.org/moodle/mod/resource/view.php?id=17351
- Cardenas Guizar, E. (17 de Marzo de 2014). *El Camote: Orgullo Poblano*. Obtenido de <http://www.elcamotepoblano.blogspot.com>
- Carrión, C., & Lema, E. (2013). *Generación de un modelo Geoestadístico de concentración de Plomo en el suelo de las parroquias SAN RAFAEL Y SANGOLQUÍ*. Sangolqui: ESPE.
- Castillo, F. (2005). *Bioteología ambiental*. Madrid: TÉBAR, S.
- Chaney, R., Malik, M., & Yin, L. (9 de Julio de 1997). *La fitorremediación de metales del suelo*. Obtenido de http://soils.wisc.edu/facstaff/barak/temp/opin_fin.htm

- Cóndor Pozo, P. J. (2010). *Investigación de la Papa China y Propuesta Gastronómica*. Quito: UTE.
- Encarta. (2005). *Cultivo de Verduras*. Obtenido de Biblioteca de Consulta Microsoft ® Encarta:
http://www.magrama.gob.es/es/ministerio/servicios/informacion/rabano_tcm7-315480.pdf
- Infoagro. (2013). *El cultivo del rábano*. Obtenido de
<http://www.infoagro.com/hortalizas/rabano.htm>
- Linares, E., Bye, R., Ramirez, R., & Miranda, P. (2008). *El Camote*. Mexico: Conabio.
- López, A. (1995). *Fitorremediación 1*. Obtenido de Biorremediación y fitorremediación en suelos contaminados:
<http://es.scribd.com/doc/191562827/fitorremediacion-1>
- MAE. (2013). *Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente*. Quito.
- Morquecho Maldonado, P. A. (2013). *Investigación de la Yuca, Propiedades Nutricionales y Propuesta Gastronómica*. Quito: UTE.
- Ms.C.J. Salomon, L., Ms.C.J. Castillo, G., Dra. Estevez, A., Ms.C.J. Arzuaga, & Ortiz, U. (2010). *Evaluación de genotipos de papa (Solanum tuberosum L.) para caracteres reproductivos y agronómicos*. La Habana: Ediciones Inca.
- Ortiz, I., Sanz, J., Dorado, M., & Villar, S. (2007). *Técnicas de recuperación de suelos contaminados*. Universidad de Alcalá.
- Suquilanda, M. (Marzo de 2001). *El Rabano en el Ecuador*. Obtenido de
http://www.elrbanoenecuador-juan.blogspot.com/2011_03_01_archive.html
- Viteri, J. (2009). *Estudio de factibilidad para producción de malanga blanca en el Canton Santo Domingo de los Colorados*. Quito: Universidad San Francisco de Quito.
- Wikipedia. (29 de Marzo de 2014). *Manihot esculenta*. Obtenido de
http://es.wikipedia.org/wiki/Manihot_esculenta