



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS**

**“EVALUACIÓN DE LA BIOACUMULACIÓN DE TRAZAS DE  
METALES PESADOS EN LA ESPECIE *Manihot esculenta*; Crantz  
CULTIVADA EN SUELO REMEDIADO DE LA PARROQUIA  
TARACOA”**

**TRABAJO DE TITULACIÓN**

**TIPO: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**Presentado para optar el grado académico de:**

**INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL**

**AUTORES: LLORI ORDOÑEZ JACK ARTURO**

**TAPIA ROMERO EDISON LEONARDO**

**TUTOR: ING. ANDRÉS AGUSTÍN BELTRÁN DÁVALOS**

**Riobamba – Ecuador**

**2017**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS**

El Tribunal de trabajo de titulación certifica que: El trabajo de investigación: **“EVALUACIÓN DE LA BIOACUMULACIÓN DE TRAZAS DE METALES PESADOS EN LA ESPECIE *Manihot esculenta*; Crantz CULTIVADA EN SUELO REMEDIADO DE LA PARROQUIA TARACOA”**, de responsabilidad de los señores egresados Jack Arturo Llori Ordoñez y Edison Leonardo Tapia Romero, ha sido prolijamente revisado por los Miembros del Tribunal de trabajo de titulación, quedando autorizada su presentación.

**FIRMA**

**FECHA**

Ing. Andrés Beltrán

**DIRECTOR DE TESIS**

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Ing. Carlos Medina

**MIEMBRO DE TRIBUNAL**

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Nosotros, Jack Arturo Llori Ordoñez y Edison Leonardo Romero Tapia, somos responsables de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en el trabajo de titulación “**EVALUACIÓN DE LA BIOACUMULACIÓN DE TRAZAS DE METALES PESADOS EN LA ESPECIE *Manihot esculenta*; Crantz CULTIVADA EN SUELO REMEDIADO DE LA PARROQUIA TARACOA**” y el patrimonio intelectual del trabajo de titulación, pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

---

**JACK ARTURO LLORI ORDOÑEZ**

---

**EDISON LEONARDO ROMERO TAPIA**



## **DEDICATORIA**

Dedico el presente trabajo a Dios y a mi familia que han puesto en mi la sabiduría y fortaleza para continuar en esta etapa de la vida y me han demostrado que jamás me han abandonado por que su amor es infinito. A mi padre Nilo y mi madre Alba, y a mis hermanos que compartimos alegrías, problemas y tristezas pero siempre contaré con ellos porque son los mejores.

Arturo

El presente trabajo está dedicado a Dios por guiarme en esta etapa de preparación y formación personal. A mi familia por su apoyo incondicional, a mi Padre Sergio y a mi madre Sandra quienes ha hecho hasta lo imposible por ver culminado este trabajo, gracias por darme la vida y seguir creyendo en mí, cada logro alcanzado es y será en sus nombre, los amo. A mi abuelita Libia Gonzalez, gracias Mamita por quererme y animarme a continuar día a día. A todos los amigos, compañeros y profesores que hicieron posible la realización de nuestro trabajo de titulación.

Edison

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecemos a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, a la Facultad de Ciencias por convertirse en nuestro segundo hogar y ser la institución formadora de conocimientos y valores.

A nuestro director de tesis el Ingeniero Andrés Beltrán y nuestro asesor el Ingeniero Carlos Medina por brindarnos su tiempo, por los valiosos y oportunos conocimientos y la confianza depositada durante la realización del presente trabajo de titulación.

Al Ingeniero Carlos Caicedo director de la INIAP, por facilitarnos el material fundamental y asesoría técnica para la realización de la correspondiente investigación

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

<b>API</b>	American Petroleum Institute
<b>M</b>	Metros
<b>ROS</b>	Especies reactivas de oxígeno
<b>CO<sub>2</sub></b>	Anhídrido Carbónico
<b>Hg</b>	Mercurio
<b>Ar</b>	Arsénico
<b>CCA</b>	Arsenato cromado de cobre
<b>Cd</b>	Cadmio
<b>CdO</b>	Óxido de Cadmio
<b>CdCl<sub>2</sub></b>	Cloruro de Cadmio
<b>CdS</b>	Sulfuro de Cadmio
<b>CdSO<sub>4</sub></b>	Sulfato de Cadmio
<b>As</b>	Arsénico
<b>Mo</b>	Molibdeno
<b>Pb</b>	Plomo
<b>Tl</b>	Talio
<b>IARC</b>	Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer
<b>DHHS</b>	Departamento de salud y servicios humanos
<b>ATSDR</b>	Agencia para sustancias tóxicas y el registro de enfermedades
<b>OSHA</b>	Administración de Seguridad y Salud Ocupacional
<b>EPA</b>	Agencia de protección ambiental
<b>Cr</b>	Cromo
<b>Se</b>	Selenio
<b>Cu</b>	Cobre
<b>Ag</b>	Plata
<b>Mn</b>	Manganeso
<b>Va</b>	Vanadio
<b>O</b>	Oxígeno
<b>Na</b>	Sodio
<b>Cl</b>	Cloro
<b>V<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub></b>	Sulfato de vanadio
<b>NaVO<sub>3</sub></b>	Metavanadato de sodio
<b>Sn</b>	Estaño
<b>Sb</b>	Antimonio

<b>Fe</b>	Hierro
<b>Al</b>	Aluminio
<b>Co</b>	Cobalto
<sup>57</sup> <b>Co</b>	isótopo radiactivo sintético del cobalto
<sup>60</sup> <b>Co</b>	isótopo radiactivo sintético del cobalto
<b>Ni</b>	Níquel
<b>Cr</b>	Cromo
<b>Be</b>	Berilio
<b>CBD</b>	Enfermedad crónica del berilio
<b>Titanio</b>	Ti
<b>Zinc</b>	Zn
<b>Bo</b>	Boro
<sup>84</sup> <b>Sr</b>	Isótopo estroncio
<sup>86</sup> <b>Sr</b>	Isótopo estroncio
<sup>87</sup> <b>Sr</b>	Isótopo estroncio
<sup>88</sup> <b>Sr</b>	Isótopo estroncio
<b>pci/L</b>	Picocuries por litro
<b>NRC</b>	Comisión de Reglamentación Nuclear
<b>µci/mL</b>	Microcuries por mililitro
<b>FDA</b>	Administración de drogas y alimentos
<b>Li</b>	Litio
<b>FB</b>	Factor de Bioconcentración
<b>CF</b>	Factor de Fitoextracción
<b>FT</b>	Factor de translocación
<b>mg/Kg</b>	Miligramos por kilogramo
<b>Ppm</b>	Partes por millón
<b>Cm</b>	Centímetros
<b>Mm</b>	Milímetros
<b>°C</b>	Grados Celsius
<b>Ar</b>	Argón
<b>µm</b>	Micrómetro
<b>ICP</b>	Plasma de acoplamiento inductivo
<b>PEL</b>	Límite de exposición permisible
<b>µg/m<sup>3</sup></b>	Microgramos por metro cúbico



## TABLA DE CONTENIDO

	<b>Páginas</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>XVIII</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>XIX</b>
 <b>CAPÍTULO I</b>	
<b>1. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>4</b>
<b>1.1 Industria de los hidrocarburos en el Ecuador .....</b>	<b>4</b>
1.1.1 Impactos Ambientales de la industria hidrocarburífera .....	6
1.1.1.1 Impactos a la salud y a la vida digna .....	6
1.1.1.2 Impactos Ambientales .....	6
<b>1.2 Soberanía Alimentaria. ....</b>	<b>8</b>
1.2.1 Importancia de la Soberanía Alimentaria. ....	8
1.2.2 Principios de la Soberanía Alimentaria.....	9
<b>1.3 Marco legal favorable para el manejo y conservación del suelo en el Ecuador .</b>	<b>10</b>
1.3.1 Ley Orgánica del Régimen de Soberanía Alimentaria “LORSA” .....	10
1.3.2 Acuerdo ministerial MAE N° 028 .....	11
1.3.2.1 Normas de aplicación general .....	11
1.3.2.2 De las actividades que degradan la calidad del suelo .....	11
<b>1.4 Cultivos de yuca.....</b>	<b>12</b>
1.4.1 Variedades .....	13
<b>1.5 Metales Pesados .....</b>	<b>14</b>
1.5.1 Cadmio .....	15
1.5.1.1 Movilidad y bioacumulación .....	15
1.5.1.2 Fuentes de exposición.....	16
1.5.2 Arsénico .....	16
1.5.2.1 Movilidad y bioacumulación .....	16
1.5.2.2 Fuentes de exposición.....	17
1.5.3 Molibdeno.....	18
1.5.3.1 Fuentes de exposición.....	18
1.5.4 Plomo .....	18
1.5.4.1 Movilidad y bioacumulación .....	19
1.5.4.2 Fuentes de exposición.....	19

1.5.5	Talio .....	20
1.5.5.1	Movilidad y bioacumulación .....	20
1.5.5.2	Fuentes de exposición.....	21
1.5.6	Cromo.....	21
1.5.6.1	Movilidad y bioacumulación .....	22
1.5.6.2	Fuentes de exposición.....	22
1.5.7	Plata.....	23
1.5.7.1	Movilidad y bioacumulación .....	23
1.5.7.2	Fuentes de exposición.....	23
1.5.8	Antimonio .....	24
1.5.8.1	Movilidad y bioacumulación .....	25
1.5.8.2	Fuentes de exposición.....	25
1.5.9	Selenio.....	26
1.5.9.1	Movilidad y bioacumulación .....	26
1.5.9.2	Fuentes de exposición.....	27
1.5.10	Cobre.....	28
1.5.10.1	Movilidad y bioacumulación .....	28
1.5.10.2	Fuentes de exposición.....	29
1.5.11	Manganeso.....	29
1.5.11.1	Movilidad y bioacumulación .....	29
1.5.11.2	Fuentes de exposición.....	29
1.5.12	Vanadio .....	30
1.5.12.1	Movilidad y bioacumulación .....	30
1.5.12.2	Fuentes de exposición.....	31
1.5.13	Estaño.....	31
1.5.13.1	Movilidad y bioacumulación .....	32
1.5.13.2	Fuentes de exposición.....	32
1.5.14	Níquel.....	33
1.5.14.1	Movilidad y bioacumulación .....	34
1.5.14.2	Fuentes de exposición.....	34
1.5.15	Cobalto.....	35
1.5.15.1	Movilidad y bioacumulación .....	35
1.5.15.2	Fuentes de exposición.....	36
1.5.16	Berilio.....	37
1.5.16.1	Movilidad y bioacumulación .....	37
1.5.16.2	Fuentes de exposición.....	37

1.5.17	Estroncio .....	38
1.5.17.1	Movilidad y bioacumulación .....	38
1.5.17.2	Fuentes de exposición.....	39
1.5.18	Titanio .....	39
1.5.18.1	Movilidad y bioacumulación .....	40
1.5.18.2	Fuentes de exposición.....	40
1.5.19	Boro.....	40
1.5.19.1	Movilidad y bioacumulación .....	41
1.5.19.2	Fuentes de exposición.....	41
1.5.20	Zinc.....	42
1.5.20.1	Movilidad y bioacumulación .....	42
1.5.20.2	Fuentes de exposición.....	42
1.5.21	Litio .....	43
1.5.21.1	Movilidad y bioacumulación .....	43
1.5.21.2	Fuentes de exposición.....	44
<b>1.6</b>	<b>Recuperación de suelos contaminados .....</b>	<b>44</b>
1.6.1	Biorremediación.....	44
1.6.1.1	Tipos de biorremediación.....	45
1.6.2	Efectos de los metales pesados en plantas .....	45
1.6.2.1	Mecanismos de Resistencia.....	46
1.6.3	Coeficiente de bioconcentración y factor de translocación.....	47
<b>1.7</b>	<b>Técnicas de cuantificación de metales.....</b>	<b>48</b>
1.7.1	Espectroscopía.....	48
1.7.2	Espectrometría de absorción atómica por llama.....	49
1.7.3	Espectrometría de emisión de plasma .....	50
1.7.3.1	Plasma de Acoplamiento Inductivo ICP .....	50
<b>1.8</b>	<b>Dosis de exposición .....</b>	<b>50</b>
1.8.1	Estimado de la dosis de exposición.....	51
1.8.2	Estimado de una dosis de ingestión para la evaluación de efectos no cancerígenos para la salud .....	51

## CAPÍTULO II

<b>2.</b>	<b>MARCO METODOLÓGICO .....</b>	<b>52</b>
<b>2.1</b>	<b>Lugar de estudio .....</b>	<b>52</b>
<b>2.2</b>	<b>Tipo de investigación.....</b>	<b>53</b>
<b>2.3</b>	<b>Métodos y Técnicas .....</b>	<b>54</b>

2.3.1	Identificación de suelos .....	54
2.3.1.1	Materiales .....	54
2.3.1.2	Método .....	54
2.3.2	Muestreo y caracterización del suelo antes del cultivo de yuca .....	54
2.3.2.1	Materiales .....	54
2.3.2.2	Método .....	55
2.3.3	Requerimientos de nutrientes.....	55
2.3.4	Cultivo de Yuca.....	55
2.3.4.1	Materiales .....	56
2.3.4.2	Método .....	56
2.3.5	Análisis de metales pesados en el tubérculo.....	57
2.3.5.1	Materiales .....	57
2.3.5.2	Método .....	57
2.3.6	Análisis de metales pesados después de la cosecha en suelo agrícola y suelo remediado .....	57
2.3.6.1	Materiales .....	57
2.3.6.2	Método .....	57

### **CAPÍTULO III**

<b>3.</b>	<b>MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>59</b>
<b>3.1</b>	<b>Identificación de suelos .....</b>	<b>59</b>
<b>3.2</b>	<b>Muestreo y caracterización del suelo antes del cultivo de yuca.....</b>	<b>59</b>
<b>3.3</b>	<b>Cultivo de Yuca .....</b>	<b>61</b>
<b>3.4</b>	<b>Cosecha y Análisis de metales pesados en el tubérculo.....</b>	<b>64</b>
<b>3.5</b>	<b>Resultados de los efectos ecotoxicológicos en la yuca en la etapa de cultivo .....</b>	<b>66</b>
3.5.1	Longitud del tallo .....	66
3.5.2	Número de ramas .....	69
3.5.3	Número de hojas .....	71
3.5.4	Número de Tubérculo por planta.....	73
3.5.5	Longitud del tubérculo.....	75
3.5.6	Peso del tubérculo .....	77
<b>3.6</b>	<b>Resultados de los análisis de metales pesados después de la cosecha en suelo agrícola y suelo remediado.....</b>	<b>79</b>
<b>3.7</b>	<b>Estimación de dosis. ....</b>	<b>82</b>
	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>89</b>

<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>90</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
<b>ANEXOS</b>	

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-1:</b> Tipo de crudo y sus respectivos niveles API.....	5
<b>Tabla 2-1:</b> Taxonomía de la yuca .....	12
<b>Tabla 3-1:</b> Principales requerimientos ecológicos y edáficos del cultivo de yuca .....	13
<b>Tabla 4-1:</b> Categorización de las plantas en función a su concentración y traslocación .....	48
<b>Tabla 1-3:</b> Resultados de los análisis del suelo remediado antes del cultivo de yuca .....	60
<b>Tabla 2-3:</b> Resultados de los análisis del suelo agrícola antes del cultivo de yuca. ....	61
<b>Tabla 3-3:</b> Monitoreo del crecimiento de la planta de yuca.....	62
<b>Tabla 4-3:</b> Análisis de metales pesados en el tubérculo.....	65
<b>Tabla 5-3:</b> Longitud del tallo.....	67
<b>Tabla 6-3:</b> Resultados cuadro ANOVA.....	67
<b>Tabla 7-3:</b> Número de ramas.....	69
<b>Tabla 8-3:</b> Resultados cuadro ANOVA.....	70
<b>Tabla 9-3:</b> Número de hojas.....	71
<b>Tabla 10-3:</b> Resultados cuadro ANOVA.....	72
<b>Tabla 11-3:</b> Número de tubérculos por planta .....	73
<b>Tabla 12-3:</b> Resultado cuadro ANOVA .....	74
<b>Tabla 13-3:</b> Longitud del tubérculo .....	75
<b>Tabla 14-3:</b> Resultados cuadro ANOVA.....	76
<b>Tabla 15-3:</b> Peso del tubérculo.....	77
<b>Tabla 16-3:</b> Resultados cuadro ANOVA.....	78
<b>Tabla 17-3:</b> Análisis de suelo agrícola después del cultivo .....	79
<b>Tabla 18-3:</b> Análisis de suelo remediado después del cultivo .....	80
<b>Tabla 19-3:</b> Resultados cuadro Anova .....	81

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-1:</b> Proceso productivo de la industria del petróleo .....	5
<b>Figura 2-1:</b> Manihot esculenta Crantz .....	12
<b>Figura 1-2:</b> Mapa de la parroquia Taracoa .....	52

## INDICE DE FOTOGRAFÍAS

<b>Fotografía 1-2:</b> Parroquia Taracoa .....	53
<b>Fotografía 2-2:</b> Estacas de yuca comercial.....	56
<b>Fotografía 1-3:</b> Identificación de suelos.....	59
<b>Fotografía 2-3:</b> Homogenización de las submuestras de suelo remediado .....	60
<b>Fotografía 3-3:</b> Siembra de yuca.....	61
<b>Fotografía 4-3:</b> Monitoreo del cultivo semana 1 .....	63
<b>Fotografía 5-3:</b> Monitoreo del cultivo semana 3 .....	64
<b>Fotografía 6-3:</b> Cuarteo .....	65



## INDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-3:</b> Concentración-Bioacumulación.....	68
<b>Gráfico 2-3:</b> Concentración-Bioacumulación .....	70
<b>Gráfico 3-3:</b> Concentración-Bioacumulación.....	72
<b>Gráfico 4-3:</b> Concentración-Bioacumulación.....	74
<b>Gráfico 5-3:</b> Concentración-Bioacumulación.....	77
<b>Gráfico 6-3:</b> Concentración-Bioacumulación.....	79
<b>Gráfico 7-3:</b> Concentración-Bioacumulación.....	82

## INDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación 1</b> .....	47
<b>Ecuación 2</b> .....	47
<b>Ecuación 3</b> .....	48
<b>Ecuación 4</b> .....	51
<b>Ecuación 5</b> .....	51

## RESUMEN

El objetivo fue evaluar la capacidad de bioacumulación de trazas de metales pesados en la especie *Manihot esculenta*, crantz, cultivada en suelo remediado de la Parroquia Taracoa. Los suelos en la Amazonía ecuatoriana como consecuencia de la actividad petrolera, contienen elevadas concentraciones de trazas de metales pesados, por ello, se propuso utilizar la especie vegetal Yuca (*Manihot esculenta*; Crantz) considerada como una fuente de alimento importante en la dieta diaria de los consumidores. Se establecieron ocho experimentos, cuatro en suelo remediado y cuatro en suelo agrícola para evaluar la influencia de las concentraciones de metales pesados en el desarrollo de la yuca, se realizó una caracterización inicial de suelos y una evaluación final en el suelo y tubérculo para comprobar si existió una bioacumulación, aplicando metodologías estandarizadas para muestreo de suelos, siembra, cultivo, cosecha y muestreo de plantas tropicales proporcionadas por el Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). Posteriormente se analizó en el laboratorio las muestras obtenidas utilizando la técnica de Plasma de acoplamiento Inductivo (ICP) generando resultados de bioacumulación inferiores al límite a los cuales se les aplicó un diseño ANOVA de un factor y un modelo estadístico TUKEY encontrándose diferencias significativas en la longitud del tallo, número de hojas, número de ramas, número de tubérculos, longitud del tubérculo y peso del tubérculo de la especie cultivada en los dos suelos. Por ende el tubérculo carece de la capacidad de bioacumular trazas de metales pesados presentando concentraciones iguales a cero, las características físicas de las plantas se vieron afectadas debido a la presencia de concentraciones de trazas de metales pesados en el suelo remediado. Se sugiere investigar la bioacumulación de metales pesados en hojas y tallo de la Yuca (*Manihot esculenta*; Crantz), para lograr entender de una mejor manera los efectos ecotoxicológicos que sufre esta especie.

**Palabras clave:** <BIOTECNOLOGÍA>, <ECOTOXICOLOGÍA>, <BIOACUMULACIÓN>, <DOSIS DE EXPOSICIÓN>, <METALES PESADOS>, <SUELO REMEDIADO>, <YUCA (*Manihot esculenta*; Crantz)>

## ABSTRACT

This investigation aims to evaluate the bioaccumulation capacity of heavy metal signs in the species *Manihot esculenta*, Crantz, grown in repaired soil of Taracoa parish. The soils in the Ecuadorian Amazon Region as a consequence of the oil activity contain high concentrations of heavy metal signs that is why we proposed to use the vegetal species *Yucca* (*Manihot esculenta*; Crantz) which is considered as a main food in the daily diet of the consumers. We established 8 experiments, 4 in repaired soil and 4 in agricultural soil in order to evaluate the influence of the concentrations of heavy metals in the growth of yucca. An initial soil characterization and a final evaluation in the soil and tuber was carried out to test if a bioaccumulation existed. We applied standardized methodologies for soil, sowing, farming harvest and tropical fruits sampling provided by the Autonomous National Institute of Agricultural Investigations (INIAP). Later, samples gotten by the Inductively Coupled Plasma (ICP) were analyzed in the laboratory. The results of bioaccumulation were lower. The ANOVA (ANalysis Of VAriance) design of a factor and a TUKEY statistical model were applied. We found meaningful differences in the stalk length, number of leaves, number of branches, number of tubers, tuber length and tuber weight of the species cultivated in the two soils. The tuber can not bioaccumulate the heavy metal signs. They present concentrations equals to zero. The physical characteristics of the plants were affected by the presence of concentrations of heavy metal signs in the repaired soil. We suggested to investigate the bioaccumulation of heavy metals in leaves and stalks of *Yucca* (*Manihot esculenta*; Crantz) to understand better the Eco toxicological effects that this species suffers.

**Keywords:** <BIOTECHNOLOGY>, <ECO TOXICOLOGY>, <BIOACCUMULATION>, <EXPOSURE DOSAGE>, <HEAVY METALS>, <REPAIRED SOIL>, <YUCCA (*Manihot esculenta*; Crantz)>.

## INTRODUCCIÓN

El desarrollo industrial ha sido uno de los principales agentes de contaminación en aguas, atmosfera y suelos, encontrándose en el suelo una gran problemática porque los contaminantes persisten a lo largo del tiempo, como por ejemplo los contaminantes inorgánicos y los metales pesados que no se pueden degradar. La persistencia y la creciente acumulación sumada al traspaso a otros sistemas causan daños a los ecosistemas. (Becerril, et al., 2007)

El resultado directo de la contaminación del suelo es una ausencia inicial de plantas o la pérdida de productividad, la reducción de la biodiversidad y de manera indirecta la contaminación de aire y aguas (superficiales y subterráneas). La descontaminación de suelos contaminados presenta grandes dificultades pero actualmente existen algunas técnicas que se han planteado para transformar los suelos contaminados por elementos traza. (Pérez, et al., 2012)

Metales y metaloides son transferidos desde el suelo hacia plantas que presentan la capacidad de utilizar distintas destrezas para contrarrestar la toxicidad de metales en el ambiente. A través de resistencia, o de una eficaz exclusión del metal, limitando el transporte de los contaminantes hacia la parte aérea. Otras especies vegetales escogen acumular el metal en una forma no tóxica para la planta. (LLungany, et al., 2007)

Algunos factores son determinantes para poder conocer la capacidad que poseen las plantas para absorber y traslocar metales del suelo a la parte aérea así el factor de bioconcentración es la relación de la concentración de metales en los órganos aéreos y la concentración del metal en el suelo; mientras que el otro es el factor de traslocación que es la relación de la concentración del metal en los órganos aéreos y la concentración del metal en la raíz. (Olivares & Peña , 2009)

En el Ecuador no hay un estudio específico sobre la acción de la yuca en suelos contaminados con metales pesados sin embargo (Montes , 2014) en sobre la espacialización de concentración de metales pesados cromo, zinc y plomo en el complejo industrial fabrífame y propuesta de remediación de suelos hace el uso de 6 tubérculos aplicándose como un proceso de fitorremediación de suelos.

Según los resultados expuestos por (Montes, 2014) que se obtuvieron en los poderes bioacumuladores de los tubérculos del metal Cromo a través de la fitorremediación fueron la Papa con el 30%, el Rábano con el 35%, Málaga 6%, Camote 16%, la Papa China 44% y la yuca un 6% de Absorción del metal cromo, por lo que sugiere en base a sus investigaciones la utilización del tubérculo de la papa china.

## **JUSTIFICACIÓN**

En el cantón Francisco de Orellana, en parroquia Taracoa predomina los suelos con texturas arcillosas, cuya característica principal es su coloración rojiza, baja permeabilidad, pobreza en nutrientes, concentraciones de aluminio a niveles tóxicos, muy susceptible a la compactación, entre otras limitaciones que restringen ampliamente la actividad agro-productiva. (PD y OT municipal 2014-2016)

Por esta razón, los agricultores optan por el uso de suelos biorremediados que por sus características ricas en nutrientes (N, P, K, Mn, Ca, etc). Estos suelos a pesar de tener un tratamiento de biorremediación contienen concentraciones de metales pesados. La falta de conocimiento sobre las propiedades físicas y químicas que presentan estos suelos, inclinan a los agricultores a su uso para las actividades agro-productivas.

El consumo excesivo del tubérculo *Manihot esculenta*; Crantz con concentraciones de metales pesados genera bioacumulación en organismos superiores, es importante establecer estudios de toxicidad en alimentos endémicos de la región amazónica, para la toma acertada de decisiones por parte de las autoridades competentes, que eviten y alerten el uso de suelos que han pasado por los procesos de biorremediación excluyéndolos totalmente para su uso como relleno de suelos agrícolas o atenuantes de suelos con elevadas concentraciones de Aluminio y Hierro que muchas ocasiones vuelven improductivos a los terrenos.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

- Evaluar la bioacumulación de trazas de metales pesados en la especie *Manihot esculenta*; Crantz cultivada en suelos remediados de la Parroquia Taracoa.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Analizar el poder bioacumulador de metales pesados en un tipo de tubérculo endémico de la región Amazónica cultivado en suelos remediados.
- Determinar la eficacia de la yuca en la absorción de trazas de metales pesados en los suelos remediados.
- Diagnosticar la dosis estimada de exposición de metales pesados por el consumo de yuca *Manihot esculenta*; Crantz en la parroquia Taracoa de la provincia de Orellana.
- Evaluar la capacidad de desarrollo del tubérculo cultivado tanto un en suelo remediado como en un suelo agrícola.

# CAPÍTULO I

## 1. MARCO TEÓRICO

### 1.1 Industria de los hidrocarburos en el Ecuador

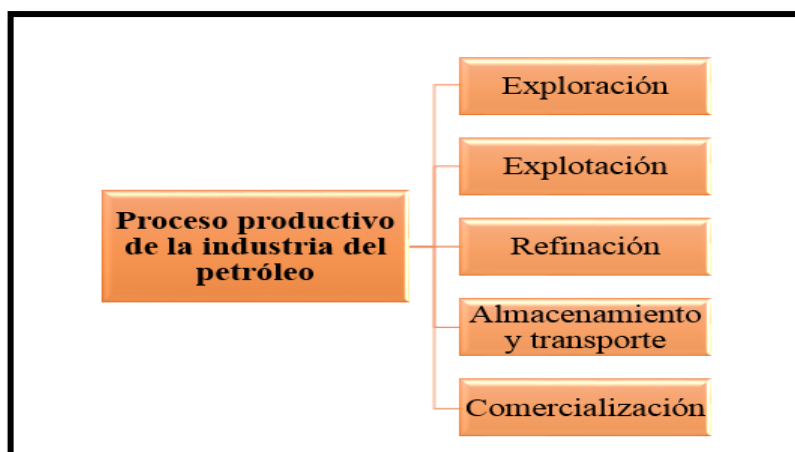
La palabra petróleo proviene de dos palabras latinas PETRA que significa roca y OLEUM cuyo significado es aceite, en la época industrial se lo denominó rock oil (aceite de piedra). El petróleo es un mineral orgánico, es un hidrocarburo que se ha formado gracias a la descomposición de residuos vegetales y animales que a lo largo de muchos siglos se han producido en las capas geológicas con determinadas características de temperaturas y presión. (Andrango, 2011)

El petróleo es un recurso natural no renovable, resulta del proceso de degradación anaeróbica de la materia orgánica, que se ha producido a lo largo de los años en condiciones de altas temperaturas y presiones, que lo transformaron en gas natural, crudo y derivados del petróleo. El petróleo es una composición mixta compleja y variable de diversos compuestos orgánicos, los que mayoritariamente son hidrocarburos, de peso molecular variable desde el gas metano hasta los altos pesos moleculares de alquitranes y bitúmenes. (Vargas, et al., 2004)

El petróleo o aceite de piedra tiene su origen en la roca madre y se localiza acopiado en una especie de lago subterráneo al que se le conoce como yacimiento, el petróleo se encuentra a una profundidad cercana a los 4 mil metros. Este hidrocarburo está acompañado de agua y gas que al momento de ser explotados deben ser manejados con cuidado para que las fuerzas tanto del agua como del gas lleguen a un equilibrio para hacer uso racional en su explotación. (Andrango, 2011)

A más de las sustancias químicas básicas y otros metales, el petróleo también contiene en menor cantidad S, O, Fe y N en forma de impurezas o residuos. La industria de los hidrocarburos tiene varias fases, entre las que encontramos: fase de explotación, fase de perforación, fase de transportación, fase de refinación y fase de almacenamiento y fase de comercialización externa. (Ver figura 1). Existen varias clases de petróleo que se diferencian por su calidad. (Andrango, 2011)





**Figura 1-1:** Proceso productivo de la industria del petróleo

Fuente: (López, 2011)

El American Petroleum Institute (API) de E.E.U.U es la institución que se encarga de instaurar la calidad del petróleo, dicho organismo toma en cuenta la cantidad de azufre y la densidad o peso del crudo, estos parámetros son los que determinan la calidad del petróleo y se miden en grados de viscosidad (grados API). Existe una clasificación que se basa en la función de las características técnicas de calidad del crudo, la clasificación es:

**Tabla 1-1:** Tipo de crudo y sus respectivos niveles API

TIPO DE CRUDO	NIVEL DE GRAVEDAD EN API
Liviano	Más de 30 grados
Mediano	29-22.3 grados
Pesados	22-10 grados

Fuente: (Andrango, 2011)

Los crudos más pesados tienen mayor cantidad de azufre (superior al 1%), tienen un nivel menor de grados API por lo que alcanzan una menor cantidad de derivados, es decir son de inferior calidad y se valorizan a un precio bajo en el mercado internacional. Los crudos más livianos o ligeros poseen menor cantidad de azufre (menor al 1%), poseen un mayor nivel de grados API y alcanzan más derivados, son de mejor calidad y su precio es más alto en el mercado. (Andrango, 2011)

El valor en el mercado internacional es determinado por el valor de los grados API y el contenido de azufre, cuando mayor es el número de grados que tenga el crudo menor será el contenido de azufre que tenga y por lo que su precio es más alto. El petróleo ecuatoriano denominado también “crudo oriente”, se clasifica como crudo semipesado, de mediano y baja

calidad, con una gravedad de alrededor de 24 grados API y un contenido de azufre de 1.4% (Andrango, 2011)

### ***1.1.1 Impactos Ambientales de la industria hidrocarburífera***

#### *1.1.1.1 Impactos a la salud y a la vida digna*

En el estudio realizado por Maldonado & Narvaez (2003) sobre impactos generados en la actividad petrolera sobre la población que bordea las instalaciones petroleras, se tomó a 1250 personas y 342 visitas a instalaciones petroleras se determinaron que el 60% de los pozos y el 100% de las estaciones hay familias que habitan a menos de 500 m de las instalaciones y que el 42% de ellas viven a menos de 50 m.

El 94% de la población que fue encuestada manifiesta haber perdido animales a causa de la ingestión de agua con crudo, al caerse a las piscinas o inhalación de gases. Algunos habitantes se alimentan de estos animales muertos, otros los venden o se obsequian para consumirlos. El 82.4% de la población se ha enfermado, el 96% de los enfermos registran problemas de piel, 75% problemas respiratorios, 64% problemas digestivos, 42% problemas en los ojos. (Maldonado & Narvaez, 2003)

La problemática en la salud se debe al deterioro general del ambiente. El 75% de la población encuestada en dicho estudio utilizaba agua contaminada. Un agua pestilente, salada, color y/o con petróleo en superficie, esta agua se ingiere se usa para cocinar, aseo personal y para la agricultura ya que la población no presenta más opciones para el consumo. El aire está contaminado por la presencia de mecheros, los mismos que desprenden gases contaminantes (Maldonado & Narvaez, 2003)

#### *1.1.1.2 Impactos Ambientales*

La contaminación de suelo y agua con hidrocarburos es un problema que se ha extendido como consecuencia de derrames de contenedores, rompimientos de tuberías subterráneos y varios tecnologías industriales (O'Rourke & Connolly, 2003). Los líquidos se dirigen hacia el suelo y subsuelo (zona vadosa), hacia aguas subterráneas (zona saturada – acuífero) o superficialmente hacia un bajo topográfico o curso de agua, y sus componentes volátiles parten a la atmosfera.

Los hidrocarburos ejercen efectos negativos sobre la vegetación directamente ha sufrido, provocando su mortalidad, de manera indirecta alterando las condiciones físicas del suelo

perturbando su fertilidad (Sangabriel, et al., 2006), en el agua algunos hidrocarburos flotan formando una película superficial, otros (los más pesados) sedimentan y se acumulan en el fondo limitando la disponibilidad de alimento para los peces y macro y micro invertebrados.

En el suelo algunos compuestos se volatilizan, otros se dirigen al subsuelo contaminando el agua subterránea y otros quedan adheridos a las partículas por largos periodos de tiempo. La contaminación de suelos y agua por hidrocarburos también genera impacto sobre la salud humana por sus características corrosivas, explosivas, inflamables y tóxicas. La Agencia de Protección Ambiental de EEUU los clasificó como contaminantes primarios y como residuos peligrosos.

En esta industria se han generado impactos negativos por la mala evaluación de la contaminación comprendida desde la explotación hasta la obtención de los petroquímicos básicos, así como la fase de construcción petrolera la que está constituida por: pozos de explotación, baterías de separación; complejos procesadores de gas, centrales de almacenamiento y bombeo, redes de ductos y piletas para el confinamiento de desechos sólidos y líquidos procedentes de la perforación y mantenimiento de los pozos; transporte y distribución

Estas instalaciones tienen potenciales riesgos de fugas de petróleo, diésel y gasolina por rupturas de los ductos, por la posible filtración de aguas aceitosas, por daños en la infraestructura donde se almacenan y transportan, por malas prácticas manuales que se realizan, entre otras, lo que se ha evidenciado a lo largo de la actividad industrial petrolera generando un riesgo a nivel de la contaminación ambiental e impactos negativos a los ecosistemas.

Estos derrames petroleros causan grandes pérdidas y contaminación en extensas áreas de terreno en los que están involucrados: la destrucción de toda biodiversidad del sector puesto que se deterioran gravemente la fauna fluvial y la flora de las riveras de los ríos afectando las fuentes de aguas, los terrenos de cultivos, dispersión de especies sensitivas y pérdida en la calidad de vida de sus habitantes

La explotación petrolera ha acarreado graves perjuicios ecológicos, sobre todo en la región amazónica. Los pozos existentes han producido millones de galones de desechos tóxicos por día, los que se han descargado en el medio ambiente, contaminando esteros y ríos que proveen de agua para consume humano. Los componentes tóxicos sobrepasan en 10000 veces los niveles de contaminación tolerables.

## **1.2 Soberanía Alimentaria.**

Para hablar de la soberanía alimentaria es importante empezar señalando que el derecho a la alimentación es un derecho propio, inherente e irrenunciable que posee todo ser humano “El derecho a la alimentación adecuada se ejerce cuando todo hombre, mujer o niño, ya sea solo o en común con otros, tiene acceso físico y económico, en todo momento, a la alimentación adecuada o a medios para obtenerla”.

No es un requerimiento el status social de las personas, ni condiciones para que los ciudadanos tengan derecho a gozar del acceso fácil, libre y sano a la alimentación, este es un derecho reconocido en la Constitución de la República de Ecuador en el que están citados los artículos 3, 32, 66, y 281, así también están reconocidos en Tratados y Acuerdos internacionales, en el que Ecuador forma parte.

Hay que tener en cuenta que no es lo mismo la soberanía alimentaria y la seguridad alimentaria, la soberanía alimentaria es la capacidad que tienen los pueblos para tutelar por sus propias costumbres al momento de cultivar la tierra, hacerla productiva a la vez se genera desarrollo sostenible siendo beneficioso para su localidad y las demás de país, así se protege el mercado local al competir con productos importados

La seguridad alimentaria en cambio es el acceso al que tienen todas las personas a los alimentos de calidad para tener una vida condesciente y sana, se puede considerar que la población tiene seguridad alimentaria cuando están proporcionados de alimentos en cantidades suficientes y los alimentos poseen buenas características para el consumo. La seguridad y la soberanía alimentaria van de manera conjunta en beneficio de la población

### ***1.2.1 Importancia de la Soberanía Alimentaria.***

La importancia de la Soberanía Alimentaria radica en poner en primer plano al sector agropecuario, que a su vez tiene algunos aspectos esenciales:

1. La producción alimentos sanos y para ello se requiere que se cultiven productos de buena calidad para que no existan consecuencias negativas para la población que los consuma.
2. Se Procura que las condiciones para la producción de los alimentos sean las más adecuadas, de tal manera sea de provecho todo lo que se ha producido.

3. Los criaderos de animales deben contar con todas las normas de seguridad y las condiciones de limpieza para que los animales se desarrollen en un buen ambiente y su carne pueda ser consumirse
4. La pesca debe realizarse de forma controlada con la finalidad de evitar el exterminio de las especies marinas existentes.

El fundamento principal de la soberanía alimentaria se encuentra básicamente en el cultivo de los productos por parte los campesinos para que los suministren a ellos y a la población local, de manera irónica la gente que más hambre sufre es la que vive en el campo, pese a tener tierras para el cultivo, esto a consecuencia a que no tienen libre acceso a insumos, fertilizantes, vitaminas que requiere el suelo para proporcionar buenos productos.

Para que exista una verdadera soberanía alimentaria es imprescindible que se relacionen algunos elementos entre los que están: Garantizar que las semillas que se utilicen para los sembríos sean óptimas, que los recursos que se requieren estén a disposición como el agua, fácil acceso a las tierras para la siembra. Los productos obtenidos deben ser orientados especialmente en los mercados locales, posteriormente a los internacionales.

La soberanía alimentaria a más de generar productos de calidad, contribuye con la producción de empleo porque los campesinos poseen grandes extensiones de tierras y es necesario la implementación de personal que aporte con mano de obra, de esta manera también así también se reactivan las economías populares de los pueblos.

### ***1.2.2 Principios de la Soberanía Alimentaria***

El objetivo de la Soberanía solidaria es el incremento de los mercados locales y posteriormente el mercado nacional, al brindarles apoyo a los campesinos, pues ellos son el eje fundamental en la producción de alimentos la repartición, almacenamiento y transporte de productos, para contar con sistemas sostenibles y sustentables, no solo de los productos alimenticios sino también de la naturaleza. Los principios de la Soberanía alimentario son los siguientes:

- Alimento para todos
- Incentivar a los productores
- Enfoque de medios alimentarios
- Crecimiento y posicionamiento local
- Capacitación
- Respeto a la naturaleza

### **1.3 Marco legal favorable para el manejo y conservación del suelo en el Ecuador**

#### **La Constitución Política del Ecuador**

Art.409 “Es de interés público y prioridad nacional la conservación del suelo, en especial su capa fértil. Se establecerá un marco normativo para su protección y uso sustentable que prevenga su degradación, en particular la provocada por la contaminación, la desertificación y la erosión”.

Art.410 “El Estado brindará a los agricultores y a las comunidades rurales apoyo para la conservación y restauración de los suelos, así como para el desarrollo de prácticas agrícolas que los protejan y promuevan la soberanía alimentaria”. (Asamblea Nacional Constituyente, 2008, p. 38).

#### ***1.3.1 Ley Orgánica del Régimen de Soberanía Alimentaria “LORSA”***

Artículo 1. Finalidad.- “Esta Ley tiene por objeto establecer los mecanismos mediante los cuales el Estado cumpla con su obligación y objetivo estratégico de garantizar a las personas, comunidades y pueblos la autosuficiencia de alimentos sanos, nutritivos y culturalmente apropiados de forma permanente”.

“El régimen de la soberanía alimentaria se constituye por el conjunto de normas conexas, destinadas a establecer en forma soberana las políticas públicas agroalimentarias para fomentar la producción suficiente y la adecuada conservación, intercambio, transformación, comercialización y consumo de alimentos sanos, nutritivos, preferentemente provenientes de la pequeña, la micro, pequeña y mediana producción campesina, de las organizaciones económicas populares y de la pesca artesanal así como microempresa y artesanía; respetando y protegiendo la agrobiodiversidad, los conocimientos y formas de producción tradicionales y ancestrales, bajo los principios de equidad, solidaridad, inclusión, sustentabilidad social y ambiental”.

## Artículo 9. Investigación y extensión para la soberanía alimentaria

“El Estado asegurará y desarrollará la investigación científica y tecnológica en materia agroalimentaria, que tendrá por objeto mejorar la calidad nutricional de los alimentos, la productividad, la sanidad alimentaria, así como proteger y enriquecer la agrobiodiversidad. Además, asegurará la investigación aplicada y participativa y la creación de un sistema de extensión, que transferirá la tecnología generada en la investigación, a fin de proporcionar una asistencia técnica, sustentada en un diálogo e intercambio de saberes con los pequeños y medianos productores, valorando el conocimiento de mujeres y hombres” (Asamblea Nacional Constituyente, 2010, p. 38).

### ***1.3.2 Acuerdo ministerial MAE N° 028***

El Acuerdo Ministerial No. 028; (2015), en sus siguientes literales establece:

#### *1.3.2.1 Normas de aplicación general*

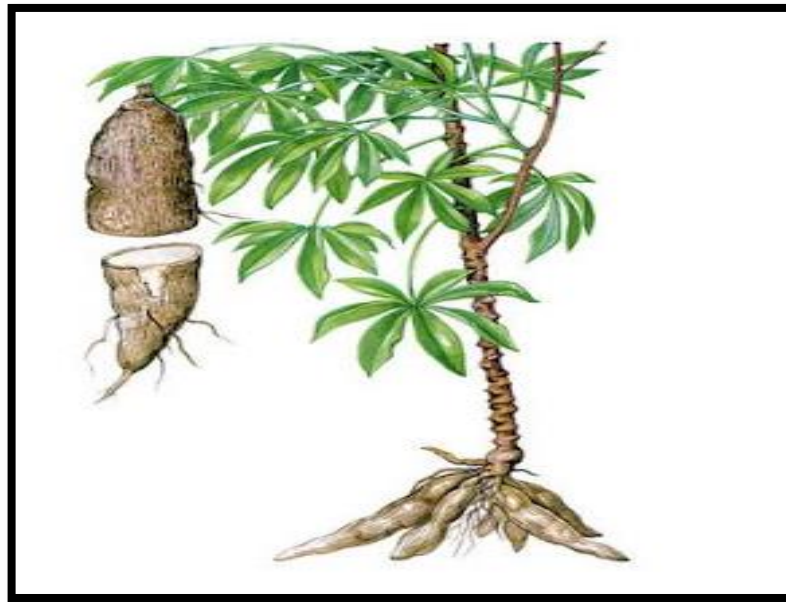
“Para la prevención y control de la contaminación del suelo se establece los siguientes criterios: Utilizar sistemas de agricultura que no degraden, contaminen o desequilibren el ecosistema del área geográfica en que se desenvuelvan; esto incluye el uso racional y técnico de plaguicidas, fertilizantes y sustancias tóxicas. En aquellos suelos que presentan contaminación, deberán llevarse a cabo las acciones necesarias para para recuperarlos, restaurarlos o restablecer las condiciones iniciales existentes anteriormente a la ejecución de un determinado proyecto”. (p. 113)

#### *1.3.2.2 De las actividades que degradan la calidad del suelo*

“Las personas naturales o jurídicas públicas o privadas dedicadas a la comercialización, almacenamiento y/o producción de químicos, hidroelectricidad, exploración y explotación hidrocarburífera, minera, florícola, pecuaria, agrícola u otros, tomarán todas las medidas pertinentes a fin de que el uso de su materia prima, insumos y/o descargas provenientes de sus sistemas de producción, comercialización y/o tratamiento, no causen daños físicos, químicos o biológicos a los suelos.” (p. 114)

## 1.4 Cultivos de yuca

La yuca (*Manihot esculenta* Crantz), es considerada como la cuarta fuente de calorías de aproximadamente de 500 millones de personas, es cultivada en los trópicos y en terrenos marginales, poco fértiles, ácidos y que soportan largos períodos de sequía. La yuca es un alimento fundamental para familias campesinas de bajos recursos, se estima que es un alimento que se consume desde la época de los aborígenes. (Mederos , 2006)



**Figura 2-1:** *Manihot esculenta* Crantz

Fuente: (Peluffo , 2013)

**Tabla 2-1:** Taxonomía de la yuca

<b>Reino</b>	Vegetal
<b>División</b>	<i>Spermatophyta</i>
<b>Subdivisión</b>	<i>Angiospermae</i>
<b>Clase</b>	<i>Dicotiledoneae</i>
<b>Orden</b>	<i>Euphorbiales</i>
<b>Familia</b>	<i>Euphorbiaceae</i>
<b>Género</b>	<i>Manihot</i>
<b>Especie</b>	<i>Manihot</i>
<b>Nombre científico</b>	<i>Manihot exculenta</i> Crantz, <i>utilissima</i> , <i>aipi</i>
<b>Nombres comunes</b>	Yuca, Manioc, Mandioca, Cassava, Guacamote, Caxcamote, Macaxeira

Fuente: (Lovato, 2010)



La yuca es un arbusto perteneciente a la familia de las euforbiáceas posee tallos leñosos, derechos y que presentan nudosidades, alcanzan de hasta 2.0m de altura, la raíz es tuberosa de color blanco y puede alcanzar hasta 1m de largo y 20 cm de diámetro. La raíz de la yuca presenta una forma cilíndrica y oblonga, y alcanza 1m de largo y 10 cm de diámetro, la cáscara es dura y leñosa y no es comestible (Grace, 1977)

La pulpa de la yuca es firme inclusive su durabilidad antes de ser sometida a la cocción es prolongada, es surcada presenta unas fibras longitudinales más rígidas, la pulpa de la yuca es rica en hidratos de carbono, se oxida de manera inmediata cuando esta es despojada de la corteza. Según la variedad la pulpa de la yuca puede presentar una coloración blanca o amarillenta, sin embargo su sabor varía de amargo a dulce (Grace, 1977)

**Tabla 3-1:** Principales requerimientos ecológicos y edáficos del cultivo de yuca

<b>Clima</b>	Trópico, subtropical, cálido
<b>Temperatura</b>	18-35°C, no apta menos de 17 °C
<b>Hora-luz</b>	10-12 (fotoperiodo)
<b>Pluviosidad</b>	80-90%
<b>Altitud</b>	800-1000 msnm
<b>Vientos</b>	Menores de 30 Km/hora
<b>Formación ecológica</b>	Bosque húmedo tropical, bosque seco tropical
<b>Requerimientos edáficos</b>	
<b>Textura</b>	Francos, ligeros, con buen drenaje, crece en todos los suelos
<b>Acidez</b>	5.50-7.50
<b>Tipo de suelo</b>	Bien drenados, francos, franco-limosos, profundos, ricos en potasio
<b>Rendimientos</b>	50-50 t/hectárea

Fuente: (INFOAGRO, 2009)

#### 1.4.1 Variedades

Esta familia compuesta por unas 2700 especies se caracteriza por su notable desarrollo de los vasos laticíferos, compuesto por células secretoras llamadas galactocitos. Esto es lo que provoca la secreción lechosa. También dentro de esta familia se encuentran numerosas malezas, plantas ornamentales y otras de valor medicinal. Un género muy importante de esta familia lo constituye *Manihot*, el cual solo se encuentra en América. (Suarez & Maderos, 2011)

Existen alrededor de 98 especies de este género, de las cuales sólo la yuca (*Manihot esculenta* Crantz) tiene gran importancia económica y es cultivada. El nombre científico de la yuca se lo dió por Crantz, en 1766. Posteriormente, se clasificó, dependiendo si se trataba de yuca amarga *M. utilissima* o dulce *M. aipi*. Finalmente se propone que la especie *M. esculenta* sea dividida en tres subespecies: *M. esculenta*, *M. flavellifolia* y *M. peruviana*. (Suarez & Maderos, 2011)

## 1.5 Metales Pesados

El término de “metal pesado” hace referencia a los metales de la tabla periódica que poseen un peso específico superior a  $5 \text{ g/cm}^3$  o que tienen un número atómico superior a 20, exceptuando habitualmente a los metales de la familia de los alcalinos y elementos de la familia de los alcalinotérreos, el término “metal pesado” generalmente se usa para hacer referencia a aquellos metales clasificados como contaminantes ambientales (Ramos , 2002)

Los metales pesados constituyen componentes de la naturaleza de la tierra, estos compuestos no pueden ser degradados o destruidos simplemente son transformados, en cantidades pequeñas son incorporadas como parte de nuestra dieta alimenticia, también se encuentran en el agua potable y en el aire, los metales pesados son peligrosos porque tienden a bioacumularse (Ramos , 2002)

La bioacumulación consiste en el aumento de la concentración de una especie química de un organismo biológico en un cierto plazo, esta es la consecuencia generalmente de su alimentación, las sustancias que son capaces de bioacumularse pudiendo darse el fenómeno de biomagnificación que es cuando sus concentraciones se incrementan paulatinamente a lo largo de la cadena trófica.

La bioacumulación por sí misma no tiene que ser dañina para un organismo. (Ramos , 2002)

La problemática de la bioacumulación es cuando se da con sustancias tóxicas, en el caso de los metales pesados el único que incuestionablemente es capaz acumularse es el mercurio ya que no ejerce ninguna función en el organismo de los seres vivos. Pero también encontramos organismos que tienen la capacidad de bioconcentrar metales pesados, entendiéndose por bioconcentración una bioacumulación excesiva. (Ramos , 2002)

Las cantidades de metales que ingresan en nuestro organismo con el consumo de alimentos son más elevados a las procedentes del agua de consumo, donde suelen ser asombrosamente pequeñas (exceptuando casos estrictos de aguas contaminadas). La extensión en la sustancia se

almacena en un organismo va a depender de la relación entre la velocidad a que la sustancia es ingerida y la velocidad a la sustancia se elimina. (Ramos , 2002)

La persistencia es una de las principales características que les permite resistencia a la degradación biológica, fotoquímica, y química, por lo que su vida media en el ambiente es elevada o muy elevada y pueden perdurar por periodos largos de tiempo. Cuanto más persistente sea una sustancia mayor será la peligrosidad, ya que aumentan las posibilidades de movilización en el ambiente y de que interactúe con los seres vivos antes de degradarse.

Ambientalmente la problemática más compleja de los metales pesados es su toxicidad, en el medio ambiente describiéndose las secuelas para los cultivos, el ganado y los seres humanos, la toxicidad está directamente relacionada con posición de los organismos dentro de la cadena alimenticia y su entorno, pero en otros casos la toxicidad están basados en anomalías genéticas ocasionando daños en la fisiología (Ramos , 2002)

### ***1.5.1 Cadmio***

El cadmio es un elemento natural, se encuentra como mineral o puede combinarse con algunos elementos como con O (CdO), Cl (CdCl<sub>2</sub>) o S (CdS, CdSO<sub>4</sub>). Existen pequeñas cantidades de Cadmio en los suelos y rocas, inclusive en el carbón y abonos minerales. Su extracción se logra durante la producción de otros metales como el Zn, Pb y Cu, no se corroe fácilmente, además tiene varios usos en baterías, pigmentos, revestimiento de otros metales y plásticos. (ATSDR, 2016)

#### ***1.5.1.1 Movilidad y bioacumulación***

El cadmio ingresa al suelo, al agua y al aire durante actividades industriales y mineras, también cuando hay combustión de carbón y desechos domiciliarios. El cadmio no es degradable en el ambiente, pero sí cambia de forma. Las partículas de cadmio que están en el aire pueden desplazarse largas distancias antes de depositarse en la tierra o el agua. Algunas formas de cadmio se pueden disolver en el agua. El cadmio se puede adherir fuertemente a partículas del suelo. (ATSDR, 2016)

El ingreso del cadmio en el humano se produce mediante la ingestión de plantas, los peces y algunos otros animales que incorporan cadmio del ambiente a su organismo, aunque el cadmio se encuentra en casi todos los alimentos pero en niveles bajos de cadmio, hay algunos alimentos que poseen mayores cantidades dentro de estos están: las hojas de verduras, granos, legumbres y riñones. (ATSDR, 2016)

### *1.5.1.2 Fuentes de exposición*

Mediante la ingestión de alimentos, al fumar cigarrillos o mediante la inhalación de humo de cigarrillo, al respirar aire contaminado en el trabajo. Ingeriendo agua contaminada, al habitar cerca de industrias que liberen cadmio a la atmósfera, al respirar niveles altos de cadmio se puede deteriorar gravemente los pulmones. Ingerir alimentos o tomar agua con niveles altos de cadmio ocasiona la irritación grave del estómago produciendo vómitos y diarrea. (ATSDR, 2016)

La exposición por largos periodos de tiempo a niveles bajos de cadmio sea en el aire, alimentos o el agua produce acumulación de Cd en los riñones y probablemente enfermedad renal. Otros efectos son daños pulmonares y fragilidad de los huesos. La EPA determinó que el Cd es carcinogénico en seres humanos (grupo B1). La Administración de Salud y Seguridad Ocupacional (OSHA) limita la exposición de trabajadores a 5 µg/m<sup>3</sup> por jornada diaria (8 horas), 40 horas a la semana. (ATSDR, 2016)

### *1.5.2 Arsénico*

El arsénico es un elemento natural que se encuentra distribuido de manera amplia en la corteza terrestre. El Arsénico en el ambiente, el arsénico se combina con O, Cl y S, formando compuestos inorgánicos. El arsénico en los animales y en las plantas se puede combinar con C e H para formar compuestos orgánicos de arsénico. Los compuestos inorgánicos de arsénico son utilizados para la preservación de maderas. (ATSDR, 2016)

El arsenato cromado de cobre (CCA) se utiliza para la producción de madera presurizada, es un sistema de preservación soluble en agua, que se elaboró para proteger a largo plazo la madera cuando está expuesta al aire libre. La utilización residencial del CCA se interrumpió en Estados Unidos, aunque se utiliza en la producción industrial. Los compuestos orgánicos de arsénico se manejan como plaguicidas, especialmente en cosechas de algodón y en cultivos de frutas. (ATSDR, 2016)

#### *1.5.2.1 Movilidad y bioacumulación*

El arsénico ocurre naturalmente en el suelo y en minerales y, por lo tanto, puede entrar al aire, al agua y a suelos en otras áreas en polvo que levanta el viento y puede entrar al agua en efluente de lluvia o en agua que se filtra a través del suelo. El arsénico no puede ser destruido en el ambiente. Solamente puede cambiar de forma. La lluvia y la nieve remueven las partículas de polvo con arsénico del aire. (ATSDR, 2016)

Algunos compuestos con arsénico tienen la capacidad de disolverse en agua. La mayor parte del As en el agua se dirigirá eventualmente al suelo o formará sedimentos. En términos de contaminación de los alimentos, los arseniatos y los compuestos organoarsenicales son los que aparecen con mayor frecuencia con altas concentraciones. Los peces y mariscos son acumuladores de As, la mayor parte de este arsénico está en una forma orgánica llamada arsenobetaina. (ATSDR, 2016)

#### *1.5.2.2 Fuentes de exposición*

Con la Ingestión de pequeñas cantidades de arsénico presentes en los alimentos y el agua o por inhalación del aire que contiene arsénico, Inhalando aserrín o quemando madera que ha sido tratada con arsénico, también habitando en áreas con niveles altos de As en las rocas, por exposición laboral cuya ocupación en la cual se produce o usa arsénico, por ejemplo tratamiento de madera o aplicación de pesticidas. (ATSDR, 2016)

La inhalación de niveles altos de arsénico inorgánico produce dolores a nivel de garganta e irritación de los pulmones. La ingestión de niveles muy altos de arsénico puede ser fatal. La exposición a niveles más altos ocasiona náusea y vómitos, reducción en el número de glóbulos rojos y blancos, ritmo cardíaco anormal, fragilidad capilar y la sensación de hormigueo en las manos y los pies. (ATSDR, 2016)

La ingestión o inhalación extendida con niveles bajos de arsénico inorgánico puede manifestarse por el oscurecimiento de la piel y por el apareamiento de pequeñas callosidades o verrugas en las palmas de las manos, las plantas de los pies y el torso. El contacto de la piel con arsénico inorgánico puede producir alergias, enrojecimiento e hinchazón. No existe mayor información a de los efectos de los compuestos orgánicos de As en seres humanos. (ATSDR, 2016)

Estudios realizados en animales demuestran que algunos compuestos orgánicos de As simples resultan ser menos tóxicos que las formas inorgánicas. La absorción de compuestos con uno o dos metilos pueden producir diarrea y perjuicios de los riñones. La EPA define límites para la cantidad de As que las industrias pueden liberar al ambiente y ha restringido y/o cancelado muchos de los usos del arsénico en plaguicidas para la agricultura. (ATSDR, 2016)

La EPA ha determinado un límite de 0.01 parte por millón (ppm) para arsénico presente en el agua potable. La Administración de Salud y Seguridad Ocupacional (OSHA) señala que el límite de exposición permisible (PEL) para arsénico en el aire del trabajo de 10 microgramos de arsénico por metro cúbico de aire ( $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) en una jornada de 8 horas diarias, 40 horas semanales. (ATSDR, 2016)

### ***1.5.3 Molibdeno***

El molibdeno se encuentra distribuido por la corteza terrestre, se encuentra en muchas partes del mundo, pero pocos depósitos son ricos para garantizar la recuperación de los costos. La mayor parte del molibdeno procede de minas donde su recuperación es su principal. El restante es obtenido como un subproducto de ciertas operaciones del beneficio del cobre, en cuanto a movilidad y bioacumulación no existen datos relevantes

#### ***1.5.3.1 Fuentes de exposición***

El riesgo derivado de la exposición es muy variable. Los compuestos insolubles de molibdeno, como el disulfuro de molibdeno y muchos de sus óxidos y haluros, se caracterizan por poseer una baja toxicidad sin embargo, los compuestos solubles son más tóxicos. Hay que tomar también las precauciones necesarias para evitar la sobreexposición a los humos de molibdeno generados, durante la descomposición térmica del molibdeno hexacarbonilo. (Gunnar, 2000)

La exposición al  $\text{MoO}_3$  ocasiona irritación ocular, de las mucosas de la nariz y de la garganta. La intoxicación por Mo produce anemia, con concentraciones bajas de hemoglobina y se produce la reducción del recuento de células, la exposición de personas que manipulan soluciones de molibdeno y tungsteno produce la gota, se ha demostrado la relación entre el contenido en Mo de los alimentos y la incidencia de gota, uricemia y actividad de la xantinoxidasa. (Gunnar, 2000)

### ***1.5.4 Plomo***

El plomo es un metal que presenta una coloración gris-azulado esta de forma natural en la corteza terrestre, la mayor proviene de actividades como la minería, actividades industriales y de la combustión combustibles fósiles, es utilizado en la fabricación de baterías, municiones, en la industria de la metalurgia y en láminas de protección (rayos X). En la actualidad se ha

disminuido la cantidad de plomo en pinturas y cerámicas y en materiales para calafatear y soldar por motivo de los daños ocasionados a la salud (ATSDR, 2016)

#### *1.5.4.1 Movilidad y bioacumulación*

El plomo no se degrada, pero los compuestos de plomo son transformados por la luz natural, el aire y el agua. Cuando se libera plomo al aire, puede movilizarse largas distancias antes de depositarse en el suelo y una vez que cae al suelo, generalmente se adhiere a partículas del suelo. El traslado del plomo desde la tierra al agua subterránea dependerá del tipo de compuesto de plomo y de las características de la tierra. Algunas especies de peces son bioacumuladores de plomo tal es el caso del bagre. (ATSDR, 2016)

#### *1.5.4.2 Fuentes de exposición*

La ingestión de alimentos y agua contaminados con plomo, las cañerías de agua pueden tener soldaduras de plomo especialmente esto se da en viviendas antiguas, la pintura en mal estado puede favorecer a la aparición polvo de plomo, una exposición laboral en industrias o actividades en las que se utilice este metal, los efectos que causa el Pb son los mismos sea cual sea la fuente de exposición. (ATSDR, 2016)

El plomo puede afectar a casi todos los órganos y sistemas en el cuerpo siendo el sistema más sensible el sistema nervioso, en niños como adultos, se produce también la debilidad en los dedos, las muñecas o los tobillos. La exposición al plomo ocasiona un ligero incremento de la presión sanguínea, en personas de edad media, de edad avanzada, y puede causar anemia. La exposición a niveles altos de plomo puede producir daños en el cerebro y los riñones y causar la muerte. (ATSDR, 2016)

En mujeres embarazadas, la exposición a niveles altos de plomo puede producir pérdida del embarazo. En hombres, la exposición a altos niveles puede alterar la producción de espermatozoides. No hay evidencia definitiva de que el plomo produzca cáncer en seres humanos. Algunas ratas y ratones que recibieron dosis altas de un cierto tipo de compuesto de plomo desarrollaron tumores en el riñón. (ATSDR, 2016)

El DDHS ha determinado que el Pb y los compuestos de plomo son carcinogénicos en humanos. La EPA ha determinado que el plomo es probablemente carcinogénico en humanos. La IARC determinó que el Pb inorgánico posiblemente es carcinogénico en humanos y que no hay suficiente información para determinar si los compuestos orgánicos de Pb pueden producir

cáncer en humanos. La EPA limita la cantidad de plomo en el agua potable a 15 µg por litro. El CDC considera que un nivel de Pb de 10 µg/dL en niños es un nivel de preocupación. (ATSDR, 2016)

Una dosis mortal de Pb absorbido es de 0,5. Su acumulación y toxicidad se ven notables al absorber cantidades mayores a 0,5 mg/día. El plomo posee una vida media de 32 años en los huesos y 7 años en el riñón. El límite permisible de plomo en el aire es de 0,15mg/m<sup>3</sup> y límite permisible en los alimentos es de 2,56mg/Kg. (Robertson & Dreisbach, 1988)

### **1.5.5 Talio**

El talio es metal que estado puro presenta una coloración blanca azulina, se distribuye en la corteza terrestre en pequeñas cantidades, antiguamente el talio se originó como un subproducto producto de la fundición de otros metales, desde el 1984 no se ha producido en EE. UU. En la actualidad, todo el talio proviene de importación y de reservas de talio. En forma pura, el talio no tiene olor ni sabor alguno. (ATSDR, 2016)

También se puede encontrar combinado con otras sustancias tales como bromo, cloro, yodo y flúor. En combinaciones tiene una apariencia incolora a blanca o amarilla. La utilización del talio en la fabricación de artículos electrónicos, interruptores y terminales, para la industria de semiconductores. También es usado limitadamente, en la fabricación de vidrios especiales y en ciertos procedimientos médicos. (ATSDR, 2016)

#### **1.5.5.1 Movilidad y bioacumulación**

El Talio es soluble en agua por lo que puede propagarse en aguas subterráneas cuando los suelos contienen grandes cantidades de este. El Talio también puede esparcirse mediante la absorción del lodo. El Talio resulta ser tóxico para las ratas por lo que se usa como raticida. Los efectos negativos del talio sobre las plantas indican el cambio de coloración en las hojas y la disminución de su desarrollo. En Mamíferos los conejos, son susceptibles a los efectos tóxicos del Talio (ATSDR, 2016)

El talio ingresa al medio ambiente al quemar carbón y desde fundiciones en estos dos procesos el talio es un contaminante de la materia cruda, puede permanecer por largos periodos de tiempo sin degradarse en el aire, agua o suelo, ciertos compuestos de talio se eliminan a la atmósfera son a través por la lluvia, siendo absorbido por plantas de esta manera ingresa a la cadena alimentaria, se acumula en peces y mariscos. (ATSDR, 2016)



#### *1.5.5.2 Fuentes de exposición*

Una de las formas de exposición es el consumo de alimentos contaminados, por inhalación de en actividades industriales donde se usa talio, a través del consumo de cigarrillos, por exposición si se habita en lugares cercanos donde hay desechos que contienen este metal, el estar en contacto con suelos contaminados, respirando niveles bajos de talio en el aire y el agua. La exposición a altos niveles de este metal ocasiona efectos perniciosos para la salud. (ATSDR, 2016)

En un estudio de trabajadores que estuvieron exposición durante años mediante inhalación observándose efectos sobre el sistema nervioso con adormecimiento de los dedos de las manos y los pies. Individuos que ingirieron grandes cantidades de talio durante un período corto presentaron vómitos, diarrea, caída temporal del cabello y efectos en el sistema nervioso, los pulmones, el corazón, el hígado y los riñones. (ATSDR, 2016)

No existen estudios que demuestren que el Talio produzca cáncer, Ni el Departamento de Salud y Servicios Humanos (DHHS), ni la IARC, ni la EPA han clasificado al talio en cuanto a su carcinogenicidad en seres humanos, tampoco se dispone de información de que el talio en los seres humanos o en animales haya producido efectos carcinogénicos por inhalación, ingerir o tocar talio. (ATSDR, 2016)

EPA ha determinado indicadores para la calidad del agua de 13 ppb en las aguas de los alrededores para proteger a los humanos de los efectos nocivos de beber agua y consumir alimentos que contienen Tl. La Administración de Seguridad y Salud Ocupacional ha establecido un límite de exposición ocupacional de 0.1 mg de talio/m<sup>3</sup>/piel para un día laboral de 8 horas durante una semana de trabajo de 40 horas. (ATSDR, 2016)

#### *1.5.6 Cromo*

El cromo es un elemento que se encuentra en estado natural lo encontramos en rocas, animales, plantas y el suelo. Se encuentra en forma líquida, sólida o en forma de gas. Los compuestos que tienen cromo no poseen sabor u olor característico. El cromo metálico cromo (0), es utilizado en la elaboración fabricación de acero. El cromo (VI) y el cromo (III) se utilizan en procesos de cromado, como colorantes y pigmentos, también se usan para curtir cuero y conservación de madera. (ATSDR, 2016)

#### *1.5.6.1 Movilidad y bioacumulación*

El cromo se puede encontrar en el aire, el suelo y el agua luego de ser liberado durante su manufactura o la manufactura, uso o disposición de productos de cromo. El cromo generalmente no permanece en la atmósfera, sino que se deposita en el suelo y el agua. El cromo puede transformarse fácilmente de una forma a otra en el agua y el suelo, dependiendo de las condiciones presentes. Los peces no acumulan en el cuerpo mucho cromo del agua. (ATSDR, 2016)

#### *1.5.6.2 Fuentes de exposición*

Por ingestión de alimentos contaminados con cromo (III), por inhalación del aire contaminado en actividades industriales a través de contacto con la piel durante su uso en el trabajo, por ingestión de agua de pozo contaminada, por exposición por contacto al habitar en cercanías de vertidos de residuos peligrosos no controlados que contienen cromo o de las industrias que utilizan cromo para su productividad. (ATSDR, 2016)

El cromo (III) es un elemento nutritivo esencial cuya función es ayudar al organismo a utilizar azúcares, proteínas y grasas, la inhalación de niveles altos de cromo (VI) es causa de irritación de la parte interna de la nariz, secreción nasal, úlceras nasales y de dificultades respiratorias como asma, tos, falta de aliento o respiración jadeada, los efectos del cromo (VI) ocurren cuando hay concentraciones mucho más reducidas que los del cromo (III). (ATSDR, 2016)

Los efectos que se han observado en animales que han ingerido compuestos de cromo (VI) son irritación y úlceras estomacales, el intestino delgado y anemia. Los compuestos de cromo (III) resultan ser menos tóxicos y no parecen causar estos malestares. Sin embargo animales machos que han sido expuestos al cromo (VI) presentaron daños de los espermatozoides y sistema reproductivo. El contacto de la piel con ciertos compuestos de cromo (VI) produce úlceras en la piel. (ATSDR, 2016)

Algunas personas presentan sensibilidad al cromo (VI) y cromo (III), así también es frecuente la aparición alergias que son manifestadas a través de enrojecimiento e hinchazón grave de la piel. El Departamento de Salud y Servicios Humanos, la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer y la EPA determinaron que los compuestos que contienen cromo (VI) son carcinogénicos para los seres humanos. (ATSDR, 2016)

La EPA ha establecido un nivel de contaminación máximo de 0.1 mg/L para la cantidad total de cromo presente en el agua potable. La FDA asienta que los niveles de cromo en el agua en

botella no sobrepasaran de 0.1 mg/L. La Administración de Salud y Seguridad Ocupacional determinó límites legales en el aire del trabajo de 0.005 mg/m<sup>3</sup> para cromo (VI), 0.5 mg/m<sup>3</sup> para cromo (III) y 1.0 mg/m<sup>3</sup> para cromo (0) como medias durante una jornada diaria de 8 horas. (ATSDR, 2016)

El límite de ingesta estimada es de 50 a 200 mg/día. La toxicidad de este metal dependerá de sus valencias, así se establece que el Cr III no tiene efectos tóxicos a diferencia que el Cr VI es causante de irritación y corrosión. (INHEM, 1992)

### ***1.5.7 Plata***

La plata es una sustancia química que se encuentra en la naturaleza. En el ambiente generalmente está en combinación con otras sustancias químicas como sulfuro, cloruro y nitrato. La plata en estado puro presenta una coloración "plateada", sin embargo el nitrato de plata y el cloruro de plata son polvos de color blanquecino, el sulfuro de plata y el óxido de plata presentación una coloración de gris oscuro a negro. (ATSDR, 2016)

La plata es un producto secundario obtenido en la recuperación de minerales de cobre, plomo, cinc y de oro. Este metal se utiliza para hacer fotografías, en aleaciones de alta temperatura y soldaduras, como desinfectante de agua potable y agua en piscinas, como agente antibacterial, también se utiliza en la industria farmacéutica con el uso de la plata en la elaboración pastillas y goma de mascar para ayudar a personas a dejar de fumar. (ATSDR, 2016)

#### ***1.5.7.1 Movilidad y bioacumulación***

La plata puede ser liberarse hacia la atmósfera y al agua mediante de procesos naturales como es el caso de la erosión de rocas, actividades antropológicas como el procesamiento de minerales, manufactura de cemento, la quema de combustible fósil, en revelado fotográfico, la lluvia arrastra a la plata del suelo hasta aguas subterráneas, no se concentra en animales acuáticos, sin embargo se ha encontrado pequeñas cantidades en las agallas de los peces, y en la piel de los otros animales (ATSDR, 2016)

#### ***1.5.7.2 Fuentes de exposición***

Por inhalación en pequeñas cantidades en el aire, por ingestión en alimentos o en agua potable, por contacto la exposición de actividades como el revelado fotográfico, por contacto e inhalación en actividades artesanales e industriales en elaboración de joyas y de utensilios, al ser

consumidas como tratamiento para ciertas adicciones, cuando hay una exposición prolongada a altos niveles se produce una condición llamada argiria, que es coloración azul-grisáceo de la piel y otros tejidos. (ATSDR, 2016)

Las exposiciones a niveles bajos de plata también pueden producir depósitos de plata en la piel y en otras partes del cuerpo, pero esta exposición no es nociva. La argiria es una condición permanente y resulta ser un problema cosmético que no daña a la salud. La exposición a niveles altos de plata en la atmósfera ha ocasionado problemas respiratorios, irritación de la garganta y pulmones, además dolores de estómago. (ATSDR, 2016)

En algunos individuos el contacto con piel causa alergias leves, como salpullido, hinchazón e inflamación. Estudios en animales han demostrado que al ingerir plata produce depósitos de plata en la piel. Un estudio en ratones señaló que los animales que fueron expuestos a este metal en el agua de beber tenían menor actividad que los animales que no se expusieron. No se registran efectos sobre la reproducción o el desarrollo en seres humanos. (ATSDR, 2016)

No existen investigaciones para determinar si la plata ocasiona cáncer en seres humanos. La EPA ha determinado que la plata no es clasificable en cuanto a carcinogenicidad en seres humanos. Pero cabe señalar que algunos compuestos de plata como el Nitrato de plata es mortal ya que al consumir o exponerse cantidades superiores a 2 g de nitrato de este metal causa el deceso en los seres humanos (ATSDR, 2016)

La EPA recomienda que la concentración de la plata en el agua potable no exceda 0.10 mg/L para evitar el decoloración de la piel que puede ocurrir. La EPA solicita notificación de derrames o liberaciones accidentales de 1,000 libras o más de plata al ambiente. La Administración de Seguridad y Salud Ocupacional señala que la cantidad de plata en el aire del trabajo a 0.01 mg/m<sup>3</sup> durante una jornada de 8 horas diarias, 40 horas semanales. (ATSDR, 2016)

### ***1.5.8 Antimonio***

El antimonio es un metal que tiene una coloración blanquecina plateada abunda en la corteza terrestre. Los minerales de Sb se minan y para luego combinarlos con otros metales para formar aleaciones de antimonio, o se combinan con oxígeno para formar óxido de antimonio. Sin embargo, existen compañías en EE. UU. que producen antimonio como subproducto de la fundición del plomo y de otros metales. (ATSDR, 2016)

El antimonio es utilizado en combinaciones porque es muy quebradizo, al formar aleaciones pero se usa en baterías de automóviles, soldadura, láminas y cañerías metálicas, rodamientos, moldes de fundición y peltre. El óxido de antimonio se agrega a tejidos y plásticos para proporcionarles resistencia al fuego, es utilizado también en pinturas, cerámicas y fuegos artificiales, y como esmalte para plásticos, metal y vidrio. (ATSDR, 2016)

#### *1.5.8.1 Movilidad y bioacumulación*

El antimonio cuando se libera hacia el medio ambiente desde fuentes naturales e industriales, puede perdurar en el aire al adherirse a partículas pequeñas por varios días, el antimonio en el aire es depositado en el suelo, en donde se adhiere fijamente a partículas contenedoras de hierro, manganeso o aluminio, El antimonio está presente en bajos niveles en algunos ríos, lagos y arroyos. (ATSDR, 2016)

#### *1.5.8.2 Fuentes de exposición*

El antimonio esta de forma libre en la naturaleza lo que ocasiona que la población este expuesta constantemente, los bajos niveles de esta sustancia especialmente en los alimentos, el agua potable y el aire. El Sb está en el aire cuando hay industrias que lo procesan o liberan, dentro de estas tenemos: fundiciones, plantas donde se quema carbón, y donde se incinera basura. En áreas contaminadas que contienen altos niveles de Sb, puede encontrarse en el aire, el agua y el suelo. (ATSDR, 2016)

En las fábricas o minas la exposición de trabajadores generalmente están expuestos a niveles de antimonio más altos, esta exposición produce variedad de efectos perniciosos para la salud. El Respirar altos niveles de antimonio durante largo tiempo irrita los ojos, los pulmones, y ocasiona perturbaciones del corazón, de los pulmones, dolores estomacales, diarrea, vómitos y úlceras estomacales. (ATSDR, 2016)

Animales expuestos en periodos cortos pero a altas concentraciones de antimonio fallecieron. Los animales que inhalaban altos niveles sufrieron daños a los pulmones, el corazón, el hígado y los riñones. Los animales que respiraron niveles muy bajos de antimonio por largo tiempo sufrieron irritación a los ojos, caída del pelo, daño al pulmón y trastornos al corazón. Se determinaron efectos sobre la fertilidad en ratas que respiraron niveles muy altos de antimonio por unos meses. (ATSDR, 2016)

La ingestión de grandes cantidades de antimonio ocasiona vómitos, pero no se determina que otros efectos pueden presentarse por la ingestión de antimonio. Los estudios periodos largos de tiempo en animales señalaron lesiones del hígado y alteraciones en la sangre, la exposición puede irritar la piel, se puede obtener beneficios cuando es utilizado en medicina para tratar infecciones parasitarias. (ATSDR, 2016)

Tanto el Departamento de Salud y Servicios Humanos (DHHS), la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer ni la EPA no han determinado que el antimonio sea cancerígeno para los seres humanos, pese a que existen estudios en ratas que determinaron que al respirar altos niveles de antimonio ocasionaron cáncer del pulmón. No hay estudios disponibles en seres humanos, por lo tanto no se determina si el antimonio produce cáncer en humanos. (ATSDR, 2016)

La EPA permite una concentración de 0.006 ppm en agua potable. La EPA solicita notificación de descargas o derrames al medio ambiente de 5,000 libras o más de antimonio que se hayan liberado al ambiente. La Administración de Seguridad y Salud Ocupacional límite máximo en el trabajo de 0.5 miligramos de antimonio por metro cúbico de aire (0.5 mg/m<sup>3</sup>) durante una jornada de 8 horas diarias, 40 horas semanales. (ATSDR, 2016)

### ***1.5.9 Selenio***

El selenio es un elemento mineral que abunda en la naturaleza en la mayoría de las rocas y suelos. En forma pura se lo encuentra como cristales hexagonales de coloración gris metálicos a negros, pero en la naturaleza habitualmente se combina con sulfuro o con minerales de plata, cobre, plomo y níquel. La mayor parte del selenio que es procesado se utiliza en la industria electrónica, pero también se utiliza como suplemento nutritivo. (ATSDR, 2016)

Se utiliza también en la industria del vidrio, como componente de pigmentos para plásticos, pinturas, esmaltes, tinturas y caucho, otra aplicación es en la preparación de medicamentos, como suplemento nutricional en alimentos de animales, en la elaboración de pesticidas, en la producción de caucho, como ingrediente en champús para combatir la caspa, y como componente de fungicidas. El selenio radiactivo es usado en medicina para hacer diagnósticos. (ATSDR, 2016)

#### ***1.5.9.1 Movilidad y bioacumulación***

El selenio está en forma libre en la naturaleza se libera al ambiente desde procesos naturales y de manufactura. El polvo de Se puede entrar al aire al quemar carbón y petróleo, se deposita en

la tierra y en el agua al ingresar desde las rocas, suelo y de residuos agrícolas e industriales. Las formas de Se insolubles persistirán en el suelo, pero las solubles son móviles y entran en aguas superficiales. El Selenio puede acumularse en la cadena alimentaria. (ATSDR, 2016)

#### *1.5.9.2 Fuentes de exposición*

La población general está expuesta a niveles muy bajos de selenio en el aire los alimentos y el agua, la ingesta diaria proviene de los alimentos, personas que están en contacto trabaja o vive cerca de industrias donde el selenio se produce, procesa o se convierte en productos comerciales puede estar expuesta a niveles más altos de selenio en el aire. El habitar en sitios cercanos de residuos peligrosos o de plantas que queman carbón. (ATSDR, 2016)

El selenio tiene efectos beneficiosos y perjudiciales. El selenio se requiera en bajas dosis para mantener una excelente salud, pero cuando hay exposición a altos niveles puede producir efectos contraproducentes sobre la salud. La exposición breve a altas concentraciones de selenio puede ocasionar náusea, vómitos y diarrea. La exposición crónica a altas concentraciones de compuestos de selenio puede producir una enfermedad selenosis. (ATSDR, 2016)

Los signos y síntomas principales de la selenosis son pérdida del cabello, uñas frágiles y anomalías neurológicas (adormecimiento y otras sensaciones de hormigueo en las extremidades) Las exposiciones breves a altos niveles de selenio elemental o de dióxido de selenio en el aire generan irritaciones de las vías respiratorias, bronquitis, dificultad para respirar y dolores de estómago. (ATSDR, 2016)

Las exposiciones prolongadas en el aire causan irritación de las vías respiratorias, espasmos bronquiales y tos. Los estudios en animales determinan que niveles muy altos de selenio afectan en la producción de espermatozoides y el ciclo reproductivo de las hembras. No sabemos si ocurrirían efectos similares en seres humanos, estudios en animales de laboratorio y en seres humanos demuestran que la mayor parte de los compuestos de selenio no producen cáncer. (ATSDR, 2016)

Los estudios en seres humanos proponen que niveles de selenio en la dieta más bajos que lo normal pueden incrementar el riesgo de desarrollar cáncer. La Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer ha determinado que el selenio y los compuestos de selenio no son clasificables en cuanto a carcinogenicidad en seres humanos. La EPA ha determinado que una forma específica de selenio, el sulfuro de selenio, es probablemente carcinogénica en seres humanos. (ATSDR, 2016)

La EPA limita la cantidad de selenio que es permitida en suministros de agua potable a 50 partes de selenio total por billón de partes de agua (50 ppb). La Administración de Seguridad y Salud Ocupacional de Estados Unidos (OSHA, por sus siglas en inglés) implanta un límite de 0.2 miligramos de selenio por metro cúbico de aire (0.2 mg/m<sup>3</sup>) en el trabajo durante una jornada de 8 horas diarias. (ATSDR, 2016)

### ***1.5.10 Cobre***

El cobre es un metal presente de forma natural en el ambiente lo encontramos en rocas, el suelo, el agua y el aire. El cobre es un elemento fundamental para plantas y animales (incluso seres humanos). Por lo tanto, las plantas y los animales requieren alimentos ricos en cobre, o del aire que respiran. El cobre es utilizado para la fabricación de diversos productos, como por ejemplo, alambres, cañerías y láminas de metal. (ATSDR, 2016)

Algunas aplicaciones de los compuestos de cobre las encontramos en la agricultura, los que se utilizan como plaguicidas para el tratamiento enfermedades de las plantas, como el mohos, para tratar agua, se usan como pigmentos, también en soluciones galvanoplásticas, como conservante de la putrefacción de la madera, en celdas primarias, como mordentes en teñido, y como catalizadores, como conservantes de alimentos, cueros y telas. (ATSDR, 2016)

#### ***1.5.10.1 Movilidad y bioacumulación***

El cobre es liberado de las industrias mineras, de actividades agrícolas y manufactureras, por la liberación de aguas residuales a ríos y lagos. El cobre también es liberado desde fuentes naturales como volcanes, a través del polvo se transporta por el viento, por la descomposición de vegetación y a través de incendios forestales. El cobre liberado al ambiente se adhiere a partículas de materia orgánica, arcilla, tierra o arena. (ATSDR, 2016)

El cobre no se degrada en el medio ambiente, los compuestos de cobre se degradan y se dirigen al aire, agua o alimentos, se puede acumular en plantas y animales cuando este es encontrado en suelos, tiene una influencia negativa en la actividad de microbiana y lombrices de tierra, los animales y plantas pueden absorber concentraciones, Las ovejas sufren envenenamiento con Cobre. (ATSDR, 2016)



#### *1.5.10.2 Fuentes de exposición*

Por inhalación de aire con cobre, al ingerir agua pues el agua potable puede presentar niveles altos de cobre tiene cañerías de cobre y agua con alta acidez, al ingerir alimentos, por contacto de la piel con cobre. Los lagos y ríos que se tratan con compuestos de cobre para control de algas o que reciben agua de refrigeración de plantas de energía pueden tener altas cantidades de cobre. Los suelos también pueden tener niveles altos de cobre, especialmente cerca de fundiciones de cobre. (ATSDR, 2016)

Al ingerir fungicidas que contienen cobre, por exposición a mina de cobre o de una fábrica de latón o bronce, si está en contacto o en cercanía de minas. La EPA ha determinado que el cobre no es clasificable en cuanto si causante de cáncer en seres humanos, La EPA define que el agua potable no posea más de 1.3 mg/L. La Administración de Seguridad y Salud Ocupacional define límites para vapores de cobre en el aire (0.1 mg/m<sup>3</sup>) y 1 mg/m<sup>3</sup> para polvos de cobre. (ATSDR, 2016)

#### *1.5.11 Manganeso*

El manganeso es un metal que se encuentra en forma natural en algunas tipos de rocas. El manganeso puro posee una coloración plateada, se encuentra combinado con azufre, cloro o con oxígeno. El manganeso está presente en la mayor parte de los alimentos, se utiliza en la fabricación de acero para mejorar su dureza, rigidez y solidez. También se puede usar como aditivo en la gasolina para optimizar el octanaje de la gasolina. (ATSDR, 2016)

##### *1.5.11.1 Movilidad y bioacumulación*

El manganeso se libera al aire y agua durante la manufactura, la utilización o disposición de productos a base de Mn, no puede ser degradado en el ambiente, en el agua se adhiere a partículas o se deposita en el sedimento, químicamente el tipo de suelo determinan la rapidez en la movilidad y la cantidad que se retiene en el suelo. El aditivo para la gasolina que contiene Mn se degrada inmediatamente en el ambiente cuando está expuesto a la luz, liberando Mn. (ATSDR, 2016)

##### *1.5.11.2 Fuentes de exposición*

Por ingestión de alimentos como granos, habas y nueces o suplementos dietéticos, las personas que beben té ingieren cantidades altas, la exposición en el trabajo como soldadura, trabajar en

una fábricas donde se ocupa acero. Niveles bajos de manganeso son detectados rutinariamente en aguas subterráneas, agua potable y en el suelo. Ingerir agua que tiene manganeso o nadar o bañarse en agua que contiene Mn pueden exponer a niveles bajos de esta sustancia (ATSDR, 2016)

El manganeso es un nutriente esencial y necesario la ingestión de una pequeña dosis habitualmente para conservarse saludablemente. La exposición en trabajadores a niveles altos de manganeso afectan al sistema nervioso, las alteraciones indican modificaciones del comportamiento y en movimientos letárgicos, muchas veces se pierde la relación de los movimientos. (ATSDR, 2016)

La exposición a niveles bajos en trabajadores provoca alteraciones no tan graves del sistema nervioso, tales como letargia en la movilidad de manos, una exposición a niveles muy altos de Mn en el aire producen irritación pulmonar y efectos actividad reproductiva. La ingestión de este metal en de animales a cantidades altas de Mn provoca modificaciones del sistema nervioso y reproductivo. (ATSDR, 2016)

La EPA determinó que no hay suficiente información probada para determinar si las excesivas cantidades manganeso pueden generar cáncer. La EPA ha concluido que la exposición en concentraciones de 1 mg/L de Mn en el agua potabilizada durante diez días no ocasionará efectos adversos a los niños, la exposición de por vida con concentraciones de 0.3 mg/L de Mn en el agua potabilizada no originará efectos desfavorables. (ATSDR, 2016)

### ***1.5.12 Vanadio***

Es un metal presente en la naturaleza de coloración es blanco-grisácea, se encuentra en formando cristales. El Va puro no presenta olor, se combina con O, Na, S ó Cl. El Va y los compuestos de este metal están en la corteza terrestre en rocas, en minerales de Fe y en depósitos de petróleo crudo, se usa en la fabricación de resortes y herramientas de acero, en cerámicas, como catalizador, y en la producción de imanes superconductores. El  $V_2(SO_4)_3$  y el  $NaVO_3$  de sodio se usan como suplementos dietéticos. (ATSDR, 2016)

#### ***1.5.12.1 Movilidad y bioacumulación***

El vanadio ingresa al ambiente desde fuentes naturales y por la combustión de combustibles de petróleo. El vanadio no se disuelve totalmente en agua, se combina con otros elementos y partículas además se adhiere fuertemente al suelo y a sedimentos. Se han registrado niveles

bajos de vanadio en plantas, pero no hay probabilidad que se acumule en los tejidos de animales, por lo que no es bioacumulador ni se biomagnifica (ATSDR, 2016)

#### *1.5.12.2 Fuentes de exposición*

Por la ingestión de alimentos que contienen Va, niveles más altos se encuentran en mariscos, se encuentra en algunos suplementos dietéticos. Por inhalación de aire cerca de una industria que usa petróleo o carbón estas industrias liberan  $V_2O_5$  al aire, por exposición laboral en industrias que procesan vanadio o que fabrican productos que lo contienen. Por inhalación de aire contaminado o por beber contaminada cerca de sitios de desechos o vertederos. (ATSDR, 2016)

El cuerpo no posee la capacidad de absorber vanadio se forma sencilla a través del estómago, los intestinos o la piel. Cuando se expone a niveles altos de vanadio en el aire puede deteriorar los pulmones, las personas que ingieren vanadio han presentado diarrea leve y calambres en el estómago. Los animales que ingieren vanadio presentan disminución del número de glóbulos rojos, incremento de la presión sanguínea y leves efectos neurológicos. (ATSDR, 2016)

La IARC ha clasificado al  $V_2O_5$  como posible carcinogénico en seres humanos basado en evidencia de cáncer del pulmón en ratones expuestos al vanadio. El Departamento de Salud y Servicios Humanos (DHHS), IARC y la EPA no han clasificado al vanadio en cuanto a carcinogenicidad en seres humanos. Según OSHA el límite de exposición de  $0.5 \text{ mg/m}^3$  para polvo de pentóxido de vanadio y  $0.1 \text{ mg/m}^3$  para vapores de  $V_2O_5$  en el aire del trabajo. (ATSDR, 2016)

#### *1.5.13 Estaño*

El estaño es un elemento presente en la corteza terrestre, es un metal maleable de coloración blanco-plateado, es insoluble en agua. Se encuentra en el latón, bronce, peltre y en algunos materiales para soldadura. El Sn metálico es utilizado para el revestimiento de latas de alimentos, bebidas y aerosoles, puede combinarse con otras sustancias para formar compuestos, las combinaciones con sustancias como el Cl, S u O, forman compuestos inorgánicos de Sn (ATSDR, 2016)

Se usa también en artículos de aseo personal, aditivos para alimentos y colorantes. El Sn se combina con carbono para formar compuestos orgánicos los mismos que se usan para la fabricación de plásticos, envases de alimentos, cañerías plásticas, pesticidas, pinturas. El estaño metálico y los compuestos inorgánicos y orgánicos se hallan en el aire, el agua y el suelo cerca

de lugares donde están naturalmente en las rocas, donde hay minas o donde se manufacturan (ATSDR, 2016)

#### *1.5.13.1 Movilidad y bioacumulación*

El estaño se libera en el ambiente por procesos naturales y por actividades antropogénicas, como la minería, la combustión de petróleo y carbón, la producción y el uso de compuestos de estaño. El estaño metálico que se libera al ambiente inmediatamente forma compuestos inorgánicos que no pueden ser destruidos en el ambiente, sólo puede cambiar de forma. Los compuestos orgánicos de estaño pueden ser degradados a compuestos inorgánicos por acción de la luz solar o bacterias. (ATSDR, 2016)

En la atmósfera, el estaño se encuentra en forma de gas o vapor y se adhiere a partículas de polvo. Las mismas que se movilizan por acción del viento o a su vez son removidas del aire por la lluvia. El estaño inorgánico se une al suelo y a sedimentos en el agua. Algunos de los compuestos inorgánicos de estaño se disuelven en agua. Los compuestos orgánicos de estaño se unen al sedimento en el suelo y a partículas en el agua. (ATSDR, 2016)

El tiempo de permanencia en la naturaleza de compuestos orgánicos e inorgánicos de estaño varían así en el agua y en el suelo es diferente para cada compuesto. La permanencia de estos compuestos en el agua ser desde días hasta meses y para el caso de los suelos puede permanecer por años. Los compuestos orgánicos de estaño se pueden acumular en peces, en otros animales y en plantas. (ATSDR, 2016)

#### *1.5.13.2 Fuentes de exposición*

Por ingestión de alimentos, o por tomar bebidas de latas revestidas con Sn (en la actualidad más del 90% de las latas revestidas con Sn se protegen con laca). Por inhalación de aire o por contacto con polvo que contiene estaño, la exposición a ciertos compuestos orgánicos de Sn puede ocurrir al ingerir mariscos o a través de contacto con productos domésticos que contienen estos compuestos estaño (ATSDR, 2016)

El estaño metálico no es muy tóxico porque es poco absorbido en el tracto gastrointestinal, en los seres humanos y animales la ingestión de grandes cantidades de compuestos inorgánicos de estaño puede producir dolores de estomacales, anemia, y alteraciones del hígado y los riñones. Al inhalar o ingerir algunos compuestos orgánicos de estaño interfieren con el funcionamiento del sistema nervioso y del cerebro, inclusive puede causar la muerte. (ATSDR, 2016)

Otros compuestos orgánicos de estaño alteran el sistema inmunitario en animales, pero no se ha determinado en seres humanos, otros estudios señalan que en animales se ve afectada la reproducción esto tampoco se ha comprobado en seres humanos. Cuando se produce el contacto con piel y ojos puede provocar irritaciones de piel y ojos. No hay evidencia de que el estaño o los compuestos de estaño produzcan cáncer en seres humanos. (ATSDR, 2016)

Los estudios de compuestos inorgánicos de estaño en animales han sido negativos. Estudios en ratas y otro en ratones demostraron que un compuesto orgánico el hidróxido de trifenilestaño, puede producir cáncer luego de exposición prolongada por ingestión. El Departamento de Salud y Servicios Humanos (DHHS), la IARC y la EPA no determinan al estaño metálico ni a los compuestos inorgánicos de estaño en cuanto a carcinogenicidad. (ATSDR, 2016)

La Administración de Seguridad y Salud Ocupacional determinó un límite de 0.1 mg/m<sup>3</sup> para compuestos orgánicos de estaño en el aire del trabajo y de 2.0 mg/m<sup>3</sup> para compuestos inorgánicos de Sn, exceptuado los óxidos. La FDA dispone el uso de algunos compuestos orgánicos de Sn en materiales para revestimiento y empaque de alimentos. La FDA determinó límites para el uso de compuestos inorgánicos de Sn, el cloruro de estaño, como agregado en alimentos. (ATSDR, 2016)

#### ***1.5.14 Níquel***

El níquel es un elemento que se encuentra de manera abundante y natural. El níquel puro es un metal que presenta una coloración blanco-plateada que se combina con otros metales, como el Fe, Cu, Cr y Zn para establecer aleaciones, las mismas que son utilizadas en la fabricación de monedas, joyas, y otros artículos como válvulas e intercambiadores de calor, pero el níquel es utilizado mayoritariamente en la fabricar acero inoxidable. (ATSDR, 2016)

El níquel se combina con otros elementos, como Cl, S y O para formar compuestos de níquel los que se disuelven en agua y presentan una coloración verdosa, los usos de estos compuestos son en niquelados, para colorear cerámicas, en la fabricación de baterías, como catalizadores. El níquel se encuentra en todos los suelos y se libera por emisiones volcánicas, también se halla en meteoritos y en el suelo de los océanos, sus compuestos no tienen olor ni sabor característicos. (ATSDR, 2016)

#### *1.5.14.1 Movilidad y bioacumulación*

Se libera a la atmósfera por industrias que manufacturan o usan Ni, sus aleaciones o compuestos, también se libera por plantas que queman combustible o carbón, y por incineradores de basura, El Ni liberado en desagües de las industrias acaba en el suelo o en sedimentos, en donde se adhiere fuertemente a partículas que contienen Fe o Mn, este metal no se acumula en peces o en otros animales usados como alimentos, no se biomagnifica (ATSDR, 2016)

#### *1.5.14.2 Fuentes de exposición*

Al ingerir alimentos contaminados con níquel, por contacto de la piel con el suelo, agua de baño o ducha o metales que contienen níquel, como también al tocar monedas o joyas que contienen este metal, por ingestión de agua que contiene pequeñas cantidades de Ni, por inhalación de aire o por consumo de cigarrillo, otro de los efectos más adversos de la exposición de Níquel es la alergia. (ATSDR, 2016)

Del 10% al 15% de la población presenta sensibilidad a este metal a través del contacto directo y extenso de la piel con joyas u otros artículos que contienen níquel, se produce salpullido en la parte que ha sido expuesta, ciertas personas son sensibilidad sufren ataques de asma posterior a la exposición de Ni. Algunas personas que se exponen en trabajos en refinerías de Ni o plantas que trabajan con níquel presentan bronquitis crónica y alteraciones del pulmón. (ATSDR, 2016)

Al ingerir o beber grandes cantidades de Ni se produce la enfermedad del pulmón en perros y ratas y afectación estomacal, así también se ven comprometidos la sangre, el hígado, los riñones y el sistema inmunitario, inclusive se afecta la reproducción y el desarrollo en ratas y ratones. Por inhalación de polvo con altos niveles de compuestos de Ni en refinerías o en plantas de procesamiento se observó un incremento de cáncer de los pulmones y de los senos nasales. (ATSDR, 2016)

El Departamento de Salud y Servicios Humanos (DHHS) determinó que el níquel metálico es carcinogénico y que los compuestos de níquel son sustancias reconocidas como carcinogénicas. La IARC, determinó que algunos compuestos de níquel son carcinogénicos en seres humanos y que el níquel metálico es probablemente carcinogénico en seres humanos. La EPA señaló que los polvos de refinerías de níquel y el subsulfuro de níquel son carcinogénicos en seres humanos. (ATSDR, 2016)

La EPA recomienda que el agua potable contenga no supere (0.1 mg/L). Para la protección a los trabajadores, La Administración de Seguridad y Salud Ocupacional de Estados Unidos. (OSHA, por sus siglas en inglés) ha determinado un límite de 1 miligramo de níquel por metro cúbico de aire (1 mg/m<sup>3</sup>) para níquel metálico y compuestos formados por níquel en el aire del trabajo durante jornadas de 8 horas diarias, 40 horas a la semana. (ATSDR, 2016)

### ***1.5.15 Cobalto***

El cobalto es un elemento que se encuentra en la naturaleza las rocas, el suelo, el agua, plantas y animales, es usado en producción de aleaciones en la manufactura de motores de aviones, imanes, herramientas para triturar y cortar y articulaciones artificiales para la rodilla y la cadera. Los compuestos de cobalto se usan para tinturar vidrio, cerámicas y pinturas y como secador de esmaltes y pinturas para porcelana. (ATSDR, 2016)

El cobalto radiactivo posee utilidades lucrativas en el comercio y ámbito médico, el <sup>60</sup>Co se utiliza para esterilización de equipos médicos y artículos de consumo, en radioterapia, para la elaboración de plásticos y para la irradiación de alimentos. El <sup>57</sup>Co se usa ampliamente en investigaciones clínicas y científicas. Se demora alrededor de 5.27 años para que la mitad del <sup>60</sup>Co emita su radiación y alrededor de 272 días para que el <sup>57</sup>Co emita radiación (vida-media). (ATSDR, 2016)

#### ***1.5.15.1 Movilidad y bioacumulación***

El cobalto ingresa al ambiente desde fuentes naturales y al quemarse carbón o combustible o durante la elaboración de aleaciones de Co, en el aire se relacionará con partículas que se depositarán en el suelo en un corto tiempo, cuando se libera en el agua o en suelo se unirá a partículas. Ciertos compuestos de Co se pueden disolverse en el agua, no puede destruirse en el ambiente, la decadencia radiactiva reduce la cantidad de cobalto radiactivo en el ambiente. (ATSDR, 2016)

Las plantas acumulan cantidades muy pequeñas de cobalto del suelo, de manera especial en sus partes comestibles como en frutas, los granos y las semillas., pasa a la cadena trófica por la ingestión de plantas que los animales requieren. Sin embargo el cobalto no se biomagnifica. El cobalto es un elemento fundamental para la salud y este motivo es de importancia contar con las cantidades necesarias de cobalto. (ATSDR, 2016)

### 1.5.15.2 Fuentes de exposición

Los alimentos y el agua potable las principales y más frecuentes fuentes de exposición al cobalto. Por inhalación de aire con partículas de cobalto, por exposición laboral en industrias que fabrican o que utilicen herramientas para cortar o triturar materiales, en otras industrias donde se mina, o donde hay fundición, refinamiento o hay procesamiento de cobalto metálico o minerales de cobalto, o en la elaboración de productos que tengan aleaciones de cobalto o usan cobalto. (ATSDR, 2016)

La población extraordinariamente se expone al cobalto radiactivo, salvo que un individuo reciba tratamiento con radiación. El cobalto presenta beneficio y perjuicios para la salud en los humanos. El cobalto es beneficioso porque forma parte de la vitamina B<sub>12</sub>. La exposición a niveles altos de cobalto puede producir efectos adversos en los pulmones y el corazón, puede ocasionar dermatitis. En animales sometidos a niveles altos de cobalto se registran efectos en el hígado y los pulmones. (ATSDR, 2016)

Cuando hay una alta exposición a la radioactividad que se emite a través del cobalto se produce el deterioro de las células, se puede presentar el síndrome de radiación aguda el que se manifiesta mediante náuseas, vómitos, disentería, sangrado, coma y en los casos más críticos la muerte. No existen pruebas de que el cobalto no radiactivo pueda ocasionar cáncer en seres humanos o en animales posterior a la exposición a través de los alimentos o el agua. (ATSDR, 2016)

Pero se ha producido cáncer en animales que inhalaron cobalto o cuando se colocó cobalto directamente en el tejido muscular o bajo la piel, la IARC ha determinado que el Co y los compuestos de cobalto son posiblemente carcinogénicos en seres humanos esto se determinó en base a datos en animales de laboratorio, La exposición a altos niveles de radiación de Co puede producir modificaciones en la genética al interior celular, lo que puede llevar al desarrollo de cáncer. (ATSDR, 2016)

La Administración de Seguridad y Salud Ocupacional señala un límite 0.1 mg/m<sup>3</sup> en el trabajo durante una jornada de 8 horas diarias, 40 horas semanales. La NRC limita la cantidad de cobalto radiactivo en el aire del trabajo a  $1 \times 10^{-5}$  µCi/mL para <sup>57</sup>Co y a  $7 \times 10^{-8}$  µCi/mL para <sup>60</sup>Co. La EPA determinó un límite promedio al año en el agua potable de 1000 pCi/L para <sup>57</sup>Co o 100 pCi/L para <sup>60</sup>Co para que la dosis de radiación a que se expone el público no exceda 4 milirems. (ATSDR, 2016)



### ***1.5.16 Berilio***

El berilio es un metal que presenta una coloración grisácea, se encuentra de forma libre en rocas, carbón, el suelo y en polvo volcánico. Extraído de las minas se purifica, entre sus usos están la fabricación de armas y reactores nucleares, estructuras de aeronaves y vehículos espaciales, instrumentos, máquinas para rayos X y espejos. El óxido de berilio para fabricar cerámicas especiales. (ATSDR, 2016)

#### ***1.5.16.1 Movilidad y bioacumulación***

Los polvos de berilio que ingresan al aire por combustión del carbón y aceite combustible. El Be que entra al agua a través de la erosión de las rocas y del suelo, y mediante residuos industriales. Ciertos compuestos de Be se disuelven en agua, pero mayoritariamente se adhieren a partículas y se quedan en el fondo. La mayor parte del Be en el suelo no se diluye en agua se adhiere al suelo. El Be no es acumulable en la cadena alimentaria. (ATSDR, 2016)

#### ***1.5.16.2 Fuentes de exposición***

La población se encuentra expuesta a niveles bajos de berilio en la atmósfera, los alimentos y el agua. Por exposición en minas, en la industria donde se procesa, trabaja a máquina, o se convierte en metal, aleación y otros productos químicos puede estar expuesta a altos niveles, por contacto en personas que habitan cerca de estas industrias o en lugares donde se arrojan residuos peligrosos no controlados se exponen a niveles más altos (ATSDR, 2016)

El berilio ocasiona daños si se inhala, los efectos varían según la cantidad a la que se está expuesto, el tiempo de exposición, y la susceptibilidad. La exposición a niveles altos de berilio en el aire (superiores a 1,000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) puede producir la enfermedad aguda de berilio que se caracteriza por presentar similitud con la pulmonía. Personas expuestas (1-15%) desarrollan sensibilidad al berilio. (ATSDR, 2016)

La sensibilidad al Berilio se manifiesta con una reacción inflamatoria en el sistema respiratorio y se denomina enfermedad crónica de berilio (CBD), por lo general aparece años más tarde de haberse expuesto a niveles altos de berilio (mayores que 0.2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), otros síntomas de la enfermedad pueden ser debilidad, cansancio en ciertos casos se han presentado pérdida de peso, dilatación del lado derecho del corazón y en otros individuos no presenta sintomatología (ATSDR, 2016)

Los niveles de berilio en el aire ambiental son bajos (0.00003-0.0002  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) por lo que no es posible desarrollar la enfermedad crónica de Berilio. No se han descrito efectos después de haber ingerido berilio en seres humanos ya que se absorben mínimas cantidades en el estómago y los intestinos. La exposición prolongada al berilio puede aumentar la posibilidad de desarrollar cáncer del pulmón en seres humanos. (ATSDR, 2016)

El Departamento de Salud y Servicios Humanos y la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer determinaron que el berilio es un elemento carcinogénico para los humanos. La EPA ha determinado que el berilio es posiblemente carcinogénico en seres humanos. La EPA ha determinado que tener exposición de por vida a 0.04  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de berilio está relacionada con la posibilidad uno en mil de desarrollar cáncer. (ATSDR, 2016)

### ***1.5.17 Estroncio***

El estroncio es un elemento que en la naturaleza en las rocas, el suelo, polvo, carbón y petróleo. El estroncio natural no presenta radiactividad y se conoce como estroncio estable o estroncio solamente. En el ambiente se encuentran cuatro isótopos  $^{84}\text{Sr}$ ,  $^{86}\text{Sr}$ ,  $^{87}\text{Sr}$  y  $^{88}\text{Sr}$ . El estroncio formando compuestos se utiliza para la fabricación de cerámicas y productos de vidrio, fuegos artificiales, pigmentos para pinturas, luces fluorescentes y medicamentos. (ATSDR, 2016)

También existen varios isótopos radiactivos, el más frecuente es el  $^{90}\text{Sr}$ . Este se forma en reactores nucleares o durante la explosión de armas nucleares. El estroncio radiactivo produce partículas beta a medida que este disminuye. La vida media o el tiempo que toma la mitad del isótopo exponer su radiación o el tiempo en emitir su radiación y transmutar en otra sustancia. La vida-media del  $^{90}\text{Sr}$  es 29 años. (ATSDR, 2016)

#### ***1.5.17.1 Movilidad y bioacumulación***

El estroncio estable se encuentra en forma de polvo en el aire y es depositado en el suelo o en el agua. Ciertos compuestos de estroncio presentan solubilidad en el agua por lo que en muchas ocasiones pasan a aguas subterráneas. La decadencia radiactiva y la descontaminación únicamente formas en las que se puede disminuir la cantidad del isótopo estroncio noventa en el ambiente. (ATSDR, 2016)

#### *1.5.17.2 Fuentes de exposición*

Por inhalación se puede estar expuestos estroncio estable y radiactivo, al beber agua o por ingestión de alimentos que poseen estroncio. Las más importantes fuentes de exposición del estroncio son los alimentos y el agua potabilizada. La exposición al estroncio radiactivo a través de alimentos que se han cultivado en suelo contaminado o que se encuentra cercano a una fuente de estroncio radiactivo. (ATSDR, 2016)

El compuesto de estroncio estable que es cancerígeno es el cromato de estroncio, pero esto se debe al cromo más no al estroncio. Cuando se da la exposición a niveles altos de Sr radiactivo puede producir cáncer. En los humanos que se han expuesto a cantidades altas de estroncio se ha producido leucemia. En animales en lo que se experimentó en laboratorio también se han producido leucemia y cáncer de los huesos, la nariz, los pulmones y la piel. (ATSDR, 2016)

La Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer señala que el estroncio radiactivo es carcinogénico en humanos. La EPA determina un límite (4,000 µg/L de agua potable). La EPA ha establecido un límite de 8 pCi/L de agua potable. La Comisión de Reglamentación Nuclear (NRC) determina que el límite para estroncio radiactivo en el aire del trabajo de  $6 \times 10^{-8}$  µCi/mL para  $^{89}\text{Sr}$  y de  $8 \times 10^{-9}$  µCi/mL para  $^{90}\text{Sr}$ . (ATSDR, 2016)

La agencia de protección ambiental de los Estados Unidos determina el límite promedio en un año en el agua potable es de 20 picocuries por litro (pCi/L) para el isótopo estroncio ochenta y nueve y de 8 picocuries por litro (pCi/L) para el isótopo estroncio noventa para que la dosis de radiación a que se expone el público no sobrepase los 4 milirems. Los niños pueden mayor susceptibilidad que los adultos a los efectos perniciosos del estroncio radiactivo. (ATSDR, 2016)

#### *1.5.18 Titanio*

El titanio es utilizado como metal puro en aleaciones y en forma compuestos. Grandes cantidades de titanio se emplean en la industria del hierro y el acero, para la construcción de barcos, aviones, naves especiales y en la fabricación de plantas químicas, como revestimiento protector de las mezcladoras de la industria de la pulpa y el papel, y en instrumental quirúrgico, para la fabricación de electrodos, filamentos de bombillas, pinturas, tintes y varillas de soldadura. (ATSDR, 2016)

El polvo de titanio es usado en pirotecnia y en la tecnología del vacío, este polvo se emplea en odontología y cirugía, para prótesis o implantes. El carburo y el nitruro de titanio se aplican en

la metalurgia de polvo. El titanato de bario se usa en la fabricación de capacitores de gran rendimiento. El dióxido de titanio se utiliza como pigmento blanco en pinturas y barnices, en tapicería, en electrónicos. (ATSDR, 2016)

También se emplea para fabricar adhesivos, tejados y plásticos y en la industria cosmética, como componente de los esmaltados y vitrificados de cerámica, como agente para comprimir las fibras de vidrio y para eliminar el brillo de las fibras sintéticas. El tetracloruro de titanio actúa como intermediario en la producción de titanio metálico y pigmentos de titanio y como catalizador en la industria química. (ATSDR, 2016)

#### *1.5.18.1 Movilidad y bioacumulación*

El tetracloruro de titanio entra al ambiente principalmente en el aire de fábricas que lo producen o lo usan en una variedad de procesos químicos, o como resultado de derrames. Si hay humedad en el aire, el tetracloruro de titanio reacciona rápidamente con ésta para formar ácido clorhídrico y Agencia para Substancias Tóxicas y Registro de otros compuestos de titanio, tales como el hidróxido de titanio y los oxiclóruos de titanio. (ATSDR, 2016)

Algunos de los compuestos de titanio pueden tener la capacidad de depositarse en el suelo o el agua. En el agua estos se dirigen hasta en el sedimento del fondo. Los compuestos que contienen tetracloruro de titanio pueden persistir durante un extenso tiempo en el suelo o en sedimentos. Algunos otros compuestos de titanio, tal como el dióxido de titanio, también se encuentran presentes en la atmósfera y en cuerpos de aguas. (ATSDR, 2016)

#### *1.5.18.2 Fuentes de exposición*

El titanio elemental y el dióxido de titanio tienen un nivel bajo de toxicidad. Animales de laboratorio expuestos a dióxido de titanio por inhalación presentan depósitos localizados en pulmones. La inhalación del polvo puede causar tirantez y dolor en el pecho, tos, y dificultad para respirar. El contacto con la piel y los ojos puede provocar irritación. La IARC ha incluido el dióxido de titanio en el grupo 3. No existen límites de exposición en cuanto al titanio (ATSDR, 2016)

#### **1.5.19 Boro**

El boro es un compuesto que se encuentra en forma naturales el ambiente, con frecuencia se lo halla en combinación con otras sustancias constituyendo los boratos. Algunos boratos incluyen

al ácido bórico, sales de boratos y óxido de boro. Los boratos son utilizados en la manufacturación del vidrio, como retardadores de llamas, en el curtido de cuero, cosméticos, materiales fotográficos, jabones y en combustible de alta energía. Ciertos plaguicidas, en preservantes (ATSDR, 2016)

#### *1.5.19.1 Movilidad y bioacumulación*

El boro ingresa la ambiente desde la naturaleza a través de océanos, volcanes y vapores geotérmicos. Las industrias donde se utiliza boro lo liberan al ambiente. El boro no puede ser destruido en el ambiente solamente cambian de forma o adjuntarse o disociarse de partículas en el suelo, el sedimento y el agua, por lo que su movilidad es muy extensa. Los boratos también son adsorbidos en las partículas del suelo, modificando el grado de adsorción según el tipo de suelo. (ATSDR, 2016)

Las plantas pueden acumular boro pues este elemento es indispensable en el desarrollo de las mismas. El boro está presente con distintas concentraciones en el suelo, el agua o el aire. Su grado de acumulación es diferente en las plantas acuáticas y terrestres o en los animales, pero su concentración no se incrementa a lo largo de la cadena alimentaria por lo que no se biomagnifica (ATSDR, 2016)

#### *1.5.19.2 Fuentes de exposición*

Usted puede exponerse al boro a través del consumo de alimentos que lo contienen, principalmente frutas y hortalizas. El boro se encuentra ampliamente distribuido en agua de superficie y en agua subterránea. Es improbable que la población general se exponga a aire contaminado con boro. Puede ocurrir exposición si usted trabaja en una mina o refinería de bórax o en sitios donde se manufactura ácido bórico. (ATSDR, 2016)

Muchos artículos de uso diario poseen boro, por ejemplo cosméticos y detergentes para lavar ropa. El Departamento de Salud y Servicios Humanos (DHHS), la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer y la EPA no han clasificado al boro en cuanto a carcinogenicidad en seres humanos. Varios estudios realizados en animales no demostraron que el boro produzca cáncer después de exponer a los animales de por vida al ácido bórico en los alimentos sin embargo no hay estudios en seres humanos. (ATSDR, 2016)

La EPA concluye que es no hay probabilidad que la exposición a concentraciones de boro de 4 mg/L durante 1 día ó 0.9 mg/L durante 10 días produzcan efectos desfavorables en niños. La

EPA ha determinado que es improbable que la exposición de por vida a 1 mg/L de boro en el agua potable cause efectos adversos. La Administración de Salud y Seguridad Ocupacional (OSHA) ha establecido un límite promedio de 15 mg/m<sup>3</sup> para óxido de boro en el aire durante una jornada diaria de 8 horas, 40 horas semanales. (ATSDR, 2016)

### ***1.5.20 Zinc***

El zinc es uno de los elementos más comunes en la corteza terrestre. Está presente en el aire, el suelo y el agua, y se lo encuentra en todos los alimentos. El zinc en estado puro es un metal brillante de coloración blanco-azulado. El zinc se lo utiliza mucho comercialmente en revestimientos para prevenir corrosión, en compartimientos de baterías secas y, para fabricar aleaciones como el latón y bronce. (ATSDR, 2016)

El zinc es combinado con otros elementos para formar compuestos de zinc. Algunos compuestos comunes de zinc que se encuentran en sitios de desechos peligrosos contienen al cloruro de zinc, óxido de zinc, sulfato de zinc y sulfuro de zinc. Los compuestos de zinc son generosamente utilizados en varias industrias para la fabricación de pinturas, caucho, tintes, preservantes para maderas y pomadas. (ATSDR, 2016)

#### ***1.5.20.1 Movilidad y bioacumulación***

El zinc es liberado al ambiente por procesos naturales, la mayor parte proviene de actividades antropológicas como la minería, producción de acero, combustión de petróleo y quema de basura. El Zn se fija al suelo, sedimentos y a partículas de polvo en el aire, la lluvia mueve las partículas de polvo con zinc del aire, en el suelo ciertos compuestos de Zinc se movilizan al agua subterránea, lagos, arroyos y ríos. La mayor parte del zinc en el suelo permanece adjunto a partículas de suelo y El zinc no es soluble en agua. (ATSDR, 2016)

#### ***1.5.20.2 Fuentes de exposición***

Por ingestión de alimentos y agua (bebidas que están en envases metálicos o aguas de tuberías que son revestidas con zinc). Al consumir suplementos dietéticos, por exposición en ciertas profesiones como: la construcción, pintor, mecánico de automóviles, minería, fundiciones y soldadura de metales, en la manufactura de latón, bronce u otras aleaciones, manufacturas de metales galvanizados, de partes de maquinarias, caucho, pintura, linóleo, baterías, ciertos tipos de vidrios, cerámicas y tinturas. (ATSDR, 2016)

El Departamento de Salud y Servicios Humanos (DHHS) y la IARC no han clasificado al Zn en cuanto a carcinogenicidad. Basado en información incompleta de estudios en seres humanos y en animales, la EPA ha determinado que el Zn no es clasificable en cuanto a carcinogenicidad en seres humanos. La EPA recomienda que el agua potable contenga no más de 5 mg/L. La EPA requiere que se le notifique de cualquier liberación al ambiente de 1,000 libras (ATSDR, 2016)

Para los trabajadores, la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional de Estados Unidos ha establecido un límite de 1 mg/m<sup>3</sup> para vapores de cloruro de zinc y de 5 mg/m<sup>3</sup> para óxido de Zn en el aire del trabajo durante jornadas de 8 horas diarias, 40 horas a la semana. Asimismo, el Instituto Nacional de Salud y Seguridad Ocupacional (NIOSH) ha establecido las mismas normas para una jornada diaria de 10 horas, 40 horas semanales. (ATSDR, 2016)

### ***1.5.21 Litio***

En la naturaleza se encuentra como una mezcla de los isótopos Li6 y Li7. Es el metal sólido ligero, blando. Es utilizado en forma de estearato de litio como espesante para grasas lubricantes. En la cerámica, en la formulación de esmaltes para porcelana, como aditivo para alargar la vida y el rendimiento en acumuladores alcalinos y en soldadura autógena y soldadura para latón. El litio es un elemento moderadamente abundante y está presente en la corteza terrestre.

#### ***1.5.21.1 Movilidad y bioacumulación***

El litio de las rocas y minerales se disuelve por el agua de lluvia, por lo que el contenido natural de litio está presente algunos manantiales minerales constituir la razón de sus propiedades terapéuticas. El impacto ambiental de la extracción de litio no es por esto de menor envergadura que otros metales, ni tampoco deja de ser un importante factor en la discusión sobre el uso del territorio, cuando existen por ejemplo, reclamos sobre los mismos por comunidades originarias.

Los principales impactos ambientales de la extracción de litio no hacen mayor diferencia en la extracción de otros metales: consumo y contaminación de agua, impactos en el paisaje, introducción de caminos de exploración en ecosistemas sensibles, instalación de infraestructura, impacto en la flora y fauna de la actividad industrial donde antes no la había, generación de residuos sólidos y químicos, etc.

El litio produce reacción con el vapor de agua, con el nitrógeno, el oxígeno y cuando está en contacto con el aire. Cuando se relaciona con el ambiente y su superficie forma carbonato de litio, hidróxido de litio y nitrato de litio. Entre ellos el hidróxido de litio es particularmente peligroso debido a su potencialidad extremadamente corrosiva, debiéndose prestar especial atención a su impacto en organismos acuáticos.

#### *1.5.21.2 Fuentes de exposición*

El litio se puede absorber por inhalación del aerosol y por ingestión cuando existe una evaporación a 20°C es despreciable, pero es posible alcanzar inmediatamente una concentración nociva de partículas en el aire cuando se dispersa. Los efectos causados a una corta exposición es una sustancia es corrosiva para los ojos, la piel y el tracto respiratorio. Corrosivo por ingestión. La inhalación de la sustancia puede originar edema pulmonar. No está determinado el límite de exposición.

### **1.6 Recuperación de suelos contaminados**

Actualmente existe una variedad de tecnologías que se pueden aplicar en la 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 químicos, térmicos o biológicos. Su aplicación depende de las características del suelo y del contaminante, de la eficacia del tratamiento, viabilidad, y tiempo (Ortiz, Sanz, Dorado, & Villar, 2007).

#### ***1.6.1 Biorremediación***

Biorremediación se denomina las técnicas de degradación, biodegradación o ruptura de contaminantes químicos en los que actúan microorganismos con hongos filamentosos, levaduras y bacterias, plantas y enzimas de esta actividad resultan compuestos que tienen menor agresividad hacia el medio ambiente. La biorremediación se define como un proceso cuya finalidad es descontaminar y detoxificar los contaminantes químicos a través de la actividad de los seres vivos. (Gomez, 2004)

La biorremediación puede ser: *in situ* o *ex situ*. Biorremediación *in situ* hace referencia en realizar el tratamiento del material contaminado en el mismo lugar sin necesidad de ser transportado a otro sitio, el proceso se efectúa en suelos excavados para poder degradar más



contaminantes entre los que se encuentran: fitosanitarios agrícolas, petróleo y derivados, aceites y ciertos compuestos orgánicos halogenados, descontaminación de metales pesados. (Gomez , 2004)

Biorremediación ex situ el material contaminado se trasladado otro lugar para proceder a su descontaminación (Gomez , 2004). El término biorremediación surge principios en los años '80 proviniendo de "remediation", determinando el uso de tecnologías remediación de origen biológico establecidas en la observación de la capacidad microbiana para degradar de manera natural ciertos contaminantes.

#### *1.6.1.1 Tipos de biorremediación*

**Degradación enzimática:** esta metodología radica en adicionar enzimas al sitio en que se encuentran los contaminantes con la finalidad de poder degradar las sustancias nocivas. Las enzimas son obtenidas a partir de los microorganismos esencialmente diseñados. Las enzimas no son consumidas por las reacciones que aceleran, con el consumo de sustratos contaminantes las enzimas pueden seguir actuando. (Orosco & Soria, 2008)

**Biorremediación microbiana:** esta metodología se basa en el manejo de microorganismos (hongos) en el sitio que ha sufrido contaminación, los microorganismos son implantados en el foco contaminante para descomponer sustancias nocivas mediante sus estructuras miceliales fúngicas que son productoras de enzimas que presentan capacidad de degradar los componentes contaminantes a sustancias inocuas (Orosco & Soria, 2008)

**Fitorremediación:** esta metodología consiste en la utilización de vegetales para la descontaminación, mediante los sistemas radiculares de plantas y árboles para la extracción de metales pesados especialmente y otros contaminantes de suelo, agua y aire, es una de las tecnologías que se aplican para grandes extensiones, la fitorremediación implica un proceso de recuperación a largo plazo. (Orosco & Soria, 2008)

#### *1.6.2 Efectos de los metales pesados en plantas*

Los metales pesados en suelos ocasionan numerosos efectos negativos sobre el suelo y las plantas no están libres de ello pero las estructuras vegetales, también despliegan una serie de mecanismos de resistencia. En cuanto a efectos negativos están: inhibición del crecimiento de la planta puede ser en sus raíces o en el resto de órganos, daños estructurales generan el

aparecimiento de especies reactivas de oxígeno (ROS), estrés oxidativo y desequilibrio de las membranas celulares. (Navarro, et al., 2007)

Otros efectos negativos de los metales pesados en plantas son la reducción del contenido de clorofila y del potencial hídrico en las hojas, o el cierre estomático, con la consiguiente falta de CO<sub>2</sub> para llevar a cabo una correcta fotosíntesis, las semillas también se ven afectadas mayoritariamente se retrasa o no se produce la germinación como el caso de contaminación del plomo, cuando la germinación se lleva a cabo los embriones muestran alteraciones morfológicas y/o fisiológicas que, en muchos casos, acaban muriendo. (Navarro, et al., 2007)

#### *1.6.2.1 Mecanismos de Resistencia*

A nivel celular, la planta tiene la capacidad de no dar paso o disminuir el flujo de ingreso del metal pesado a través de la regulación de transportadores de membrana, es posible también que se dé un bombeo extracelular del metal, otro mecanismo es quelar al metal en el interior de la célula para que de este modo no haga interferencia con el metabolismo, o inclusive puede llegar a bioacumularlo en vacuolas para expulsarlo en la posteridad. (Navarro, et al., 2007)

Las plantas tienen tres tipos de moléculas que tienen la capacidad de quelar a los metales pesados: el glutatión, las fitoquelatinas y las metalotioneínas. El glutatión es un tripéptido el mismo que contiene cisteína y es capaz de asociarse al metal y ser excretado posteriormente, o puede amortiguar el efecto de la producción de ROS ocasionado por la presencia de metales pesados en las células. (Navarro, et al., 2007)

Fitoquelatinas son oligopéptidos que están constituidos por la condensación de varias moléculas de glutatión y cuando de se ensamblan al metal para impedir que ocasionen deterioros a la célula, son las más abundantes de las moléculas capaces de quelar metales pesados. El último grupo lo constituyen las metalotioneínas son proteínas ricas en cisteína (con grupos -SH). Su expresión en la célula es en cantidades muy pequeñas. (Navarro, et al., 2007)

Estos tres tipos de moléculas van a quelar el metal pesado para luego ser excretado hacia medio externo. Algunas plantas pueden precipitar o paralizar el metal pesado en la superficie o en los tejidos de la raíz impidiendo que el metal llegue hasta la parte aérea. Un grupo de plantas pertenecientes a diversas son conocidas como hiperacumuladoras, estas absorben entre el 0,1-1% de su peso seco del metal pesado y lo acumulan en sus zonas aéreas sin sufrir efecto fitotóxico. (Navarro, et al., 2007)

Esto es posible gracias al rápido desplazamiento del metal hacia las hojas y su posterior detoxificación y secuestro en ellas. El mercurio, en algunas plantas se absorbe junto con el agua del suelo, al metabolizarlo y liberarlo a través de la transpiración en forma de dimetil mercurio a través de los estomas. Estas últimas propiedades son muy frecuentes para la fitorremediación, para eliminar un metal pesado de suelos contaminados. (Navarro, et al., 2007)

### **1.6.3 Coeficiente de bioconcentración y factor de translocación.**

Hay tres tipos de plantas de acuerdo a su comportamiento al aumento de concentración en el suelo: Las plantas acumuladoras en las que el metal se concentra en el tallo y las hojas, las plantas indicadoras donde la absorción y el transporte están regulados a manera que las concentraciones en planta son observables externamente y las plantas excluyentes: en las que las concentraciones de metal en el tallo y en la hoja son constantes en concentraciones bajas de metal en el suelo. (Baker, 1981)

Factor de bioconcentración (BCF) o también conocido como coeficiente de fitoextracción (CF), está definido la concentración del metal en la fitomasa (mg/kg) entre la concentración del elemento en el suelo (mg/kg). El factor de translocación (TF) es la relación de concentración de la fitomasa aérea (mg/kg) entre la concentración de la fitomasa de la raíz de la planta. (Olivares & Peña , 2009)

$$BCF \text{ raíz} = \frac{[metal] \text{ raíz}}{[metal] \text{ suelo}}$$

**Ecuación 1**

$$BCF \text{ aérea} = \frac{[metal] \text{ aérea}}{[metal] \text{ suelo}}$$

**Ecuación 2**

Dónde:

BCF raíz = Factor de bioconcentración en las raíz de la planta.

BCF aérea = Factor de bioconcentración en la parte aérea de la planta.

[Metal] raíz = Concentración del metal solo en la raíz de la planta en mg/Kg.

[Metal] aérea = Concentración del metal solo en la parte aérea de la planta en mg/Kg.

[Metal] suelo = Concentración del metal en el suelo en mg/Kg.

$$TF = \frac{[Metal]_{a\acute{e}rea}}{[Metal]_{ra\acute{ı}z}}$$

### Ecuación 3

Dónde:

TF = Factor de traslocación

[Metal] raíz = Concentración del metal solo en la raíz de la planta en mg/Kg.

[Metal] aérea = Concentración del metal solo en la parte aérea de la planta en mg/Kg.

**Tabla 4-1:** Categorización de las plantas en función a su concentración y traslocación

<b>Concentración del metal en la parte aérea de la planta</b>	Cd (mg/kg) > 100 mg/kg planta hiperacumuladora.
	Cu, Co, Cr, Ni o Pb (mg/kg) > 1000 (mg/kg) planta hiperacumuladora.
	Mn o Zn (mg/kg) > 10 000 mg/kg planta hiperacumuladora
<b>Factor de concentración en la parte aérea de la planta</b>	BCF aérea < 1 la planta es excluyente
	1 < BCF aérea < 10 la planta es acumuladora
	BCF aérea > 10 la planta es hiperacumuladora
<b>Factor de bioconcentración en la parte raíz de la planta</b>	BCF raíz < 1 la planta es excluyente
	1 < BCF raíz < 10 la planta es acumuladora
	BCF raíz > 10 la planta es hiperacumuladora
<b>Factor de translocación</b>	TF > 1 significa que la planta traslada eficazmente los metales pesados de la raíz a la parte aérea de la planta (Baker y Brooks, 1989), por lo que su potencial es la de hiperacumular metales en la parte aérea.
	TF < 1 significa que la planta no traslada eficazmente los metales pesados a la raíz a la parte aérea de la planta, por lo que su potencial es la de fitoestabilizar metales en sus raíces.

Fuente: (Medina & Montano, 2014)

## 1.7 Técnicas de cuantificación de metales

### 1.7.1 Espectroscopía

La técnica de espectroscopía de absorción atómica es una metodología que es usada para la detección y la determinación de elementos químicos principalmente metales. Los compuestos, antes de ser analizados deben ser rotos en sus átomos constituyentes, para ello se lleva a cabo la

pulverización en una llama a alta temperatura, un rayo luminoso con una determinada longitud de onda, originado por un tipo especial de lámpara.

Posteriormente se dirige a lo largo del eje longitudinal de una llama plana, al espectrofotómetro y simultáneamente la solución de la muestra es aspirada al interior de la llama, pero antes de su ingreso la solución se dispersa formando una niebla de gotitas finas las misma que se evaporan en la llama originando a la sal seca, finalmente el vapor de la sal es disociado al menos en parte en átomos del elemento que determinarán. (Walton & Reyes , 2008)

### ***1.7.2 Espectrometría de absorción atómica por llama***

La espectroscopia de absorción atómica de llama es la forma más utilizada de la espectroscopia atómica, mediante esta técnica numerosos iones metálicos pueden ser determinados sencillamente en niveles de mg/Kg (ppm). El fundamento de esta técnica se basa fuente de átomos elementales que se encuentran excitados electrónicamente por la luz monocromática, la absorción producida es medida por este instrumento. (Oxford University, 2005)

La fuente de átomos se suministran en estado elemental, es determinado a través de un nebulizador, junto con una llama de aire/acetileno, se da una primera etapa formando un aerosol de microgotas (analito), una bomba peristáltica transita por un suministro continuo de la solución del analito en el recorrido de un chorro de aire comprimido produciendo una fina niebla de gotas diminutas y el aerosol recorre en una larga y delgada llama de aire/acetileno atomizando el analito. (Oxford University, 2005)

Los gases de combustión se combinan antes de dar inicio a la combustión, la llama se encamina por una rendija de chorro de gas de aproximadamente 10 cm de largo y 2-3 mm de ancho, el acetileno se quema proporcionando temperaturas de 2000 °C a 2200 °C, El acetileno y el aire de la espectroscopía atómica de la llama se mezclan previamente y para los gases de escape se instala una campana de extracción sobre la chimenea de salida del espectrofotómetro. (Oxford University, 2005)

Las gotas finas del disolvente en la sustancia analizada (agua) son evaporadas. La sal del metal a su vez se evapora y reduce con altas temperaturas dentro de la llama para completar el proceso de atomización, la llama tiene una forma que permite que la radiación incidente pase a través de un suministro continuo de la muestra atomizada. Un detector (un tubo fotomultiplicador) controla la intensidad de la radiación y la absorción (Oxford University, 2005)

### **1.7.3 Espectrometría de emisión de plasma**

#### **1.7.3.1 Plasma de Acoplamiento Inductivo ICP**

La técnica de espectrometría de masas con plasma de acoplamiento inductivo, es una variante de las técnicas de análisis por espectrometría de masas. Las ventajas que presenta esta técnica son: alta precisión, bajos límites de detección y bajo costo económico, permite analizar la mayoría de los elementos e isótopos presentes en la tabla periódica de manera simultánea en no más de un par de minutos. (Fernández , 2004)

Esta técnica es recomendado para ser aplicada en análisis de aguas, alimentos, lixiviados y minerales, etc. En la actualidad gracias al laser acoplado al ICP es posible realizar elementos trazas y tierras raras en minerales, fósiles, metales, semiconductores, etc. Se utiliza un área de muestra de 50 µm. El beneficio de esta técnica es que se combina dos propiedades analíticas convirtiéndose en un poderoso instrumento del análisis de trazas de metales. (Fernández , 2004)

A través de esta técnica se logra obtener una matriz libre de interferencias por la eficiencia de ionización del plasma de Ar y también presenta una alta correspondencia señal-ruido que es propia en la aplicación de espectrometría de masas. El plasma de acoplamiento inductivo de argón es utilizado como una fuente muy poderosa de iones en su estado Metálico. El espectro de masas de la fuente de iones se mide por medio de un espectrómetro de masas cuadrupolar. (Fernández , 2004)

### **1.8 Dosis de exposición**

La dosis de exposición es un estimado de la cantidad de una sustancia química que se integra al cuerpo de una persona cuando esta última entra en contacto con la sustancia. Suponga estos tres tipos de exposición los cuales toman en cuenta en una evaluación toxicológica.

<b>Inhalación</b>	Respirar el aire que contiene la sustancia química.
<b>Ingestión</b>	Comer o beber algo que contiene la sustancia química.
<b>Contacto cutáneo</b>	Contacto en la piel con la sustancia química)

### **1.8.1 Estimado de la dosis de exposición**

El primer paso del evaluador de salud en la realización de una evaluación toxicológica, es calcular las dosis de exposición. Una dosis de exposición se calcula para cada uno de las maneras en que la gente pueda entrar de forma real en contacto con un producto químico.

### **1.8.2 Estimado de una dosis de ingestión para la evaluación de efectos no cancerígenos para la salud**

Una dosis de ingestión de una sustancia química se calcula con la misma fórmula independientemente de si la sustancia química se ingirió en el agua, el suelo o los alimentos. A continuación se incluye la fórmula para calcular una dosis de ingestión.

La dosis se calcula multiplicando:

$$ED = C \times IR \times CF \times \frac{EF}{BW}$$

**Ecuación 4**

El nivel de la sustancia química por la tasa de ingestión, por el factor de exposición y se divide este producto por el peso corporal.

En esta fórmula, el factor de exposición se calcula multiplicando:

$$EF = \frac{F \times ED}{T}$$

**Ecuación 5**

El número de días de exposición por año, por el número de años de exposición y se divide el producto por los días por año multiplicados por El número de años de exposición. (ATSDR, 2008)

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO METODOLÓGICO

#### 2.1 Lugar de estudio

La presente investigación se llevó a cabo en la parroquia Taracoa, Provincia de Orellana, los análisis iniciales de suelos se los realizó en el laboratorio CESTTA ubicado en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.



Figura 1-2: Mapa de la parroquia Taracoa

Fuente: (TARACOA, Gobierno Parroquial, 2014)

#### 2.1.1 Ubicación del área contaminada

**Longitud:** - 76,777401

**Latitud:** - 0,489979

**Geo referencia:** El suelo remediado se encuentra ubicado a 300 metros del centro poblado de Taracoa vía La Primavera.



La investigación realizada es por observación directa de los hechos, tomando la información adecuada para registrarla y conseguir una interpretación y/o análisis del caso.

La observación es la capacidad de percibir información del medio, basándose en el propósito de generar registros para entender los fenómenos ocurridos posteriormente, de esta forma se generan resultados valiosos en la investigación. (Morán, 2007)



**Fotografía 1-2:** Parroquia Taracoa

Fuente: GADPR TARACOA

## 2.2 Tipo de investigación

**Por el tipo de investigación:** Aplicada, porque tiene un fin directo en la determinación de la bioacumulación de trazas de metales pesados en la especie *Manihot esculenta*; Crantz cultivada en suelo remediado.

**Por la temporalidad:** Longitudinal, porque se toman datos durante la investigación en períodos de tiempo establecidos

**Por el tipo de enfoque:** Cuantitativo - cualitativo. Cualitativo: porque se realiza sin manipular deliberadamente variables. Es decir, se trata de estudios donde no se hace variar en forma intencional las variables independientes para ver su efecto sobre otras variables. Lo que se hace

en la investigación no experimental es observar fenómenos tal como se dan en su contexto natural, para posteriormente analizarlos.

## **2.3 Métodos y Técnicas**

### **2.3.1 *Identificación de suelos***

Para la identificación se aplicaron técnicas de observación directa, entrevistas a comuneros de la parroquia Taracoa, como técnicas de recolección de datos de forma sistemática, conjuntamente con entrevistas a actores sociales de la Parroquia Taracoa para la identificación del área de estudio.

#### **2.3.1.1 *Materiales***

- Cinta topográfica
- Machete
- Cinta amarilla
- Plástico negro
- Estacas

#### **2.3.1.2 *Método***

Se procedió a delimitar las áreas de los suelos agrícolas y suelos biorremediados bordeando el perímetro con plástico negro, cada tipo de suelo (suelo remediado y suelo agrícola), se desmalezaron y se dividieron en parcelas respectivamente para su posterior muestreo y cultivo.

### **2.3.2 *Muestreo y caracterización del suelo antes del cultivo de yuca***

#### **2.3.2.1 *Materiales***

- Barreno
- Fundas herméticas
- Balde plástico
- Caja térmica
- Gel hielo

### 2.3.2.2 *Método*

Una vez identificadas las áreas de suelo que son objeto de esta investigación se procedió hacer un muestreo compuesto para cada área de suelo agrícola y de suelo remediado a partir de varias muestras simples que se tomaron al azar en cada área respectivamente, las que se obtuvieron a una misma profundidad y fueron colocadas en un recipiente plástico, homogenizadas de las que se extrajeron 1 Kg de suelo para cada área las mismas que se colocaron en fundas herméticas y fueron rotuladas posteriormente se transportaron en una caja térmica con gel hielo hacia el laboratorio CESTTA para su respectivo análisis y determinar las concentraciones iniciales de metales pesados utilizando la metodología PEE/CESTTA/197.

De la misma manera se envió muestras al laboratorio AQLAB para determinar los niveles de nutrientes esenciales para que la planta de yuca se desarrolle adecuadamente. Los nutrientes a analizar fueron CO Total, K, P y N, se utilizaron las siguientes metodologías respectivamente ITE-AQLAB-54, ITE-AQLAB-33, ITE-AQLAB-51 y ITE-AQLAB-59.

### 2.3.3 *Requerimientos de nutrientes*

Los cultivos de yuca se adaptan a variadas condiciones de suelo y clima. Pero para su desarrollo adecuado y alta productividad se obtienen en suelos francos, profundos, planos, fértiles y suelos arcillosos bien drenados. (Cadavid, 2002)

La yuca extrae cantidades grandes de nutrientes del suelo, fundamentalmente N, P, K y Ca. Para una producción de una tonelada de yuca, el suelo debe tener N=4,42 Kg/ha; P=0,67 Kg/ha; K=3.58 Kg/ha; Ca=1.36 Kg/ha; Mg=0,82 Kg/ha y S=0,42 Kg/ha. (Howeler & Cadavid, 1983)

### 2.3.4 *Cultivo de Yuca*

Mediante el convenio existente entre la ESPOCH Extensión Norte Amazónica con la empresa INIAP, se lograron obtener la cantidad de 150 estacas de yuca comercial, las cuales fueron utilizadas en el desarrollo del trabajo de investigación, así mismo los técnicos de dicha empresa brindaron asesoría sobre siembra, monitoreo de crecimiento y cosecha de la yuca.



**Fotografía 2-2:** Estacas de yuca comercial

**Fuente:** LLORI Arturo & TAPIA Edison

#### 2.3.4.1 *Materiales*

- Estacas de yuca comercial
- Azadón
- Machete

#### 2.3.4.2 *Método*

En cada una de las parcelas se cultivaron las estacas de yuca con medidas estándares entre filas y columnas las que fueron proporcionadas por los técnicos del INIAP, se llevó a cabo el monitoreo del cultivo durante cuatro meses en las dos áreas de suelos agrícola y remediado, en el que se realizó un monitoreo del crecimiento de las plantas hasta cosechar el tubérculo y enviarlo a realizar análisis en el laboratorio LABSU el mismo que subcontrató la laboratorio ANNCY donde realizaron los análisis de la yuca en muestra fresca, se secó la yuca, se la trituroó y se la digestó, las muestras se analizaron por ICP Y la metodología aplicada en el laboratorio fue PEE/ANNCY/95 - APHA 3120 B.

### ***2.3.5 Análisis de metales pesados en el tubérculo***

#### *2.3.5.1 Materiales*

- Machete
- Fundas herméticas
- Agua
- Caja térmica

#### *2.3.5.2 Método*

Una vez que los cultivos se desarrollaron se procedió a la cosecha de las yucas de ambos suelos se realizó un cuarteo preliminar el cual consistió en separar en cuatro partes todo el volumen obtenido de la cosecha por cada parcela y posteriormente se tomó una muestra representativa que fue enviada al laboratorio LABSU para la realización de análisis de concentraciones de metales pesados.

### ***2.3.6 Análisis de metales pesados después de la cosecha en suelo agrícola y suelo remediado***

#### *2.3.6.1 Materiales*

- Barreno
- Fundas herméticas
- Balde plástico
- Caja térmica
- Gel hielo

#### *2.3.6.2 Método*

Realizada la cosecha se procedió hacer un muestreo compuesto para cada área de suelo agrícola y de suelo remediado tomando algunas muestras simples al azar en cada área respectivamente, las que se obtuvieron a una misma profundidad y fueron colocadas en un recipientes plásticos, homogenizadas de las que se extrajeron 1 Kg de suelo para cada área las mismas que se colocaron en fundas herméticas y fueron rotuladas posteriormente se transportaron en una caja térmica con gel hielo hacia el laboratorio LABSU que subcontrató al laboratorio ANNCY para

su respectivo análisis y determinación las concentraciones finales de metales pesados utilizando la metodología PEE/ANNCY/95, APHA 3120 B.

## CAPÍTULO III

### 3. MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 Identificación de suelos

Para esta investigación se utilizó área de 66 m<sup>2</sup> en suelo remediado, se procedió a desmalezar y en el perímetro se colocaron postes de madera, rodeándolo con plástico negro, una vez delimitada el área se dividió 4 parcelas de 5,5 x 3 metros, las parcelas fueron delimitadas con la cinta amarilla, esta misma metodología fue utilizada en el suelo agrícola con sus respectivas parcelas.



**Fotografía 1-3:** Identificación de suelos

Fuente: LLORI Arturo & TAPIA Edison

#### 3.2 Muestreo y caracterización del suelo antes del cultivo de yuca

Para el muestreo del suelo agrícola las submuestras fueron tomadas con el barreno a una profundidad de 20 cm, se obtuvieron un total de 15 submuestras de cada suelo, las cuales se

colocaron en un balde de 20 litros donde se homogenizó y se tomó una muestra representativa por cada suelo de 1 kilogramo que se colocó en fundas herméticas, se rotuló la muestra y fue trasladada al laboratorio Cestta de la ESPOCH, donde se ejecutó un análisis inicial preliminar para determinar las concentraciones iniciales de trazas de metales, el mismo protocolo se aplicó para el muestreo de suelo remediado.



**Fotografía 2-3:** Homogenización de las submuestras de suelo remediado

Fuente: LLORI Arturo & TAPIA Edison

Los resultados obtenidos de estos análisis de encuentran en la tabla 1-3.

**Tabla 1-3:** Resultados de los análisis del suelo remediado antes del cultivo de yuca

METAL	UNIDAD	METODOLOGÍA	CONCENTRACIÓN
CADMIO	mg/Kg	PEE/CESTTA/197 EPA3051/6010 B	0,63
NIQUEL	mg/Kg	PEE/CESTTA/197 EPA3051/6010 B	16,31
PLOMO	mg/Kg	PEE/CESTTA/197 EPA3051/6010 B	11,85
COBRE	mg/Kg	PEE/CESTTA/197 EPA3051/6010 B	24,61
MANGANESO	mg/Kg	PEE/CESTTA/197 EPA3051/6010 B	456,86

Fuente: LLORI Arturo & TAPIA Edison



**Tabla 2-3:** Resultados de los análisis del suelo agrícola antes del cultivo de yuca.

METAL	UNIDAD	METODOLOGÍA	CONCENTRACIÓN
CADMIO	mg/Kg	PEE/CESTTA/197 EPA3051/6010 B	0,25
NIQUEL	mg/Kg	PEE/CESTTA/197 EPA3051/6010 B	< 10
PLOMO	mg/Kg	PEE/CESTTA/197 EPA3051/6010 B	< 10
COBRE	mg/Kg	PEE/CESTTA/197 EPA3051/6010 B	< 10
MANGANESO	mg/Kg	PEE/CESTTA/197 EPA3051/6010 B	49,70

Realizado por: LLORI Arturo & TAPIA Edison

### 3.3 Cultivo de Yuca

Luego de acondicionar los suelos que formaron parte de la investigación y una vez realizado un análisis inicial de concentraciones de trazas de metales pesados, se procedió a la siembra de 18 estacas de yuca en cada parcela, sembrando un total de 144 estacas en los dos suelos. En cada parcela se sembró 18 estacas de yuca a una distancia de 0,90 m entre filas y 1 m entre columnas y con una inclinación de 45 grados y se realizó un monitoreo detallado en la tabla 3-3.



**Fotografía 3-3:** Siembra de yuca

Fuente: LLORI Arturo & TAPIA Edison

**Tabla 3-3:** Monitoreo del crecimiento de la planta de yuca

<b>Tipo de suelo</b>	<b>Semana</b>	<b>Tamaño de la planta</b>	<b>Tamaño de la hoja</b>
Suelo agrícola	Semana 1	Entre 5 y 8 centímetros.	2 centímetros.
Suelo remediado	Semana 1	Entre 4 y 7 centímetros.	1,5 centímetros.
Suelo agrícola	Semana 3	Entre 13 y 16 centímetros.	8 centímetros.
Suelo remediado	Semana 3	Entre 12 y 15 centímetros.	7 centímetros.
Suelo agrícola	Semana 4	Entre 20 y 25 centímetros.	12 centímetros.
Suelo remediado	Semana 4	Entre 18 y 25 centímetros.	10 centímetros.
Suelo agrícola	Semana 6	Entre 40 y 50 centímetros.	14 centímetros.
Suelo remediado	Semana 6	Entre 35 y 50 centímetros.	13 centímetros.
Suelo agrícola	Semana 8	Entre 90 y 110 centímetros.	16 centímetros.
Suelo remediado	Semana 8	Entre 80 y 100 centímetros.	15 centímetros.
Suelo agrícola	Semana 11	Entre 110 y 115 centímetros.	19 centímetros.
Suelo remediado	Semana 11	Entre 100 y 110 centímetros.	18 centímetros.
Suelo agrícola	Semana 13	Entre 118 y 125 centímetros.	22 centímetros.
Suelo remediado	Semana 13	Entre 115 y 125 centímetros.	20 centímetros.
Suelo agrícola	Semana 16	Entre 140 y 160 centímetros.	24 centímetros.
Suelo remediado	Semana 16	Entre 125 y 135 centímetros.	21 centímetros.
Suelo agrícola	Semana 18	Entre 160 y 175 centímetros.	26 centímetros.
Suelo remediado	Semana 18	Entre 140 y 165 centímetros.	22 centímetros.

Realizado por: LLORI Arturo & TAPIA Edison

**Semana 1**

**Suelo agrícola**



**Suelo remediado**



**Fotografía 4-3:** Monitoreo del cultivo semana 1

Fuente: LLORI Arturo & TAPIA Edison



**Fotografía 5-3:** Monitoreo del cultivo semana 3

Fuente: LLORI Arturo & TAPIA Edison

### **3.4 Cosecha y Análisis de metales pesados en el tubérculo**

Pasadas las 18 semanas del cultivo y después de haber sido monitoreadas las plantas para cada tipo de suelo se procedió a la cosecha de las yucas de ambos terrenos, el muestreo se realizó separando en cuatro partes todo el volumen obtenido de la cosecha de cada parcela y posteriormente se tomó una muestra representativa que fue enviada al laboratorio LABSU para la determinar la presencia de concentraciones de metales pesados.



**Fotografía 6-3:** Cuarteo

Fuente: LLORI Arturo & TAPIA Edison

Los resultados obtenidos del análisis del tubérculo se encuentran en la tabla 4-3.

**Tabla 4-3:** Análisis de metales pesados en el tubérculo

YUCA PARCELA 1		
METAL	SUELO REMEDIADO	SUELO AGRÍCOLA
Cadmio	<0,5	<0,5
Níquel	<10	<10
Plomo	<10	<10
Cobre	<10	<10
Manganeso	<10	<10
YUCA PARCELA 2		
Cadmio	<0,5	<0,5
Níquel	<10	<10
Plomo	<10	<10
Cobre	<10	<10
Manganeso	<10	12,9

<b>YUCA PARCELA 3</b>		
Cadmio	<0,5	<0,5
Níquel	<10	<10
Plomo	<10	<10
Cobre	<10	<10
Manganeso	<10	15,7
<b>YUCA PARCELA 4</b>		
Cadmio	<0,5	<0,5
Níquel	<10	<10
Plomo	<10	<10
Cobre	<10	<10
Manganeso	<10	<10

Realizado por: LLORI Arturo & TAPIA Edison

En la tabla 4-3: se puede observar que existe un ligero incremento en la presencia de manganeso en el suelo agrícola en las parcelas 2 y 3 con respecto al suelo remediado, debido a gente que incorrectamente usa pesticidas como maneb y mancozeb (ATSDR, 2000). Provocando un leve incremento de concentración en la parte del cultivo en suelos agrícolas y estos a su vez en el tubérculo.

### **3.5 Resultados de los efectos ecotoxicológicos en la yuca en la etapa de cultivo**

Transcurridas las 18 semanas y antes de cosechar la yuca se realizó una medición de las características físicas y morfológicas, para determinar los efectos ecotoxicológicos que sufrió la planta durante su etapa de crecimiento cultivada en suelos con presencia de leves concentraciones de trazas de metales pesados.

#### **3.5.1 Longitud del tallo**

Uno de los factores más importantes en la investigación fue determinar la respuesta en la longitud del tallo debido a la exposición por metales pesados por lo que en la Tabla 5-3 se anotaron los datos que se registraron a las 18 semanas de la investigación.

**Tabla 5-3:** Longitud del tallo

<b>PLANTA</b>	<b>Long. Tallo Parcela 1 SR</b>	<b>Long. Tallo Parcela 2 SR</b>	<b>Long. Tallo Parcela 3 SR</b>	<b>Long. Tallo Parcela 4 SR</b>	<b>Long. Tallo Parcela 1 SA</b>	<b>Long. Tallo Parcela 2 SA</b>	<b>Long. Tallo Parcela 3 SA</b>	<b>Long. Tallo Parcela 4 SA</b>
1	1.65	1.61	1.61	1.63	1.75	1.71	1.69	1.71
2	1.6	1.64	1.62	1.6	1.7	1.73	1.7	1.7
3	1.65	1.62	1.65	1.65	1.72	1.72	1.75	1.72
4	1.65	1.62	1.61	1.62	1.7	1.72	1.71	1.7
5	1.6	1.62	1.64	1.6	1.74	1.71	1.7	1.69
6	1.65	1.6	1.62	1.61	1.72	1.68	1.69	1.7
7	1.65	1.62	1.62	1.62	1.75	1.75	1.75	1.75
8	1.6	1.62	1.64	1.6	1.72	1.71	1.68	1.7
9	1.65	1.62	1.63	1.63	1.74	1.69	1.7	1.71
10	1.62	1.65	1.65	1.62	1.72	1.72	1.67	1.75
11	1.62	1.61	1.6	1.6	1.67	1.68	1.69	1.68
12	1.6	1.65	1.62	1.6	1.67	1.72	1.72	1.72
13	1.65	1.6	1.62	1.61	1.71	1.71	1.7	1.71
14	1.6	1.63	1.6	1.63	1.68	1.72	1.7	1.72
15	1.62	1.65	1.65	1.6	1.75	1.67	1.75	1.72
16	1.61	1.6	1.63	1.6	1.7	1.7	1.7	1.71
17	1.6	1.62	1.6	1.62	1.69	1.69	1.68	1.69
18	1.6	1.61	1.64	1.63	1.73	1.67	1.68	1.72

Realizado por: LLORI Arturo & TAPIA Edison

En la tabla 5-3 constan los valores de la longitud del tallo medido en metros, con estos valores se realizó un Análisis Anova de un factor para determinar su diferencia significativa.

### **Planteamiento de la hipótesis**

Ho: La longitud del tallo en la yuca es igual en los dos suelos; Sig $\geq$  0,05

Hi: La longitud del tallo en la yuca es diferente en los dos suelos; Sig $\leq$ 0,05

Se realizó el análisis de varianza para determinar si existe una diferencia o igualdad en la longitud del tallo para rechazar o aceptar la hipótesis nula.

**Tabla 6-3:** Resultados cuadro ANOVA

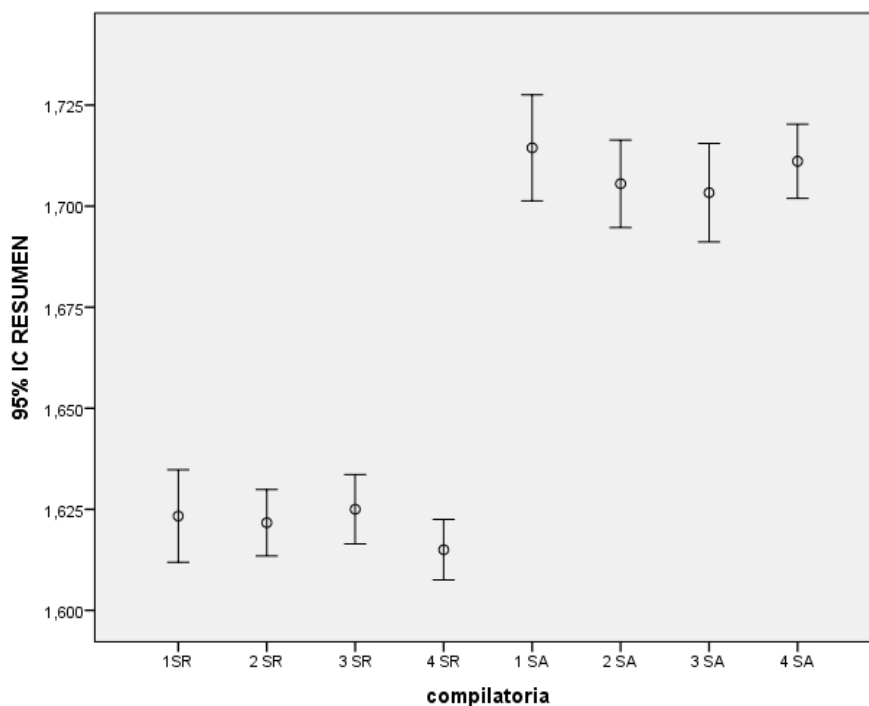
	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>gl</b>	<b>Media cuadrática</b>	<b>F</b>	<b>Sig.</b>
Inter-grupos	.277	7	.040	92.187	.000
Intra-grupos	.058	136	.000		
Total	.336	143			

Realizado por: LLORI Arturo & TAPIA Edison

### Decisión

Como la significancia es igual a 0,00 y menor que 0,005 entonces se desecha la hipótesis nula y se determina que la longitud de los tallos cultivados en cada suelo es diferente.

Los resultados aplicando el método de Tukey reflejan que existe una diferencia en la longitud de los tallos cultivados en suelo remediado frente a los tallos cultivados en suelo agrícola, en el gráfico 1-3 se observan las diferencias significativas.



**Gráfico 1-3:** Concentración-Bioacumulación (1 SR: Suelo remediado replica 1; 2 SR: Suelo remediado replica 2; 3 SR: Suelo remediado replica 3; 4 SR: Suelo remediado replica 4; 1 SA: Suelo agrícola replica 1; 2 SA: Suelo agrícola replica 2; 3 SA: Suelo agrícola replica 3; 4 SA: Suelo agrícola replica 4)



### 3.5.2 Número de ramas

Otro factor importante en la investigación fue determinar la respuesta en el número de ramas debido a la exposición por metales pesados, por lo que en la Tabla 7-3 se anotaron los datos que se registraron a las 18 semanas de la investigación.

**Tabla 7-3:** Número de ramas

PLANTA	Núm. Ramas Parcela 1 SR	Núm. Ramas Parcela 2 SR	Núm. Ramas Parcela 3 SR	Núm. Ramas Parcela 4 SR	Núm. Ramas Parcela 1 SA	Núm. Ramas Parcela 2 SA	Núm. Ramas Parcela 3 SA	Núm. Ramas Parcela 4 SA
1	2	1	2	1	2	3	3	4
2	1	1	2	1	2	2	3	3
3	1	2	2	1	2	3	3	3
4	1	1	1	1	4	3	2	4
5	2	1	1	2	3	2	2	2
6	1	2	2	2	3	2	3	4
7	2	2	2	1	2	3	2	3
8	1	1	1	1	3	4	2	2
9	1	2	2	2	4	3	2	2
10	2	1	1	2	3	4	3	2
11	1	2	1	1	3	4	3	3
12	2	1	2	1	2	2	4	2
13	2	2	1	1	2	3	2	2
14	2	2	2	2	3	3	3	4
15	1	2	1	1	2	2	4	3
16	1	1	2	1	4	3	2	2
17	2	1	1	2	2	4	3	2
18	2	1	2	2	3	3	4	3

Realizado por: LLORI Arturo & TAPIA Edison

En la tabla 7-3 constan los valores del número de ramas de cada planta, con estos valores se realizó un Análisis Anova de un factor para determinar su diferencia significativa.

#### Planteamiento de la hipótesis

Ho: El número de ramas de la planta de yuca es igual en los dos suelos; Sig $\geq$  0,05

Hi: El número de ramas de la planta de yuca es diferente en los dos suelos; Sig $\leq$ 0,05

Se realizó el análisis de varianza para determinar si existe una diferencia o igualdad en el número de ramas para rechazar o aceptar la hipótesis nula.

**Tabla 8-3:** Resultados cuadro ANOVA

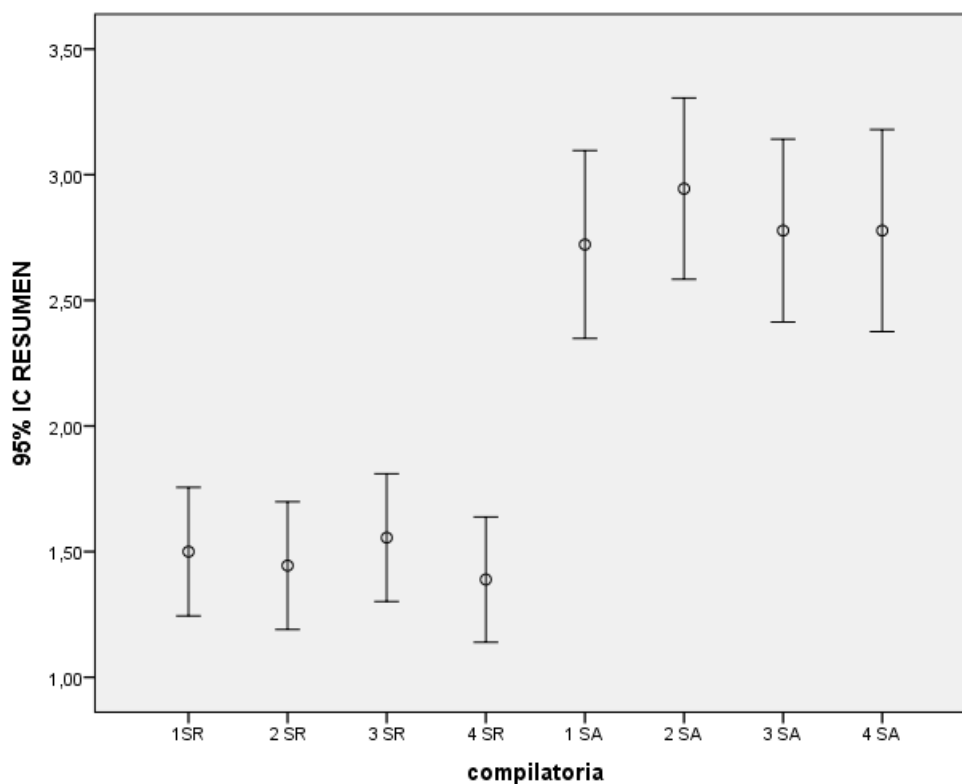
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	64.778	7	9.254	22.297	.000
Intra-grupos	56.444	136	.415		
Total	121.222	143			

Realizado por: LLORI Arturo & TAPIA Edison

## Decisión

Como la Significancia es igual a 0,00 y menor que 0,005 entonces se desecha la hipótesis nula y se determina que el número de ramas de las plantas cultivadas en cada suelo es diferente.

Los resultados aplicando el método de Tukey reflejan que existe una diferencia en el número de ramas de las plantas cultivadas en suelo remediado frente al número de ramas de las plantas cultivadas en suelo agrícola, en el gráfico 2-3 se observan las diferencias significativas.



**Gráfico 2-3:** Concentración-Bioacumulación (1 SR: Suelo remediado replica 1; 2 SR: Suelo remediado replica 2; 3 SR: Suelo remediado replica 3; 4 SR: Suelo remediado replica 4; 1 SA: Suelo agrícola replica 1; 2 SA: Suelo agrícola replica 2; 3 SA: Suelo agrícola replica 3; 4 SA: Suelo agrícola replica 4)

### 3.5.3 Número de hojas

Otro factor importante en la investigación fue determinar la respuesta en el número de hojas debido a la exposición por metales pesados, por lo que en la Tabla 9-3 se anotaron los datos que se registraron a las 18 semanas de la investigación.

**Tabla 9-3:** Número de hojas

PLANTA	Núm. Hojas Parcela 1 SR	Núm. Hojas Parcela 2 SR	Núm. Hojas Parcela 3 SR	Núm. Hojas Parcela 4 SR	Núm. Hojas Parcela 1 SA	Núm. Hojas Parcela 2 SA	Núm. Hojas Parcela 3 SA	Núm. Hojas Parcela 4 SA
1	95	94	90	94	108	102	99	101
2	90	96	94	90	101	102	101	99
3	94	90	94	92	105	98	97	109
4	95	92	90	93	99	101	103	105
5	89	91	93	89	107	105	107	100
6	95	90	90	90	111	97	100	106
7	92	94	94	91	109	99	106	98
8	91	92	93	89	109	101	99	101
9	94	90	90	94	110	103	102	105
10	92	90	91	90	98	101	105	101
11	91	92	90	92	97	98	99	99
12	91	92	95	92	99	102	106	104
13	96	90	90	93	110	110	99	107
14	90	94	90	94	100	107	101	106
15	93	92	93	93	104	105	98	100
16	90	90	94	91	100	101	104	99
17	89	93	91	91	99	99	100	98
18	92	94	94	94	108	97	99	107

Realizado por: LLORI Arturo & TAPIA Edison

En la tabla 9-3 constan los valores del número de hojas de cada planta, con estos valores se realizó un Análisis Anova de un factor para determinar su diferencia significativa.

#### Planteamiento de la hipótesis

Ho: El número de hojas de la planta de yuca es igual en los dos suelos; Sig $\geq$  0,05

Hi: El número de hojas de la planta de yuca es diferente en los dos suelos; Sig $\leq$ 0,05

Se realizó el análisis de varianza para determinar si existe una diferencia o igualdad en el número de hojas de las plantas cultivadas en cada suelo para rechazar o aceptar la hipótesis nula.

**Tabla 10-3:** Resultados cuadro ANOVA

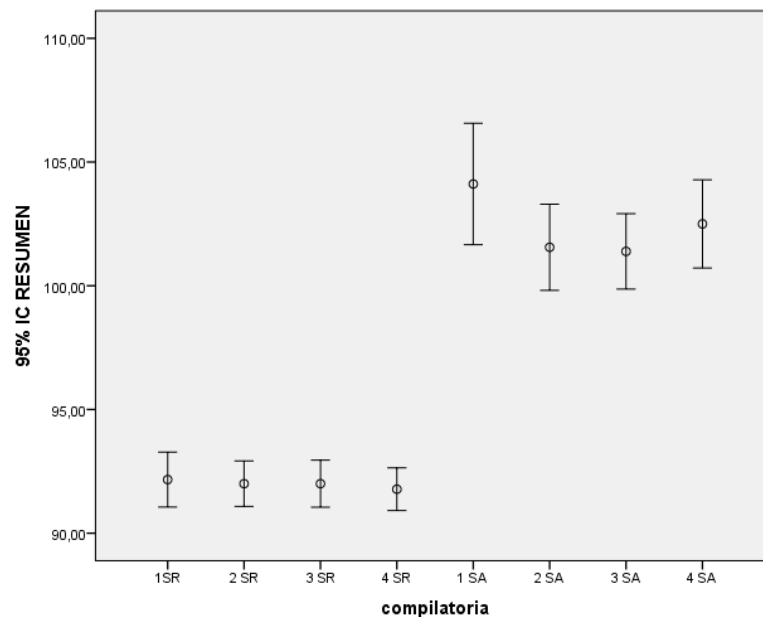
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	3981.326	7	568.761	61.556	.000
Intra-grupos	1256.611	136	9.240		
Total	5237.938	143			

Realizado por: LLORI Arturo & TAPIA Edison

### Decisión

Como la Significancia es igual a 0,00 y menor que 0,005 entonces se desecha la hipótesis nula y se determina que el número de hojas de las plantas cultivadas en cada suelo es diferente.

Los resultados aplicando el método de Tukey reflejan que existe una diferencia en el número de hojas de las plantas cultivadas en suelo remediado frente al número de hojas de las plantas cultivadas en suelo agrícola, en el gráfico 3-3 se observan las diferencias significativas.



**Gráfico 3-3:** Concentración-Bioacumulación (1 SR: Suelo remediado replica 1; 2 SR: Suelo remediado replica 2; 3 SR: Suelo remediado replica 3; 4 SR: Suelo remediado replica 4; 1 SA: Suelo agrícola replica 1; 2 SA: Suelo agrícola replica 2; 3 SA: Suelo agrícola replica 3; 4 SA: Suelo agrícola replica 4)

### 3.5.4 Número de Tubérculo por planta

Otro factor importante en la investigación fue determinar la respuesta en el número de tubérculos por planta debido a la exposición por metales pesados, por lo que en la Tabla 11-3 se anotaron los datos que se registraron a las 18 semanas de la investigación.

**Tabla 11-3:** Número de tubérculos por planta

PLANTA	Núm. Tubér. Parcela 1 SR	Núm. Tubér. Parcela 2 SR	Núm. Tubér. Parcela 3 SR	Núm. Tubér. Parcela 4 SR	Núm. Tubér. Parcela 1 SA	Núm. Tubér. Parcela 2 SA	Núm. Tubér. Parcela 3 SA	Núm. Tubér. Parcela 4 SA
1	3	3	3	3	4	5	4	4
2	3	3	3	3	4	4	4	4
3	3	4	4	3	3	5	3	4
4	4	3	3	4	5	4	4	5
5	3	3	4	3	4	4	4	4
6	4	4	4	3	5	4	5	4
7	4	4	4	3	4	5	4	5
8	3	4	3	4	5	5	5	5
9	3	3	3	4	4	4	5	5
10	2	2	4	2	4	5	5	4
11	4	3	4	3	4	5	4	4
12	4	3	3	3	4	5	4	5
13	3	4	3	2	5	4	5	4
14	3	3	3	3	5	4	5	4
15	3	3	4	4	4	4	4	4
16	4	4	4	4	5	4	4	4
17	3	3	4	3	4	5	4	5
18	4	3	3	3	4	5	5	4

Realizado por: LLORI Arturo & TAPIA Edison

En la tabla 11-3 constan los valores del número de los tubérculos de cada planta, con estos valores se realizó un Análisis Anova de un factor para determinar su diferencia significativa.

#### Planteamiento de la hipótesis

Ho: El número de tubérculos por planta de yuca es igual en los dos suelos; Sig $\geq$  0,05

Hi: El número de tubérculos por planta de yuca es diferente en los dos suelos; Sig $\leq$  0,05

Se realizó el análisis de varianza para determinar si existe una diferencia o igualdad en el número de tubérculos por planta cultivadas en cada suelo para rechazar o aceptar la hipótesis nula.

**Tabla 12-3:** Resultado cuadro ANOVA

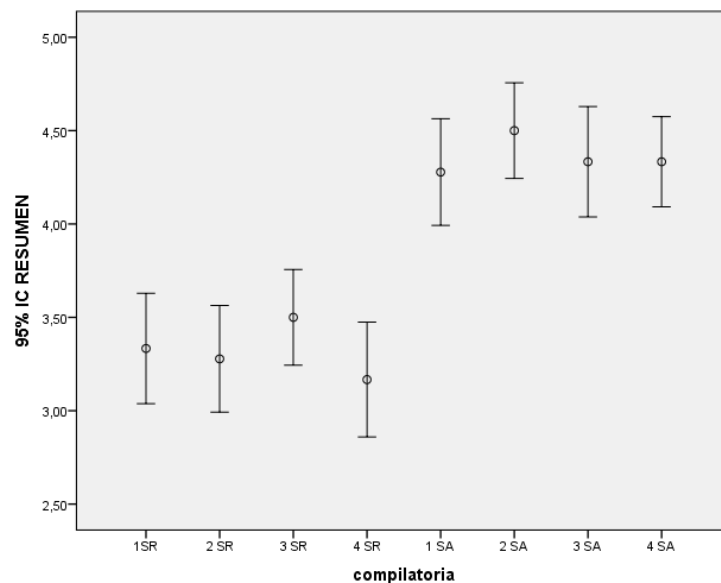
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	40.604	7	5.801	18.465	.000
Intra-grupos	42.722	136	.314		
Total	83.326	143			

Realizado por: LLORI Arturo & TAPIA Edison

### Decisión

Como la significancia es igual a 0,00 y menor que 0,005 entonces se desecha la hipótesis nula y se determina que el número de tubérculos por planta cultivada en cada suelo es diferente.

Los resultados aplicando el método de Tukey reflejan que existe una diferencia en el número de tubérculos por plantas cultivadas en suelo remediado frente al número de tubérculos por plantas cultivadas en suelo agrícola, en el gráfico 4-3 se observan las diferencias significativas.



**Gráfico 4-3:** Concentración-Bioacumulación (1 SR: Suelo remediado replica 1; 2 SR: Suelo remediado replica 2; 3 SR: Suelo remediado replica 3; 4 SR: Suelo remediado replica 4; 1 SA: Suelo agrícola replica 1; 2 SA: Suelo agrícola replica 2; 3 SA: Suelo agrícola replica 3; 4 SA: Suelo agrícola replica 4)

### 3.5.5 Longitud del tubérculo

Otro factor importante en la investigación fue determinar la respuesta en la longitud del tubérculo debido a la exposición por metales pesados, por lo que en la Tabla 13-3 se anotaron los datos que se registraron a las 18 semanas de la investigación.

**Tabla 13-3:** Longitud del tubérculo

PLANT A	Long. Tubérculo Parcela 1 SR	Long. Tubérculo Parcela 2 SR	Long. Tubérculo Parcela 3 SR	Long. Tubérculo Parcela 4 SR	Long. Tubérculo Parcela 1 SA	Long. Tubérculo Parcela 2 SA	Long. Tubérculo Parcela 3 SA	Long. Tubérculo Parcela 4 SA
1	0.38	0.39	0.38	0.37	0.55	0.5	0.49	0.5
2	0.37	0.39	0.37	0.39	0.49	0.52	0.5	0.48
3	0.39	0.38	0.39	0.39	0.5	0.51	0.52	0.5
4	0.36	0.37	0.39	0.38	0.48	0.5	0.48	0.49
5	0.38	0.38	0.38	0.37	0.51	0.5	0.51	0.5
6	0.38	0.37	0.38	0.39	0.5	0.48	0.5	0.51
7	0.39	0.38	0.37	0.38	0.51	0.52	0.49	0.52
8	0.38	0.39	0.36	0.38	0.51	0.5	0.51	0.5
9	0.37	0.38	0.38	0.38	0.5	0.49	0.48	0.48
10	0.39	0.36	0.39	0.39	0.47	0.5	0.48	0.51
11	0.38	0.37	0.38	0.39	0.45	0.47	0.52	0.5
12	0.36	0.38	0.37	0.37	0.46	0.5	0.49	0.49
13	0.37	0.38	0.38	0.39	0.5	0.51	0.5	0.48
14	0.38	0.37	0.39	0.38	0.47	0.5	0.48	0.5
15	0.37	0.39	0.39	0.39	0.5	0.46	0.5	0.5
16	0.39	0.39	0.36	0.39	0.49	0.47	0.49	0.49
17	0.39	0.38	0.39	0.38	0.48	0.5	0.51	0.5
18	0.38	0.37	0.38	0.37	0.5	0.48	0.47	0.48

Realizado por: LLORI Arturo & TAPIA Edison

En la tabla 13-3 constan los valores de la longitud de los tubérculos de cada planta, con estos valores se realizó un Análisis Anova de un factor para determinar su diferencia significativa.

### Planteamiento de la hipótesis

Ho: La longitud de los tubérculos de la planta de yuca es igual en los dos suelos; Sig $\geq$  0,05

Hi: La longitud de los tubérculos de la planta de yuca es diferente en los dos suelos; Sig<=0,05

Se realizó el análisis de varianza para determinar si existe una diferencia o igualdad en la longitud de los tubérculos las plantas cultivadas en cada suelo para rechazar o aceptar la hipótesis nula.

**Tabla 14-3:** Resultados cuadro ANOVA

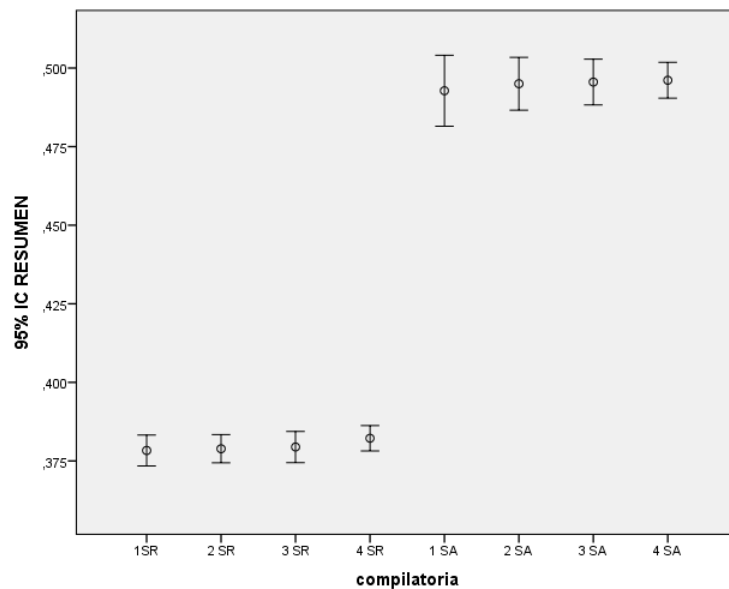
	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>gl</b>	<b>Media cuadrática</b>	<b>F</b>	<b>Sig.</b>
Inter-grupos	.478	7	.068	366.465	.000
Intra-grupos	.025	136	.000		
Total	.503	143			

Realizado por: LLORI Arturo & TAPIA Edison

### Decisión

Como la Significancia es igual a 0,00 y menor que 0,005 entonces se desecha la hipótesis nula y se determina que la longitud de los tubérculos de las plantas cultivadas en cada suelo es diferente.

Los resultados aplicando el método de Tukey reflejan que existe una diferencia en la longitud de los tubérculos de las plantas cultivadas en suelo remediado frente a la longitud de los tubérculos de las plantas cultivadas en suelo agrícola, en el gráfico 5-3 se observan las diferencias significativas.





**Gráfico 5-3:** Concentración-Bioacumulación (1 SR: Suelo remediado replica 1; 2 SR: Suelo remediado replica 2; 3 SR: Suelo remediado replica 3; 4 SR: Suelo remediado replica 4; 1 SA: Suelo agrícola replica 1; 2 SA: Suelo agrícola replica 2; 3 SA: Suelo agrícola replica 3; 4 SA: Suelo agrícola replica 4)

### 3.5.6 *Peso del tubérculo*

Otro factor importante en la investigación fue determinar la respuesta es el peso del tubérculo debido a la exposición por metales pesados, por lo que en la Tabla 15-3 se anotaron los datos que se registraron a las 18 semanas de la investigación.

**Tabla 15-3:** Peso del tubérculo

PLANT A	Peso Tubérculo o Parcela 1 SR	Peso Tubérculo o Parcela 2 SR	Peso Tubérculo o Parcela 3 SR	Peso Tubérculo o Parcela 4 SR	Peso Tubérculo o Parcela 1 SA	Peso Tubérculo o Parcela 2 SA	Peso Tubérculo o Parcela 3 SA	Peso Tubérculo o Parcela 4 SA
1	443.85	446.09	441.08	439.79	910.15	932.11	895.48	891.87
2	440.98	445.79	439.92	441.65	908.35	899.46	897.04	887.23
3	446.1	454.21	454.66	440.89	882.56	932.98	899.5	892.45
4	455.6	440.79	441.87	454.06	930.21	901.57	891.29	894.81
5	442.49	441.89	453.55	440.13	911.01	899.43	891.87	890.37
6	456.98	451.07	453.79	443.56	928.64	892.67	929.53	894.83
7	459.02	455.29	452.44	442.65	890.39	931.34	890.79	932.65
8	441.76	456.52	439.34	453.87	926.71	928.91	931.32	927.99
9	439.87	440.68	440.62	453.77	899.17	891.77	920.99	921.77
10	398.49	395.04	455.04	396.88	893.59	929.65	919.1	893.46
11	455.66	440.56	454.1	444.07	897.47	920.19	897.39	891.74
12	450.18	441.65	440.4	439.76	900.65	929.58	892.01	892.56
13	441.03	454.21	441.07	395.99	932.12	890.11	929.45	889.18
14	441.99	439.67	441.95	441.78	929.87	889.78	922.31	891.31
15	439.37	442.51	454.66	455.54	891.48	880.69	893.54	890.98
16	458.67	455.93	450.41	455.41	921.39	882.07	890.89	890.02
17	445.89	440.38	455.09	440.2	887.88	930.21	894.68	931.69
18	453.99	439.79	441.02	439.06	893.65	924.62	896.76	889.37

Realizado por: LLORI Arturo & TAPIA Edison

En la tabla 15-3 constan los valores del peso de los tubérculos de cada planta, con estos valores se realizó un Análisis Anova de un factor para determinar su diferencia significativa.

## Planteamiento de la hipótesis

Ho: El peso de los tubérculos de la planta de yuca es igual en los dos suelos; Sig $\geq$  0,05

Hi: El peso de los tubérculos de la planta de yuca es diferente en los dos suelos; Sig $\leq$ 0,05

Se realizó el análisis de varianza para determinar si existe una diferencia o igualdad en el peso de los tubérculos las plantas cultivadas en cada suelo para rechazar o aceptar la hipótesis nula.

**Tabla 16-3:** Resultados cuadro ANOVA

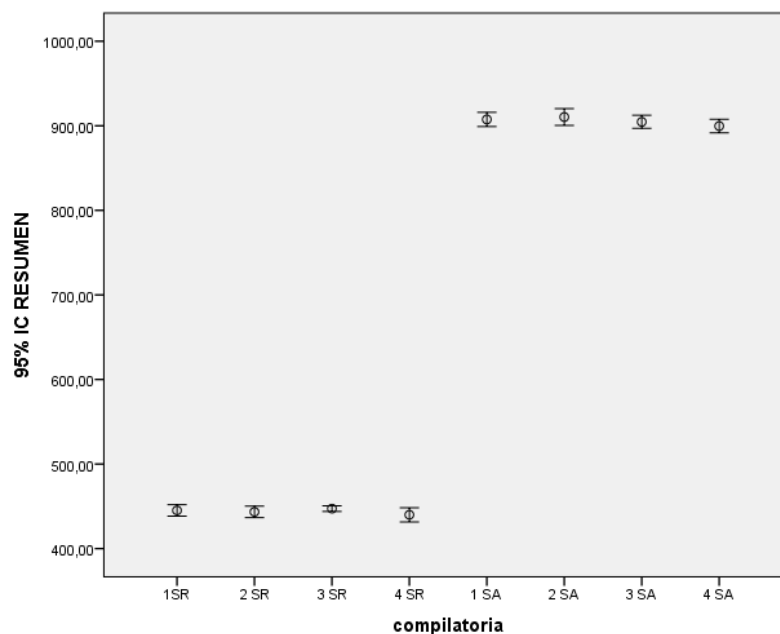
	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>gl</b>	<b>Media cuadrática</b>	<b>F</b>	<b>Sig.</b>
Inter-grupos	7672893.019	7	1096127.574	4654.592	.000
Intra-grupos	32027.155	136	235.494		
Total	7704920.173	143			

Realizado por: LLORI Arturo & TAPIA Edison

## Decisión

Como la Significancia es igual a 0,00 y menor que 0,005 entonces se desecha la hipótesis nula y se determina que el peso de los tubérculos de las plantas cultivadas en cada suelo es diferente.

Los resultados aplicando el método de Tukey reflejan que existe una diferencia en el peso de los tubérculos de las plantas cultivadas en suelo remediado frente al peso de los tubérculos de las plantas cultivadas en suelo agrícola, en el gráfico 6-3 se observan las diferencias significativas.



**Gráfico 6-3:** Concentración-Bioacumulación (1 SR: Suelo remediado replica 1; 2 SR: Suelo remediado replica 2; 3 SR: Suelo remediado replica 3; 4 SR: Suelo remediado replica 4; 1 SA: Suelo agrícola replica 1; 2 SA: Suelo agrícola replica 2; 3 SA: Suelo agrícola replica 3; 4 SA: Suelo agrícola replica 4)

### 3.6 Resultados de los análisis de metales pesados después de la cosecha en suelo agrícola y suelo remediado

Se enviaron muestras de suelo de cada parcela después de cosechar la yuca al laboratorio LABSU para analizar las concentraciones de trazas de metales pesados finales y poder determinar si hubo algún tipo de alteración de las mismas.

**Tabla 17-3:** Análisis de suelo agrícola después del cultivo

SUELO AGRÍCOLA PARCELA 1		
METAL	[ ] INICIAL	[ ] FINAL
Cadmio	0,25	<0,500
Níquel	<10	<10
Plomo	<10	<10
Cobre	<10	13,5
Manganeso	49,70	98,9
SUELO AGRÍCOLA PARCELA 2		
METAL	[ ] INICIAL	[ ] FINAL
Cadmio	0,25	<0,500
Níquel	<10	10,2

Plomo	<10	<10
Cobre	<10	14,4
Manganeso	49,70	116
<b>SUELO AGRÍCOLA PARCELA 3</b>		
<b>METAL</b>	<b>[ ] INICIAL</b>	<b>[ ] FINAL</b>
Cadmio	0,25	<0,500
Níquel	<10	<10
Plomo	<10	<10
Cobre	<10	14,1
Manganeso	49,70	111
<b>SUELO AGRÍCOLA PARCELA 4</b>		
<b>METAL</b>	<b>[ ] INICIAL</b>	<b>[ ] FINAL</b>
Cadmio	0,25	<0,500
Níquel	<10	<10
Plomo	<10	<10
Cobre	<10	11,5
Manganeso	49,70	125

Realizado por: LLORI Arturo & TAPIA Edison

**Tabla 18-3:** Análisis de suelo remediado después del cultivo

<b>SUELO REMEDIADO PARCELA 1</b>		
<b>METAL</b>	<b>[ ] INICIAL</b>	<b>[ ] FINAL</b>
Cadmio	0,63	0,823
Níquel	16,31	21,2
Plomo	11,85	15,8
Cobre	24,61	28,7
Manganeso	456,86	490
<b>SUELO REMEDIADO PARCELA 2</b>		
<b>METAL</b>	<b>[ ] INICIAL</b>	<b>[ ] FINAL</b>
Cadmio	0,63	1,02
Níquel	16,31	25,6
Plomo	11,85	19,9
Cobre	24,61	36,1
Manganeso	456,86	618
<b>SUELO REMEDIADO PARCELA 3</b>		
<b>METAL</b>	<b>[ ] INICIAL</b>	<b>[ ] FINAL</b>
Cadmio	0,63	0,748
Níquel	16,31	20,3

Plomo	11,85	14,5
Cobre	24,61	27,1
Manganeso	456,86	463
<b>SUELO REMEDIADO PARCELA 4</b>		
<b>METAL</b>	<b>[ ] INICIAL</b>	<b>[ ] FINAL</b>
Cadmio	0,63	0,808
Níquel	16,31	19,9
Plomo	11,85	14,5
Cobre	24,61	27,3
Manganeso	456,86	488

Realizado por: LLORI Arturo & TAPIA Edison

### Planteamiento de la hipótesis

Ho: Las concentraciones de los metales pesados se mantienen; Sig $\geq$  0,05

Hi: Al menos una de las concentraciones de metales pesados es diferente; Sig $\leq$ 0,05

Se realizó el análisis de varianza para determinar si existe una diferencia entre las concentraciones de los metales si se mantienen para rechazar o aceptar la hipótesis nula.

**Tabla 19-3:** Resultados cuadro ANOVA

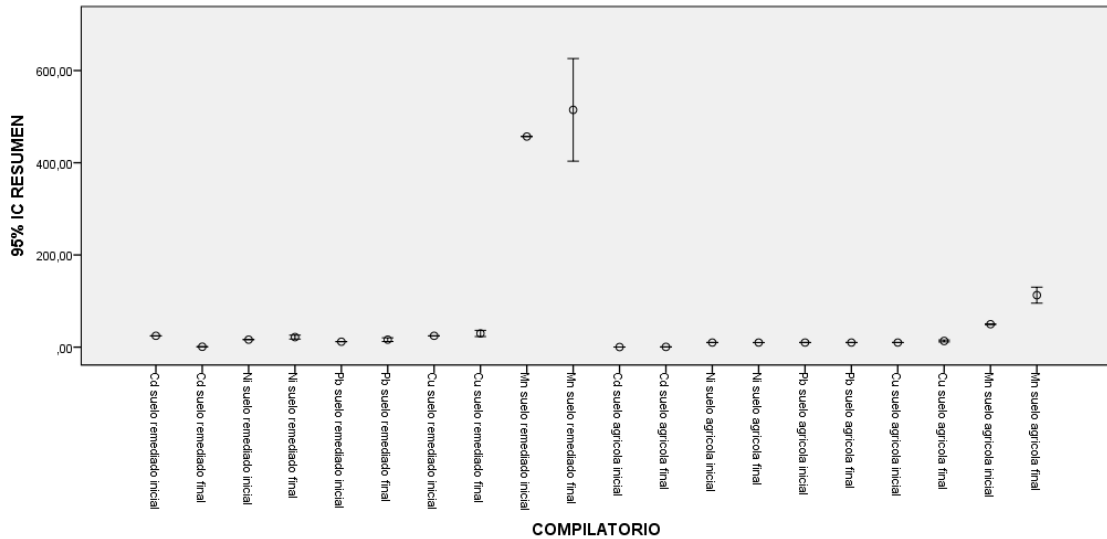
	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	1609792,390	19	84725,915	336,166	,000
Intra-grupos	15122,154	60	252,036		
Total	1624914,545	79			

Realizado por: LLORI Arturo & TAPIA Edison

### Decisión

Como la Significancia es igual a 0,00 y menor que 0,005 entonces se desecha la hipótesis nula y se determina que al menos que una de las concentraciones de los metales pesados es diferente.

Los resultados aplicando el método de Tukey refleja que existe un aumento en la concentración del manganeso, en el gráfico 7-3 se observan las diferencias significativas.



**Gráfico 7-3:** Concentración-Bioacumulación (1 SR: Suelo remediado replica 1; 2 SR: Suelo remediado replica 2; 3 SR: Suelo remediado replica 3; 4 SR: Suelo remediado replica 4; 1 SA: Suelo agrícola replica 1; 2 SA: Suelo agrícola replica 2; 3 SA: Suelo agrícola replica 3; 4 SA: Suelo agrícola replica 4)

### 3.7 Estimación de dosis.

En base a los resultados obtenidos de los análisis del tubérculo de yuca se procedió a estimar la dosis de exposición por ingesta de alimentos con presencia de concentraciones de metales pesados en un tiempo determinado.

Se realizaron encuestas a 15 pobladores de edad adulta de la zona de influencia en la Parroquia Taracoa, los datos obtenidos del consumo de yuca fluctuó entre 400 a 600 gramos/semana por habitante y con una frecuencia de exposición de 3 días/semana, tomando en cuenta que factor de exposición, EF=0,43 en un adulto.

$$EF = \frac{F \times ED}{T}$$

$$EF = \frac{\left(\frac{3 \text{ días}}{\text{semana}}\right) \left(52 \frac{\text{semanas}}{\text{año}}\right) \times 70 \text{ años}}{(70 \text{ años}) \left(365 \frac{\text{días}}{\text{año}}\right)}$$

$$EF = 0,43$$

En un niño en el factor de exposición es de:

$$EF = \frac{F \times ED}{T}$$

$$EF = \frac{\left(\frac{3 \text{ días}}{\text{semana}}\right) \left(52 \frac{\text{semanas}}{\text{año}}\right) \times 6 \text{ años}}{(6 \text{ años}) \left(365 \frac{\text{días}}{\text{año}}\right)}$$

$$EF = 0,43$$

Dosis de exposición en adultos y niños

$$ED = \frac{C \times IR \times CF}{BW}$$

Dónde: ED=dosis e. exposición (mg/kg/día)      CF=factor conversión (=1 kg/1000 g)  
 C=concentración exposición (mg/kg)      EF=factor exposición (frecuencia)  
 IR=tasa ingestión (g/día)      BW=peso corporal (kg)

Para el cálculo de la dosis de exposición de alimentos con concentraciones de cadmio se trabajó con los siguientes datos:

ADULTO

C Cd = 0,5 mg/Kg

IR = 200 g/día

EF = 0,43

BW = 70 Kg

$$ED = C \times IR \times CF \times \frac{EF}{BW}$$

$$ED = 0,5 \frac{\text{mg}}{\text{Kg}} \times \frac{200\text{g}}{\text{día}} \times \frac{1\text{kg}}{1000} \text{g} \times \frac{0,43}{70 \text{ Kg}}$$

$$ED = 0,0006 \frac{\text{mg}}{\text{kg}} \text{ día}$$

NIÑO DE 1 A 6 AÑOS

C Cd = 0,5 mg/Kg

$$IR = 100 \text{ g/día}$$

$$EF = 0,43$$

$$BW = 16 \text{ Kg}$$

$$ED = C \times IR \times CF \times \frac{EF}{BW}$$

$$ED = 0,5 \frac{\text{mg}}{\text{Kg}} \times \frac{100 \text{ g}}{\text{día}} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} \times \frac{0,43}{16 \text{ Kg}}$$

$$ED = 0,001 \frac{\text{mg}}{\text{kg}} \text{ día}$$

Para el cálculo de la dosis de exposición de alimentos con concentraciones de níquel se trabajó con los siguientes datos:

ADULTO

$$C \text{ Ni} = 10 \text{ mg/Kg}$$

$$IR = 200 \text{ g/día}$$

$$EF = 0,43$$

$$BW = 70 \text{ Kg}$$

$$ED = C \times IR \times CF \times \frac{EF}{BW}$$

$$ED = 10 \frac{\text{mg}}{\text{Kg}} \times \frac{200 \text{ g}}{\text{día}} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} \times \frac{0,43}{70 \text{ Kg}}$$

$$ED = 0,01 \frac{\text{mg}}{\text{kg}} \text{ día}$$

NIÑO DE 1 A 6 AÑOS

$$C \text{ Ni} = 10 \text{ mg/Kg}$$

$$IR = 100 \text{ g/día}$$

$$EF = 0,43$$



$$BW = 16 \text{ Kg}$$

$$ED = C \times IR \times CF \times \frac{EF}{BW}$$

$$ED = 10 \frac{\text{mg}}{\text{Kg}} \times \frac{100 \text{ g}}{\text{día}} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} \times \frac{0,43}{16 \text{ Kg}}$$

$$ED = 0,03 \frac{\text{mg}}{\text{kg}} \text{ día}$$

Para el cálculo de la dosis de exposición de alimentos con concentraciones de plomo se trabajó con los siguientes datos:

ADULTO

$$C \text{ Pb} = 10 \text{ mg/Kg}$$

$$IR = 200 \text{ g/día}$$

$$EF = 0,43$$

$$BW = 70 \text{ Kg}$$

$$ED = C \times IR \times CF \times \frac{EF}{BW}$$

$$ED = 10 \frac{\text{mg}}{\text{Kg}} \times \frac{200 \text{ g}}{\text{día}} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} \times \frac{0,43}{70 \text{ Kg}}$$

$$ED = 0,01 \frac{\text{mg}}{\text{kg}} \text{ día}$$

NIÑO DE 1 A 6 AÑOS

$$C \text{ Pb} = 10 \text{ mg/Kg}$$

$$IR = 100 \text{ g/día}$$

$$EF = 0,43$$

$$BW = 16 \text{ Kg}$$

$$ED = C \times IR \times CF \times \frac{EF}{BW}$$

$$ED = 10 \frac{mg}{Kg} \times \frac{100 g}{día} \times \frac{1kg}{1000} g \times \frac{0,43}{16 Kg}$$

$$ED = 0,03 \frac{mg}{kg} día$$

Para el cálculo de la dosis de exposición de alimentos con concentraciones de cobre se trabajó con los siguientes datos:

ADULTO

C Cu = 10 mg/Kg

IR = 200 g/día

EF = 0,43

BW = 70 Kg

$$ED = C \times IR \times CF \times \frac{EF}{BW}$$

$$ED = 10 \frac{mg}{Kg} \times \frac{200g}{día} \times \frac{1kg}{1000g} \times \frac{0,43}{70 Kg}$$

$$ED = 0,01 \frac{mg}{kg} día$$

NIÑO DE 1 A 6 AÑOS

C Cu = 10 mg/Kg

IR = 100 g/día

EF = 0,43

BW = 16 Kg

$$ED = C \times IR \times CF \times \frac{EF}{BW}$$

$$ED = 10 \frac{mg}{Kg} \times \frac{100 g}{día} \times \frac{1kg}{1000 g} \times \frac{0,43}{16 Kg}$$

$$ED = 0,03 \frac{mg}{kg} día$$

Para el cálculo de la dosis de exposición de alimentos con concentraciones de manganeso se trabajó con los siguientes datos:

ADULTO

C Mn = 10 mg/Kg

IR = 200 g/día

EF = 0,43

BW = 70 Kg

$$ED = C \times IR \times CF \times \frac{EF}{BW}$$

$$ED = 10 \frac{mg}{Kg} \times \frac{200g}{día} \times \frac{1kg}{1000g} \times \frac{0,43}{70 Kg}$$

$$ED = 0,01 \frac{mg}{kg} día$$

NIÑO DE 1 A 6 AÑOS

C Mn = 10 mg/Kg

IR = 100 g/día

EF = 0,43

BW = 16 Kg

$$ED = C \times IR \times CF \times \frac{EF}{BW}$$

$$ED = 10 \frac{mg}{Kg} \times \frac{100 g}{día} \times \frac{1kg}{1000} g \times \frac{0,43}{16 Kg}$$

$$ED = 0,03 \frac{mg}{kg} día$$

## CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en laboratorio demostraron que el tubérculo de la especie *Manihot esculenta*; Crantz cultivada en un suelo con presencia de trazas de metales no reportó concentración de los mismos, motivo por el cual se concluyó que el tubérculo no posee la capacidad de bioacumular trazas de metales pesados.

Transcurridas 18 semanas y después de la cosecha, los tubérculos fueron analizados en laboratorio, cuyos resultados fueron alentadores, permitiendo constatar que no existió concentración alguna de trazas de metales pesados, por lo cual se concluyó que el tubérculo no tiene la capacidad para absorber.

Con los datos obtenidos en la presente investigación se realizó el cálculo de la dosis de exposición tomando en cuenta las concentraciones de Cd, Ni, Pb, Cu y Mn encontradas en la yuca cultivada en suelo remediado en la parroquia Taracoa, siendo estos los resultados adquiridos; Cadmio 0,0006 mg/Kg/día, Níquel 0,01 mg/Kg/día, Plomo 0,01 mg/Kg/día, Cobre 0,01 mg/Kg/día y Manganeso 0,01 mg/Kg/día en adultos; y los siguientes resultados en niños Cadmio 0,001 mg/Kg/día, Níquel 0,03 mg/Kg/día, Plomo 0,03 mg/Kg/día, Cobre 0,03 mg/Kg/día y Manganeso 0,03 mg/Kg/día, por tanto se concluye que las concentraciones reportadas en los tubérculos de esta investigación no presentan un riesgo para la salud por ser concentraciones menores al límite.

En base a observación directa, recolección de datos y análisis estadísticos de las características físicas y morfológicas de la planta como: la longitud del tallo, número de hojas, número de ramas, número de tubérculos, longitud del tubérculo, peso del tubérculo, se determinó que la presencia de trazas de metales en el suelo remediado afectó directamente el crecimiento normal de la planta, observándose diferencias significativas frente a las plantas que fueron cultivadas en el suelo agrícola.

## **RECOMENDACIONES**

Realizar análisis del suelo previo a la siembra de yuca para descartar la presencia de metales pesados que puedan afectar la producción y así perfeccionar la técnica de cultivo.

Por ser un estudio nuevo, se sugiere Investigar la bioacumulación de metales pesados en las hojas y en el tallo de la especie *Manihot esculenta*; Crantz, para lograr entender de una mejor manera los efectos ecotoxicológicos que sufre esta especie.

Para reducir el margen de error entre resultados se recomienda realizar los análisis iniciales y finales en un mismo laboratorio.

## **BIBLIOGRAFÍA**

**ANDRANGO SILVA, Sintia Jaqueline.** *Diseño de un plan de gestión administrativa y logística para la compañía M-I Overseas Limited Ecuador Branch dedicada a la prestación de servicios a la industria petrolera. Caso línea de negocios WP (Wellbore Productivity o Productividad del Pozo petrolero* (tesis) (Grado) Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador. 2011. pp. 1-3, 24-26.

**BAKER, A.** "Accumulators and excluders-strategies in the response of plants to heavy metals". *Journal of plant nutrition*, [En línea] 2008 (United State of America) 3(1-4), pp. 643-654 . Disponible en: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01904168109362867>

**BECERRIL, et.al.** "Especies nativas de suelos contaminados por metales: aspectos ecofisiológicos y su uso en fitorremediación". *Ecosistemas*. [En línea], 2007, (Madrid) 16(2), pp. 50-55. [Consulta: 01 junio 2017]. Disponible en: <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/viewFile/128/125>

**CADAVID, L.** Conservación de Suelo Dedicado al cultivo de yuca. *La yuca del tercer milenio. Sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización*. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Cali, Colombia, 2002. pp. 104-125

**CUBA.INSTITUTO NACIONAL DE HIGIENE EPIDEMIOLOGÍA Y MICROBIOLOGÍA.** *Agua y Salud*. Editorial de Ciencias Médicas. La Habana, Cuba, 1992. pp. 20-59

**ESTADOS UNIDOS. AGENCIA PARA SUSTANCIAS TÓXICAS Y EL REGISTRO DE ENFERMEDADES,** Atlanta., [En línea]. 2016. [Consulta: 12 junio 2017]. Disponible en: <https://www.atsdr.cdc.gov/es/index.html>

**ESTADOS UNIDOS.AGENCIA PARA SUSTANCIAS TÓXICAS Y EL REGISTRO DE ENFERMEDADES,** Dosis de exposición. *Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades*. Atlanta. [En línea], 2008. [Consulta: 15 junio 2017]. Disponible en: [https://www.atsdr.cdc.gov/es/training/pha\\_professional2/module3/sv7.html](https://www.atsdr.cdc.gov/es/training/pha_professional2/module3/sv7.html)

**ESTADOS UNIDOS.AGENCIA PARA SUSTANCIAS TÓXICAS Y EL REGISTRO DE ENFERMEDADES,** Manganeso. *Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de*

*Enfermedades*.Atlanta., [En línea]. 2000. [Consulta: 16 junio 2017]. Disponible en:<https://www.atsdr.cdc.gov/es/>

**FERNÁNDEZ , Ramón..** *Técnicas de plasma de masas ICP-MS* : 45 Medidas de la página. [En línea]. [Consulta: 28 mayo 2017]. Disponible en: [https://www.uam.es/personal\\_pas/txrf/icpms.html](https://www.uam.es/personal_pas/txrf/icpms.html)

**GOMEZ, OREA , Domingo.** Recuperación de espacios degradados. Madrid-España: Mundi-Prensa. 2004. pp 500

**GUNNAR, Nordberg.** Metales : propiedades química y toxicidad. En: *Enciclopedia de la Salud y seguridad en el trabajo*. Madrid, D-INSHT, 2000. p. 78.

**HOWELER, RH. & CADAVID, LF.** *Accumulation and distribution of dry matter and nutrients during a 12 month cycle of cassava*. Field Crops Research. Holanda, 1983. pp. 123-139

**INFOAGRO.***El cultivo de la Yuca*. [En línea] España., 2009. [Consulta: 12 junio 2017]. Disponible en:<https://www.atsdr.cdc.gov/es/index.html>

**LLUNGANY, M., TOLRÀ, R., POSCHENRIEDER, C. & BARCELLÓ, J., .** "Hiperacumulación de metales: ¿una ventaja para la planta y para el hombre?". *Ecosistemas*, [En línea], 2007, (Madrid) 16(2), pp. 4-9. [Consulta: 01 junio 2017]. Disponible en: <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/7664>

**LÓPEZ PINTO, Mónica.** *El trabajo nocturno en la actividad petrolera. El caso de los trabajadores del área de producción del campo petrolero Auca Provincia de Orellana* (tesis) (Grado) Universidad Católica del Ecuador Facultad de Ciencias Humanas, Escuela de Antropología, Quito - Ecuador. 2011.pp.43-44.

**LOVATO PONCE, Edison Santiago.** *Prefactilidad técnica -economica para la instalación de una planta procesadora del chontaduro, plátano y yuca producidos en el cantón Tiwintza*, (tesis) (Grado) Escuela Politecnica Nacional, Facultad de Ingeniería Química y Agroindustrial. Quito - Ecuador. 2010. pp 1-11.

**MALDONADO , Adolfo . & NARVAEZ , Alberto.** Ecuador ni es ni será país Amazónico. Acción ecológica. Quito-Ecuador. 2003. pp. 6-71.



**MEDEROS , Victor.** "Embriogénesis somática en yuca (*Manohot esculenta Crantz*)", *Cultivos Tropiclaes*. [En línea], 2006, (La Habana) 32(3), pp. 50-55. [Consulta: 12 junio 2017]. SSN 0258-5936. Disponible en: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0258-59362011000300004](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362011000300004)

**MEDINA MARCOS, Katy Damacia. & MONTANO, CHAVEZ, Yeidi Nayclin.** "Determinación del factor de bioconcentración y traslocación de metales pesados en el *Juncus arcticus Willd.* Y *Cortaderia rudiusscula Stapf*, de áreas contaminadas con el pasivo ambiental minero alianza - Ancash 2013" [En línea] (tesis) (Grado), Universidad Nacional "Santiago Antúnez de Mayolo". Facultad Ciencias del Ambiente, Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental, Huaraz-Perú. 2013. pp. 20-41[Consulta: 31 mayo 2017] Disponible en: [http://biorem.univie.ac.at/fileadmin/user\\_upload/p\\_biorem/education/research/publications/Theses/Tesis\\_Medina\\_y\\_Montano\\_2014.pdf](http://biorem.univie.ac.at/fileadmin/user_upload/p_biorem/education/research/publications/Theses/Tesis_Medina_y_Montano_2014.pdf)

**MONTES, PAGUAY , Luis, Edwin,** "Espacialización de concentración de metales pesados cromo zinc y plomo en el complejo industrial fabrilfame y propuesta de remediación de suelos".[En línea] (tesis) (Grado), Departamento de Ciencias de la Tierra y Construcción, Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente. Sangolquí - Ecuador. 2014. pp. 38-89. [Consulta: 22 mayo 2017] Disponible en: <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/8202/1/T-ESPE-047869.pdf>

**NAVARRO, J., AGUILAR, I.,& LÓPEZ, J.** "Aspectos bioquímicos y genéticos de la tolerancia y acumulación de metales pesados en plantas" *Ecosistemas*. [En línea], 2007, (Alicante) 16(2), pp. 1-17. [Consulta: 12 junio 2017]. SSN 1132-6344. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=54016203>

**O'ROURKEL, D. & CONNOLLY, S.,** "Just oil? The distribution of enviromental and social impacts of oil production and consumption". *Annu. Rev. Environ. Resour*, n°1 (2003). Massachusests. pp. 587-617.

**OLIVARES, ELizabeth. & PEÑA , Eder.** "Bioconcentración de elementos minerales en *Amaranthus dubius* (bledo, pira), creciendo silvestre en cultivos del estado Miranda, Venezuela y utilizado en la alimentación". *Interciencia*, n°34 (9), (2009). Miranda. pp. 604-611. 2009.

**OXFORD UNIVERSITY.** *Higson: Analytical Chemistry.* [blog] [Consulta: 05 mayo 2017]. Disponible en: [http://fdslive.oup.com/www.oup.com/orc/resources/chemistry/higson/resources/manual/sols\\_ch07.pdf](http://fdslive.oup.com/www.oup.com/orc/resources/chemistry/higson/resources/manual/sols_ch07.pdf)

**PELUFFO , Guillermo.** El cultivo de la yuca [Blog] [Consulta: 13 junio 2017]. Disponible en: <http://elcultivodelayuca11jm.blogspot.com/2013/05/descripcion-de-la-yuca.html>

**RAMOS, MIRRAS, José, Joaquín .** *Estudio de la Contaminación por metales pesados y otros procesos de degradación química en los suelos de invernadero del poniente almeriense,* Almería - España, Uninersidad de Almería, 2002. pp. 150

**ROBERTSON, W.O., DREISBACH, R.H.** *Toxicología Clínica.* Editorial el Manuel Moderno, México, Distrito Federal, México, 1988. pp. 205-231

**SANGABRIEL, Wendy, et.al. ,** " Tolerancia y capacidad de fitorremediacion de combustóleo en el suelo por seis especies vegetales " *Revista internacional de contaminación ambiental.* [En línea], 2006, (México) (2), pp. 63-73. [Consulta: 26 mayo 2017]. SSN 0188-4999. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=37022201>

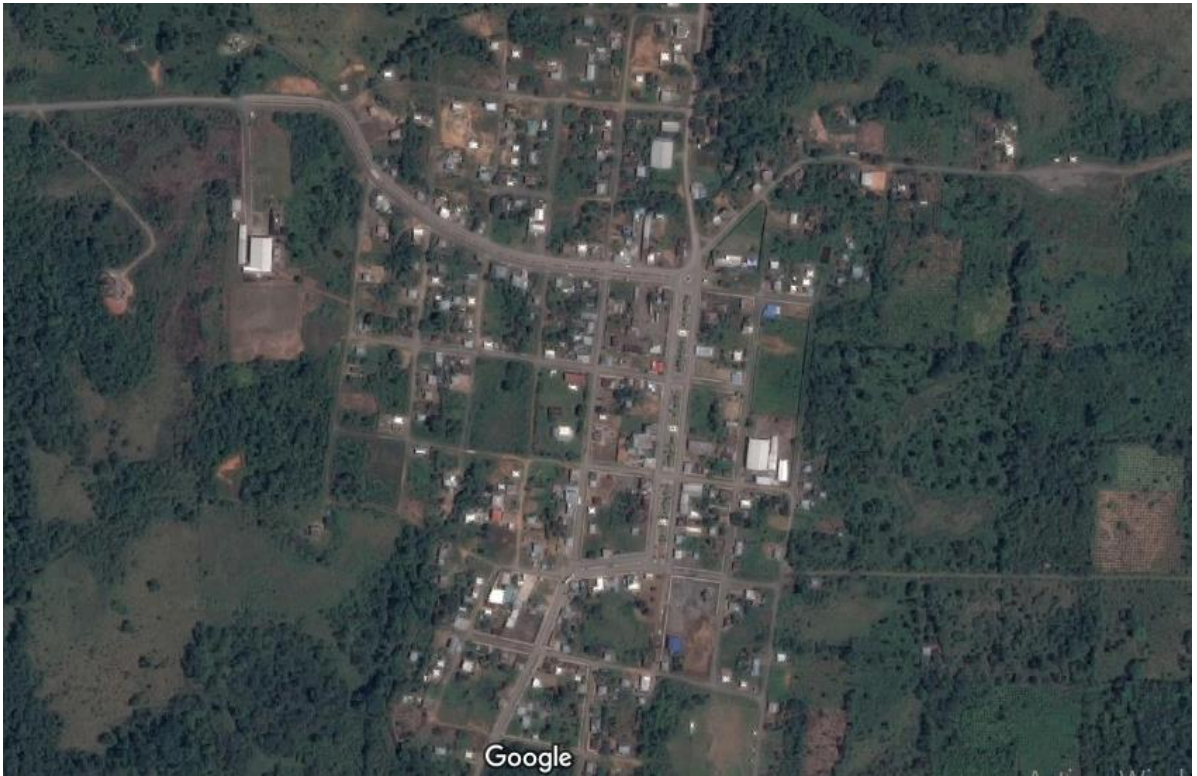
**SUAREZ , L. & MADEROS, V.,** " Apuntes sobre el cultivo de la yuca (Manihot esculenta Crantz). Tendencias actuales. " *Cultivos Tropicales.* [En línea], 2011, (La Habana) (23)3, pp. 27-35. [Consulta: 26 mayo 2017]. SSN 0258-5936. Disponible en: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0258-59362011000300004](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362011000300004)

**VARGAS GALLEGO, et al.** *Sapiens Biorremediación de residuos del petróleo.* Apuntes científicos Uniandinos, 2004. , pp. 44-46.

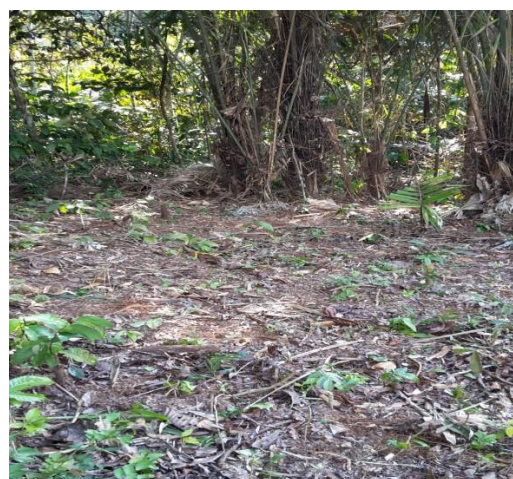
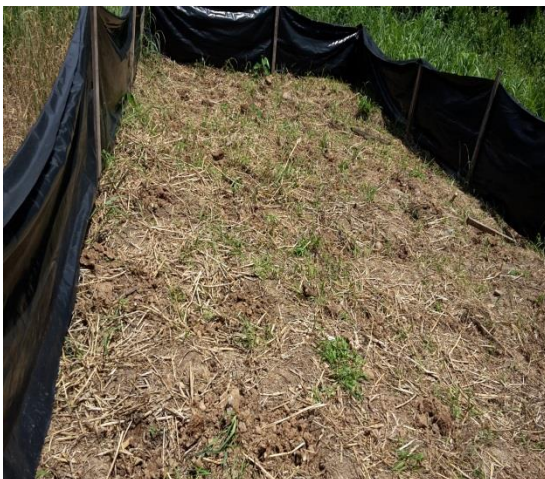
**WALTON, Harold. F. & REYES , J.,** *Análisis Químico e instrumental moderno.* Barcelona-España: Reverté. 2008. pp. 56-60

## ANEXOS


### ANEXOS A: Ubicación de la investigación, Parroquia Taracoa



Fuente: Google Earth, 2017



**ANEXOS B: Análisis iniciales de suelo remediado y agrícola**

 <p><b>CESTTA</b> SGC</p>	<p><b>CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL</b></p> <p><b>DEPARTAMENTO : SERVICIOS DE LABORATORIO</b></p> <p>Panamericana Sur Km. 1 ½, ESPOCH (Facultad de Ciencias) RIOBAMBA - ECUADOR Telefax: (03) 3013183</p>
--	--

<b>INFORME DE ENSAYO No:</b>	S- 090-17
<b>ST:</b>	026 – 17 ANÁLISIS DE SUELOS
<b>Nombre Peticionario:</b>	N.A.
<b>Atn.</b>	Edison Tapia
<b>Dirección:</b>	Avda. Fundadores 12 de Febrero Coca - Orellana
<b>FECHA:</b>	27 de Marzo del 2017
<b>NUMERO DE MUESTRAS:</b>	1
<b>FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB:</b>	2017/03/15 - 10:49
<b>FECHA DE MUESTREO:</b>	2017/03/13 - 10:00
<b>FECHA DE ANÁLISIS:</b>	2017/03/15 - 2017/03/27
<b>TIPO DE MUESTRA:</b>	Suelo
<b>CÓDIGO CESTTA:</b>	LAB-S 90-17
<b>CÓDIGO DE LA EMPRESA:</b>	Suelo remediado
<b>PUNTO DE MUESTREO:</b>	Parroquia Taracoa Provincia de Orellana
<b>ANÁLISIS SOLICITADO:</b>	Químico
<b>PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA:</b>	Edison Tapia
<b>CONDICIONES AMBIENTALES:</b>	T máx.:25.0 °C. T mín.: 15.0 °C

**RESULTADOS ANALÍTICOS:**

PARÁMETROS	MÉTODO /NORMA	UNIDAD	RESULTADO	VALOR LÍMITE PERMISIBLE (■)
Cadmio	PEE/CESTTA/197 EPA 3051 / 6010 B	mg/Kg	0,63	-
Arsénico	PEE/CESTTA/197 EPA 3051 / 6010 B	mg/Kg	<10	-
Molibdeno	PEE/CESTTA/197 EPA 3051 / 6010 B	mg/Kg	<0,5	-
Plomo	PEE/CESTTA/197 EPA 3051 / 6010 B	mg/Kg	11,85	-
Talio	PEE/CESTTA/197 EPA 3051 / 6010 B	mg/Kg	11,14	-
Cromo	PEE/CESTTA/197 EPA 3051 / 6010 B	mg/Kg	<50	-
Plata	PEE/CESTTA/197 EPA 3051 / 6010 B	mg/Kg	<10	-
Antimonio	PEE/CESTTA/197 EPA 3051 / 6010 B	mg/Kg	<10	-
Selenio	PEE/CESTTA/197 EPA 3051 / 6010 B	mg/Kg	<0,5	-
Cobre	PEE/CESTTA/197 EPA 3051 / 6010 B	mg/Kg	24,61	-
Manganeso	PEE/CESTTA/197 EPA 3051 / 6010 B	mg/Kg	456,86	-
Vanadio	PEE/CESTTA/197 EPA 3051 / 6010 B	mg/Kg	<50	-
Estaño	PEE/CESTTA/197 EPA 3051 / 6010 B	mg/Kg	<0,5	-
Cobalto	PEE/CESTTA/197 EPA 3051 / 6010 B	mg/Kg	<10	-
Níquel	PEE/CESTTA/197 EPA 3051 / 6010 B	mg/Kg	16,31	-

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.  
Los resultados arriba indicados sólo están relacionados con los objetos ensayados  
MC01-16

Página 1 de 2  
Edición 0



**CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y  
TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL**

**DEPARTAMENTO :  
SERVICIOS DE LABORATORIO**

Panamericana Sur Km. 1 ½, ESPOCH (Facultad de Ciencias)  
RIOBAMBA - ECUADOR  
Telefax: (03) 3013183

Berilio	PEE/CESTTA/197 EPA 3051 / 6010 B	mg/Kg	<10	-
Estroncio	PEE/CESTTA/197 EPA 3051 / 6010 B	mg/Kg	82,38	-
Titanio	PEE/CESTTA/197 EPA 3051 / 6010 B	mg/Kg	91,53	-
Boro	PEE/CESTTA/197 EPA 3051 / 6010 B	mg/Kg	5,64	-
Zinc	PEE/CESTTA/197 EPA 3051 / 6010 B	mg/Kg	69,39	-
Litio	PEE/CESTTA/197 EPA 3051 / 6010 B	mg/Kg	<10	-

**OBSERVACIONES:**

- Muestra receptada en el laboratorio.

**RESPONSABLE DEL INFORME:**

  
Dr. Mauricio Álvarez  
RESPONSABLE TÉCNICO





**CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y  
TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL**

**DEPARTAMENTO :  
SERVICIOS DE LABORATORIO**

Panamericana Sur Km. 1 ½, ESPOCH (Facultad de Ciencias)  
RIOBAMBA - ECUADOR  
Telefax: (03) 3013183

**INFORME DE ENSAYO No:**

**ST:**

**Nombre Peticionario:**

**Atn.**

**Dirección:**

S- 091-17

026 - 17 ANÁLISIS DE SUELOS

N.A.

Edison Tapia

Avda. Fundadores 12 de Febrero

Coca - Orellana

**FECHA:**

27 de Marzo del 2017

**NUMERO DE MUESTRAS:**

1

**FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB:**

2017/03/15 - 10:49

**FECHA DE MUESTREO:**

2017/03/13 - 11:00

**FECHA DE ANÁLISIS:**

2017/03/15 - 2017/03/27

**TIPO DE MUESTRA:**

Suelo

**CÓDIGO CESTTA:**

LAB-S 91-17

**CÓDIGO DE LA EMPRESA:**

Suelo agrícola

**PUNTO DE MUESTREO:**

Parroquia Taracoa Provincia de Orellana

**ANÁLISIS SOLICITADO:**

Químico

**PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA:**

Edison Tapia

**CONDICIONES AMBIENTALES:**

T máx.:25.0 °C. T min.: 15.0 °C

**RESULTADOS ANALÍTICOS:**

PARÁMETROS	MÉTODO /NORMA	UNIDAD	RESULTADO	VALOR LÍMITE PERMISIBLE (■)
Cadmio	PEE/CESTTA/197 EPA 3051 / 6010 B	mg/Kg	0,25	-
Arsénico	PEE/CESTTA/197 EPA 3051 / 6010 B	mg/Kg	<10	-
Molibdeno	PEE/CESTTA/197 EPA 3051 / 6010 B	mg/Kg	<0,5	-
Plomo	PEE/CESTTA/197 EPA 3051 / 6010 B	mg/Kg	<10	-
Talio	PEE/CESTTA/197 EPA 3051 / 6010 B	mg/Kg	5,02	-
Cromo	PEE/CESTTA/197 EPA 3051 / 6010 B	mg/Kg	<50	-
Plata	PEE/CESTTA/197 EPA 3051 / 6010 B	mg/Kg	<10	-
Antimonio	PEE/CESTTA/197 EPA 3051 / 6010 B	mg/Kg	<10	-
Selenio	PEE/CESTTA/197 EPA 3051 / 6010 B	mg/Kg	<0,5	-
Cobre	PEE/CESTTA/197 EPA 3051 / 6010 B	mg/Kg	<10	-
Manganeso	PEE/CESTTA/197 EPA 3051 / 6010 B	mg/Kg	49,70	-
Vanadio	PEE/CESTTA/197 EPA 3051 / 6010 B	mg/Kg	<50	-
Estaño	PEE/CESTTA/197 EPA 3051 / 6010 B	mg/Kg	<0,5	-
Cobalto	PEE/CESTTA/197 EPA 3051 / 6010 B	mg/Kg	<10	-
Níquel	PEE/CESTTA/197 EPA 3051 / 6010 B	mg/Kg	<10	-

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.  
Los resultados arriba indicados sólo están relacionados con los objetos ensayados  
MC01-16

Página 1 de 2  
Edición 0



**CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y  
TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL**

**DEPARTAMENTO :  
SERVICIOS DE LABORATORIO**

Panamericana Sur Km. 1 ½, ESPOCH (Facultad de Ciencias)  
RIOBAMBA - ECUADOR  
Telefax: (03) 3013183

Berilio	PEE/CESTTA/197 EPA 3051 / 6010 B	mg/Kg	<10	-
Estroncio	PEE/CESTTA/197 EPA 3051 / 6010 B	mg/Kg	<10	-
Titanio	PEE/CESTTA/197 EPA 3051 / 6010 B	mg/Kg	41,58	-
Boro	PEE/CESTTA/197 EPA 3051 / 6010 B	mg/Kg	1,88	-
Zinc	PEE/CESTTA/197 EPA 3051 / 6010 B	mg/Kg	<50	-
Litio	PEE/CESTTA/197 EPA 3051 / 6010 B	mg/Kg	<10	-

**OBSERVACIONES:**

- Muestra receptada en el laboratorio.

**RESPONSABLE DEL INFORME:**

  
Dr. Mauricio Alvarez  
RESPONSABLE TÉCNICO



**ANEXOS C: Acondicionamiento del terreno y siembra de la yuca**





**ANEXOS D:** Monitoreo del crecimiento de la yuca

<b>Tipo de suelo</b>	<b>Semana</b>	<b>Tamaño de la planta</b>	<b>Tamaño de la hoja</b>
Suelo agrícola	Semana 1	Entre 5 y 8 centímetros.	2 centímetros.
Suelo remediado	Semana 1	Entre 4 y 7 centímetros.	1,5 centímetros.
Suelo agrícola	Semana 3	Entre 13 y 16 centímetros.	8 centímetros.
Suelo remediado	Semana 3	Entre 12 y 15 centímetros.	7 centímetros.
Suelo agrícola	Semana 4	Entre 20 y 25 centímetros.	12 centímetros.
Suelo remediado	Semana 4	Entre 18 y 25 centímetros.	10 centímetros.
Suelo agrícola	Semana 6	Entre 40 y 50 centímetros.	14 centímetros.
Suelo remediado	Semana 6	Entre 35 y 50 centímetros.	13 centímetros.
Suelo agrícola	Semana 8	Entre 90 y 110 centímetros.	16 centímetros.
Suelo remediado	Semana 8	Entre 80 y 100 centímetros.	15 centímetros.
Suelo agrícola	Semana 11	Entre 110 y 115 centímetros.	19 centímetros.
Suelo remediado	Semana 11	Entre 100 y 110 centímetros.	18 centímetros.
Suelo agrícola	Semana 13	Entre 118 y 125 centímetros.	22 centímetros.
Suelo remediado	Semana 13	Entre 115 y 125 centímetros.	20 centímetros.
Suelo agrícola	Semana 16	Entre 140 y 160 centímetros.	24 centímetros.
Suelo remediado	Semana 16	Entre 125 y 135 centímetros.	21 centímetros.
Suelo agrícola	Semana 18	Entre 160 y 175 centímetros.	26 centímetros.
Suelo remediado	Semana 18	Entre 140 y 165 centímetros.	22 centímetros.

**ANEXOS E: Cosecha y muestreo del tubérculo de la yuca**



**ANEXOS F:** Análisis de suelo post cosecha y del tubérculo de yuca

<b>YUCA PARCELA 1</b>		
<b>METAL</b>	<b>SUELO REMEDIADO</b>	<b>SUELO AGRÍCOLA</b>
Cadmio	<0,5	<0,5
Níquel	<10	<10
Plomo	<10	<10
Cobre	<10	<10
Manganeso	<10	<10
<b>YUCA PARCELA 2</b>		
Cadmio	<0,5	<0,5
Níquel	<10	<10
Plomo	<10	<10
Cobre	<10	<10
Manganeso	<10	12,9
<b>YUCA PARCELA 3</b>		
Cadmio	<0,5	<0,5
Níquel	<10	<10
Plomo	<10	<10
Cobre	<10	<10
Manganeso	<10	15,7
<b>YUCA PARCELA 4</b>		
Cadmio	<0,5	<0,5
Níquel	<10	<10
Plomo	<10	<10
Cobre	<10	<10
Manganeso	<10	<10

**Fuente:** Laboratorio LABSU, 2017

<b>SUELO AGRÍCOLA PARCELA 1</b>		
<b>METAL</b>	<b>[ ] INICIAL</b>	<b>[ ] FINAL</b>
Cadmio	0,25	<0,500
Níquel	<10	<10
Plomo	<10	<10
Cobre	<10	13,5
Manganeso	49,70	98,9
<b>SUELO AGRÍCOLA PARCELA 2</b>		
<b>METAL</b>	<b>[ ] INICIAL</b>	<b>[ ] FINAL</b>
Cadmio	0,25	<0,500
Níquel	<10	10,2
Plomo	<10	<10
Cobre	<10	14,4
Manganeso	49,70	116
<b>SUELO AGRÍCOLA PARCELA 3</b>		
<b>METAL</b>	<b>[ ] INICIAL</b>	<b>[ ] FINAL</b>
Cadmio	0,25	<0,500
Níquel	<10	<10
Plomo	<10	<10
Cobre	<10	14,1
Manganeso	49,70	111
<b>SUELO AGRÍCOLA PARCELA 4</b>		
<b>METAL</b>	<b>[ ] INICIAL</b>	<b>[ ] FINAL</b>
Cadmio	0,25	<0,500
Níquel	<10	<10
Plomo	<10	<10
Cobre	<10	11,5
Manganeso	49,70	125

**Fuente:** Laboratorio LABSU, 2017

<b>SUELO REMEDIADO PARCELA 1</b>		
<b>METAL</b>	<b>[ ] INICIAL</b>	<b>[ ] FINAL</b>
Cadmio	0,63	0,823
Níquel	16,31	21,2
Plomo	11,85	15,8
Cobre	24,61	28,7
Manganeso	456,86	490
<b>SUELO REMEDIADO PARCELA 2</b>		
<b>METAL</b>	<b>[ ] INICIAL</b>	<b>[ ] FINAL</b>
Cadmio	0,63	1,02
Níquel	16,31	25,6
Plomo	11,85	19,9
Cobre	24,61	36,1
Manganeso	456,86	618
<b>SUELO REMEDIADO PARCELA 3</b>		
<b>METAL</b>	<b>[ ] INICIAL</b>	<b>[ ] FINAL</b>
Cadmio	0,63	0,748
Níquel	16,31	20,3
Plomo	11,85	14,5
Cobre	24,61	27,1
Manganeso	456,86	463
<b>SUELO REMEDIADO PARCELA 4</b>		
<b>METAL</b>	<b>[ ] INICIAL</b>	<b>[ ] FINAL</b>
Cadmio	0,63	0,808
Níquel	16,31	19,9
Plomo	11,85	14,5
Cobre	24,61	27,3
Manganeso	456,86	488

**Fuente:** Laboratorio LABSU, 2017

ANEXOS G: Informes de resultados de nutrientes del suelo



**INFORME DE ENSAYO N°: 7207**

**SR. EDISON TAPIA**

**SAS: 17-018**

Dirección: Sacha.

<b>Fecha y hora de ingreso al laboratorio:</b>	2017/06/22 17:03	<b>Fecha final de Análisis</b>	2017/07/05	<b>T máx:</b> 28°C
				<b>T mín:</b> 25°C
<b>Toma de muestra:</b>	Sr. Edison Tapia.	<b>Fecha y Hora</b>	2017/06/22	11:00

**Código de Muestra: s 560**

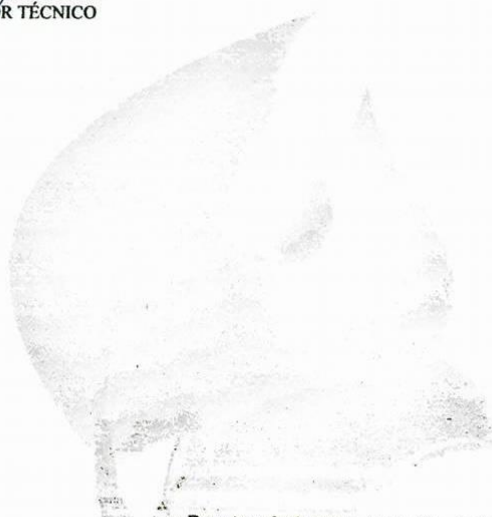
**Identificación:** Suelo Remediado.

**Parámetros, métodos y resultados:**

Parámetros	Método de Ensayo	Referencia	Unidad	s 560	Incertidumbre (K = 2)
*Carbono Orgánico Total	ITE-AQLAB-54	EPA 9060	%	1,23	~
*Potasio	ITE-AQLAB-33	SM 3030 B, 3111B	%	0,088	~
*Fósforo disponible	ITE-AQLAB-51	Booker Tropical Soil Manual	%	0,013	~
*Nitrógeno	ITE-AQLAB-59	KJELDAHL, EPA 351.2	%	0,11	~



Ingeniero Armando Meléndrez  
DIRECTOR TÉCNICO



Francisco de Orellana, 05 de julio de 2017

Los límites permisibles de las Normativas (®) y los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE. El informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo. Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio

Calle Juan Huncite y Fray Gregorio de Aluminia, detrás de Concesionario Mazda. Barrio Con Hogar.  
e-mail: laboratorio@aqlabec.com · web: www.aqlabec.com Teléfono.: (593) 6 2881715 Celular: 0991666858

## INFORME DE ENSAYO N°: 7206

**SR. EDISON TAPIA**

**SAS: 17-018**

Dirección: Sacha.

<b>Fecha y hora de ingreso al laboratorio:</b>	2017/06/22 17:03	<b>Fecha final de Análisis</b>	2017/07/05	<b>T máx:</b> 28°C
<b>Toma de muestra:</b>	Sr. Edison Tapia.	<b>Fecha y Hora</b>	2017/06/22	<b>T mín:</b> 25°C

**Código de Muestra:** s 559

**Identificación:** Suelo agrícola.

**Parámetros, métodos y resultados:**

Parámetros	Método de Ensayo	Referencia	Unidad	s 559	Incertidumbre (K = 2)
*Carbono Orgánico Total	ITE-AQLAB-54	EPA 9060	%	2,92	~
*Potasio	ITE-AQLAB-33	SM 3030 B, 3111B	%	0,034	~
*Fósforo disponible	ITE-AQLAB-51	Booker Tropical Soil Manual	%	0,005	~
*Nitrógeno	ITE-AQLAB-59	KJELDAHL, EPA 351.2	%	0,25	~



*Armando Meléndrez*  
Ing. Armando Meléndrez  
DIRECTOR TÉCNICO

*Francisco de Orellana, 05 de julio de 2017*

Los límites permisibles de las Normativas (®) y los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE.  
El informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo. Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio  
Calle Juan Huncite y Fray Gregorio de Aluminia, detrás de Concesionario Mazda. Barrio Con Hogar.  
e-mail: laboratorio@aqlabec.com · web: www.aqlabec.com · Teléfono.: (593) 6 2881715 · Celular: 0991666858