

Índice General

Introducción.....	8
-------------------	---

Capítulo I: Marco Teórico

1.1. Suelo	9
1.1.1. Naturaleza del suelo.....	9
1.1.2. Clases de suelo	10
1.1.3. Textura del suelo	10
1.1.4. Capacidad de Intercambio Catiónico	11
1.1.5. Conductividad	13
Buenos Conductores	14
Malos Conductores	14
1.1.6. Minerales presentes en el suelo	14
1.1.6.1. Albita	14
1.1.6.2. Cuarzo	16
1.1.6.3. Kyanita o Cianita	17
1.1.6.4. Hematina.....	18
1.1.6.5. Paravauxita	19
1.1.7. Procedimiento de lixiviación característico de toxicidad	20
1.1.8. Caracterización de Lixiviados	21
1.1.9. Contaminación de metales pesados en los suelos.....	21
1.1.9.1. Condiciones redox.....	24
1.1.9.2. Salinidad	26
1.1.10. Reacción del suelo frente a los contaminantes	27
1.1.11. El suelo como un sistema de tratamiento	28
1.2. Química y Adsorción de las arcillas.....	29
1.2.1. Sistema Arcilla-Agua	30
1.3. Adsorción	31
1.3.1. Adsorción Física o Fisorción	32
1.3.2. Adsorción Química o Quimisorción.....	32
1.3.3. Isotermas de Adsorción	32
Isotermas de Adsorción de Langmuir.....	33

Isotermas de Adsorción de Freundlich.....	33
1.4. Plomo	34
1.4.1. Propiedades físicas y químicas del plomo	34
1.4.2. Compuestos del plomo.....	35
1.4.3. Formas de exponerse al plomo.....	35
1.4.4. Fuentes principales del plomo	35
1.4.4.1. Actividades de elevado riesgo.....	36
1.4.4.2. Actividades de riesgo moderado.....	36
1.4.5. Fuente Intoxicante	37
1.4.5.1. Profesional.....	37
1.4.5.2. Accidental.....	37
1.4.6. Vías de Penetración	38
1.4.6.1. Vía Respiratoria.....	38
1.4.6.2. Vía Oral.....	38
1.4.6.3. Vía Cutánea.....	39
1.4.7. Como afecta el plomo en la salud.....	39
1.4.8. Vías de eliminación del plomo.....	40
1.4.9. Intoxicación por plomo.....	41
1.4.10. Concentraciones de plomo dañinas para la salud.....	42
1.4.10.1. Niveles venenosos de plomo en la sangre.....	42
1.4.10.2. Niveles Fingerstick de plomo en la sangre.....	44
1.4.10.3. Estándares de plomo.....	44
1.4.10.4. Estándares EPA.....	44
1.4.10.5. Límites de toxicidad.....	45
1.4.10.5.1. Vida acuática en sistemas de agua dulce.....	45
1.4.10.5.2. Vida acuática estuarina en zonas de la costa.....	45
1.4.10.5.3. Consumo por los seres humanos.....	45
1.4.10.5.4. Normas EPA y Comunidad Europea.....	46
1.4.10.6. Niveles de acción del plomo.....	46
1.4.10.7. Valores límite de exposición.....	47
1.5. Características de la Reserva Biológica Limoncoha.....	47

Capítulo II: Parte Experimental

2.1. Muestra del Suelo.....	49
2.2. Caracterización físico-química del Suelo.....	49
2.2.1. Textura.....	49
2.2.2 Contenido de plomo.....	49
2.2.3. Humedad.....	50
2.2.4. pH	51
2.2.5. Materia Orgánica.....	52
2.2.6. Capacidad de Intercambio Catiónico.....	52
2.2.7. Conductividad y Sólidos Disueltos Totales.....	54
2.3. Análisis Mineralógico.....	54
2.4. Determinación de la Adsorción de plomo en el suelo.....	55
2.5. Ensayo de desorción del suelo.....	56
2.5.1. Ensayo de Lixiviación.....	56
2.6. Determinación de concentración de plomo en el extracto del suelo.....	58

Capítulo III: Resultados Experimentales

3.1. Caracterización físico-química del suelo.....	59
Cuadro No. 1: Ensayo de granulometría.....	59
Gráfico No. 1: Contenido de arena, limo y arcilla en la fracción mineralizada del suelo.....	59
Tabla No. 16: Tamaño de partículas del suelo en mm.....	60
Cuadro No. 2:Contenido de humedad.....	60
Cuadro No. 3: pH del suelo.....	60
Cuadro No. 4: Contenido de materia orgánica.....	61
Cuadro No. 5: Capacidad de Intercambio Catiónico del suelo.....	61
Cuadro No. 6: Conductividad del suelo.....	61
Cuadro No. 7: Sólidos disueltos totales SDT en el suelo.....	62
Cuadro No. 8: Resumen de la caracterización físico-química del suelo.....	63
Gráfico No. 2: Composición porcentual del Suelo.....	64
3.2. Análisis Mineralógico del Suelo.....	64
Gráfico No. 3: Composición mineralógica del suelo.....	65

3.3. Determinación de la adsorción de plomo.....	65
Cuadro No. 10: Volumen de la solución patrón de plomo para preparación de muestras.....	65
Cuadro No. 11: Concentración de plomo en el extracto del suelo.....	66
Cuadro No. 12: Adsorción de plomo en el suelo.....	67
Cuadro No. 13: Porcentaje de plomo retenido en el suelo.....	68
Cuadro No. 14: Resumen de la determinación de adsorción en el suelo.....	69
Gráfico No. 4: Relación entre plomo añadido y extraído del suelo.....	70
Gráfico No. 5: Plomo añadido y su concentración en el suelo	70
Gráfico No. 6: Relación entre la concentración inicial de plomo en el suelo y el Porcentaje de plomo retenido en el suelo.....	71
Gráfico No. 7: Relación entre la concentración de plomo en el extracto del suelo y el Porcentaje de plomo retenido.....	71
3.4. Ensayo de desorción.....	72
3.4.1. Prueba de lixiviación.....	72
Cuadro No. 15: Volumen de la solución patrón de plomo para preparar las muestras.....	72
Cuadro No. 16: Concentración de plomo en el extracto del suelo, luego de la lixiviación.....	73
Cuadro No. 17: Desorción de plomo en el suelo.....	74
Cuadro No. 18: Porcentaje de plomo retenido en el suelo.....	75
Cuadro No. 19: Resumen de los ensayo de lixiviación.....	76
Gráfico No. 8: Relación entre plomo añadido al suelo y la Concentración de plomo en el extracto del suelo.....	77
Gráfico No. 9: Relación de plomo en el extracto del suelo y el Porcentaje de plomo retenido.....	77
Gráfico No. 10: Relación entre el Porcentaje de plomo retenido en el suelo y la Concentración de plomo en el suelo.....	78
3.5. Isotermas de Adsorción.....	79
3.5.1. Determinación de la isoterma que se ajustan al estudio.....	79
Cuadro No. 20: Cálculos para determinar la isoterma a usarse.....	79
Gráfica No. 11: Isoterma de Adsorción de Langmuir para pH 6.2.....	80
Gráfica No. 12: Isoterma de Adsorción de Freundlich para pH 6.2.....	80
Gráfica No. 13: Isoterma de Adsorción de Langmuir para pH 4.5.....	81

Gráfica No. 14: Isoterma de Adsorción de Freundlich para pH 4.5.....	81
Cuadro No. 21: Resumen de los resultados de cálculos para las Isotermas de Adsorción.....	82
Gráfico No. 15: Relación entre la Concentración inicial de plomo en el suelo y la Concentración de plomo en el extracto del suelo.....	84
Gráfico No.16: Isoterma de Adsorción de plomo en el suelo de la Región Amazónica a pH original del suelo 6.2.....	84
Gráfico No. 17: Isoterma de Adsorción de plomo en el suelo de la Región Amazónica a pH 4,5.....	85
Gráfica No. 18: Isoterma de Adsorción de Freundlich para pH 6.2.....	85
Gráfica No. 19: Isoterma de Adsorción de Freundlich para pH 4.5.....	86
Gráfico No. 20: Isoterma de Adsorción de plomo en el suelo de la región amazónica, ajustada para la ecuación de Langmuir, para pH 6.2 (original).....	86
Gráfico No. 21: Isoterma de Adsorción de plomo en el suelo de la región amazónica, ajustada para la ecuación de Langmuir, para pH 4.5.....	87
3.6. Isotermas de Desorción.....	88
Cuadro No. 22: Resumen de resultados para determinar que isoterma de desorción se debe utilizar en el estudio.....	88
Gráfico No.22: Isoterma de desorción de Langmuir para pH 6.2.....	89
Gráfico No. 23: Isoterma de desorción de Langmuir para pH 4.5.....	89
Gráfico No. 24: Isoterma de desorción de Freundlich para pH 6.2.....	90
Gráfico No.25: Isoterma de Desorción de Freundlich para pH 4.5.....	90
Cuadro No. 23: Resumen de resultados para Isotermas de Desorción de Plomo.....	91
Gráfico No. 26: Relación entre la Concentración inicial de plomo en el suelo y la Concentración de plomo en el extracto del suelo.....	92
Gráfico No. 27: Isoterma de Desorción de plomo en el suelo de la Región Amazónica a pH original del suelo 6.2.....	92
Gráfico No. 28: Isoterma de Desorción de plomo en el suelo de la Región Amazónica a pH 4.5.....	93
Gráfico No. 29: Isoterma de Desorción de Freundlich.....	93
Gráfico No. 30: Isoterma de Desorción de plomo en el suelo de la amazonía, ajustada por la ecuación de Langmuir, para pH 4.5.....	94

Gráfico No. 31: Isoterma de Desorción de plomo en el suelo de la amazonía, ajustada por la ecuación de Langmuir, para pH 4.5.....	94
3.7. Comparación de Adsorción y Desorción de plomo en el suelo de la región amazónica.....	95
Gráfico No. 32: Comparación de Adsorción y Desorción de plomo en el suelo de la región amazónica a pH 6.2.....	95
Gráfico No. 33: Comparación de Adsorción y Desorción de plomo en el suelo de la región amazónica a pH 4.5.....	95
3. 8. Cálculos.....	96
3.8.1. Contenido de plomo.....	96
3.8.2. Humedad.....	96
3.8.3. Contenido de materia orgánica.....	96
3.8.4. Capacidad de Intercambio Catiónico.....	97
3.8.5. Procesos para determinar la adsorción de plomo.....	98
3.8.5.1. Volumen de la solución patrón de plomo (ml).....	98
3.8.5.2. Concentración de plomo en el extracto de suelo, tomando en cuenta el factor de dilución que se utilizó para la lectura por espectrofotometría UV-Visible (Hach DR 4000).....	98
3.8.5.3. Cantidad de plomo en el extracto del suelo (mg).....	98
3.8.5.4. Concentración en mg de Pb/kg de suelo en el extracto.....	99
3.8.5.5. Cantidad de plomo retenida en el suelo.....	99
3.8.5.6. Porcentaje retenido.....	99
3.8.5.7. Concentración de plomo retenida en el extracto del suelo en mg de plomo/kg de suelo.....	99
3.9. Determinar de la isoterma que corresponde al nuestro estudio.....	100
3.10. Isoterma de Freundlich y Langmuir.....	100
3.10.1. Cálculos de X: cantidad de materia adsorbida (mmol.).....	101
3.10.2. Cálculos de X/m.....	101
3.10.3. Cálculos de C: concentración de equilibrio de la solución externa (mmol/g de suelo).....	102
3.11. Ensayo de desorción.....	102
3.11.1. Prueba de Lixiviación.....	102
3.11.1.1. Concentración de plomo en el extracto de suelo, tomando en cuenta el factor de dilución que se utilizó	

para la lectura por espectrofotometría UV-Visible (Hach DR 4000).....	102
3.11.1.2. Cantidad de plomo en el extracto del suelo (mg).....	103
3.11.1.3. Cantidad de plomo en el extracto del suelo (mg) para las concentraciones iniciales de plomo en el suelo.....	103
3.11.1.4. Concentración en mg de Pb/kg de suelo en el extracto.....	103
3.11.1.5. Cantidad de plomo retenida en el suelo.....	103
3.11.1.6. Porcentaje retenido.....	104
3.11.1.7. Concentración de plomo retenida en el extracto del suelo en mg de plomo/kg de suelo.....	104
3.12. Isoterma de Freundlich y Langmuir.....	104
3.12.1. Cálculos para X cantidad de materia adsorbida (mol.).....	105
3.12.2. Cálculos X/m.....	105
3.12.3. Cálculos para C concentración de equilibrio de la solución externa.....	106

Capítulo IV: Discusión de resultados:

4.1. Caracterización físico-química y mineralógica del suelo.....	107
4.2. Procesos de Adsorción y Desorción.....	114

Capítulo V: Conclusiones y Recomendaciones.....

5.1. Conclusiones.....	120
5.2. Recomendaciones.....	123

Capítulo VI: Bibliografía.....

Glosario.....

Anexos.....

Índice de Tablas

Tabla 1: Variación en la concentración de metales en los suelos.....	22
Tabla 2: Cantidad anual de vertidos de metales en los suelos.....	23
Tabla 3: Elementos que han experimentado mayores incrementos en su producción en los últimos años.....	24
Tabla 4: Diagrama de Eh-pH para el suelo.....	25
Tabla 5: Tabla de Plant y Raiswell (1983), movilidad de los metales pesados y elementos asociados en función de las condiciones de pH y Eh.....	26
Tabla 6: Disponibilidad relativa del metal retenido en el suelo para las plantas y por lo tanto la incorporación en los organismos.....	26
Tabla 7: Vías de eliminación del plomo.....	40
Tabla 8: Niveles venenosos de plomo en la sangre.....	43
Tabla 9: Niveles “Fingerstick” de plomo en la sangre.....	44
Tabla 10: Estándares de plomo en isooctano, tolueno o gasolina.....	44
Tabla 11: Niveles regulatorios de plomo según EPA.....	44
Tabla 12: Límite máximo de plomo para vida acuática de agua dulce.....	45
Tabla 13: Límite máximo de plomo para vida acuática estuariana o zonas costeras.....	45
Tabla 14: Límite máximo de plomo para consumo humano.....	46
Tabla 15: Patrones físico-químicos de potabilidad dados por la OMS, la Comunidad Europa y los Estados Unidos EPA.....	46
Tabla 16: Comparación de criterios de valoración de nivel de acción y valores límite de exposición al plomo en la comunidad científica internacional.....	47
Tabla 17: Tamaño de partículas del suelo en mm.....	60
Tabla 18: Clasificación de pH.....	108
Tabla 19: Clasificación de materia orgánica.....	109

Tabla 20: Clasificación de Capacidad de intercambio catiónico.....	111
Tabla 21: Tipo de arcilla según CIC.....	112
Tabla 22: Grupo de las arcillas.....	112

Índice de Cuadros

Cuadro 1: Ensayo de granulometría.....	59
Cuadro 2: Contenido de humedad.....	60
Cuadro 3: pH del suelo.....	60
Cuadro 4: Contenido de materia orgánica.....	61
Cuadro 5: Capacidad de intercambio catiónico del suelo.....	61
Cuadro 6: Conductividad del suelo.....	61
Cuadro 7: Sólidos disueltos totales en el suelo.....	62
Cuadro 8: Resumen de la caracterización físico-química del suelo.....	63
Cuadro 9: Determinación de los minerales.....	64
Cuadro 10: Volumen de la solución patrón de plomo para la preparación de las muestras.....	65
Cuadro 11: Concentración de plomo en el extracto del suelo.....	66
Cuadro 12: Adsorción de plomo en el suelo.....	67
Cuadro 13: Porcentaje de plomo retenido en el suelo.....	68
Cuadro 14: Resumen de la determinación de adsorción en el suelo.....	69
Cuadro 15: Volumen de la solución patrón de plomo para preparar las muestras.....	72
Cuadro 16: Concentración de plomo en el extracto del suelo, luego de la lixiviación.....	73
Cuadro 17: Desorción de plomo en el suelo.....	74
Cuadro 18: Porcentaje de plomo retenido en el suelo.....	75
Cuadro 19: Resumen de los ensayos de lixiviación.....	76
Cuadro 20: Cálculos para determinar la isoterma a usarse.....	79
Cuadro 21: Resumen de cálculos para las Isotermas de Adsorción.....	82

Índice de Gráficos

Gráfico 1: Contenido de arcilla, limo y arena en la fracción mineralizada del suelo.....	59
Gráfico 2: Composición porcentual del suelo.....	64
Gráfico 3: Composición mineralógica del suelo.....	65
Gráfico 4: Relación entre el plomo añadido y extraído del suelo.....	70
Gráfico 5: Plomo añadido y su concentración en el suelo.....	70
Gráfico 6: Relación entre la concentración inicial de plomo en el suelo y el porcentaje de plomo retenido en el suelo.....	71
Gráfico 7: Relación entre la concentración de plomo en el extracto del suelo y el porcentaje de plomo retenido.....	71
Gráfico 8: Relación entre el plomo añadido al suelo y la concentración de plomo en el extracto del suelo.....	77
Gráfico 9: Relación entre el plomo en el extracto del suelo y el porcentaje de plomo retenido.....	77
Gráfico 10: Relación entre el porcentaje de plomo retenido en el suelo y la concentración de plomo en el suelo.....	78
Gráfico 11: Isoterma de Adsorción de Langmuir para pH 6.2.....	80
Gráfico 12: Isoterma de Adsorción de Freundlich para pH 6.2.....	80
Gráfico 13: Isoterma de Adsorción de Langmuir para pH 4.5.....	81
Gráfico 14: Isoterma de Adsorción de Freundlich para pH 4.5.....	81
Gráfico 15: Relación entre la concentración inicial de plomo en el suelo y la concentración de plomo en el extracto del suelo.....	84
Gráfico 16: Isoterma de adsorción de plomo en el suelo de la Región Amazónica a pH original del suelo 6.2.....	84

Gráfico 17: Isoterma de Adsorción de plomo en el suelo de la	
Región Amazónica a pH 4,5.....	85
Gráfica No. 18: Isoterma de Adsorción de Freundlich para pH 6.2.....	85
Gráfica No. 19: Isoterma de Adsorción de Freundlich para pH 4.5.....	86
Gráfico No. 20: Isoterma de Adsorción de plomo en el suelo de la	
Región amazónica, ajustada para la ecuación de Langmuir, para	
pH 6.2 (original).....	86
Gráfico No. 21: Isoterma de Adsorción de plomo en el suelo de la	
región amazónica, ajustada para la ecuación de Langmuir,	
para pH 4.5.....	87
Gráfico No.22: Isoterma de desorción de Langmuir para pH 6.2.....	89
Gráfico No. 23: Isoterma de desorción de Langmuir para pH 4.5.....	89
Gráfico No. 24: Isoterma de desorción de Freundlich para pH 6.2.....	90
Gráfico No.25: Isoterma de Desorción de Freundlich para pH 4.5.....	90
Gráfico No. 26: Relación entre la Concentración inicial de plomo en el	
suelo y la Concentración de plomo en el extracto del suelo.....	92
Gráfico No. 27: Isoterma de Desorción de plomo en el suelo de la Región	
Amazónica a pH original del suelo 6.2.....	92
Gráfico No. 28: Isoterma de Desorción de plomo en el suelo de la Región	
Amazónica a pH 4.5.....	93
Gráfico No. 29: Isoterma de Desorción de Freundlich.....	93
Gráfico No. 30: Isoterma de Desorción de plomo en el suelo de la amazonía,	
ajustada por la ecuación de Langmuir, para pH 4.5.....	94
Gráfico No. 31: Isoterma de Desorción de plomo en el suelo de la amazonía,	
ajustada por la ecuación de Langmuir, para pH 4.5.....	94

Gráfico No. 32: Comparación de Adsorción y Desorción de plomo en el	
suelo de la región amazónica a pH 6.2.....	95
Gráfico No. 33: Comparación de Adsorción y Desorción de plomo en el	
suelo de la región amazónica a pH 4.5.....	95

Índice de Anexos

Anexo 1: Características de la Reserva Biológica Limoncocha

Anexo 2: Método de medición de plomo

Anexo 3: Ensayo granulométrico del suelo

Anexo 4: Contenido original de plomo en el suelo

Anexo 5: Tamices de ensayo (Dimensiones nominales de las Aberturas

Anexo 6: Otras mediciones de plomo adsorbido en el suelo a distintas concentraciones

Anexo 7: Determinación cualitativa y cuantitativa, por difracción de rayos X de
Minerales.

A = Añadir 1,5 mg de plomo o 300 mg(Pb)/kg (suelo) a pH original del suelo 6,2

A' = Añadir 1,5 mg de plomo o 300 mg(Pb)/kg (suelo) a pH regulado del suelo 4,5

B = Añadir 3 mg de plomo o 600 mg(Pb)/kg (suelo), a pH original del suelo 6,2

B' = Añadir 3 mg de plomo o 600 mg(Pb)/kg (suelo), a pH regulado del suelo 4,5

C = Añadir 22,5 mg de plomo o 4.500 mg(Pb)/kg (suelo), a pH original del suelo 6,2

C' = Añadir 22,5 mg de plomo o 4.500 mg(Pb)/kg (suelo), a pH regulado del suelo 4,5

D = Añadir 30 mg de plomo o 6.000 mg(Pb)/kg (suelo), a pH original del suelo 6,2

D' = Añadir 30 mg de plomo o 6.000 mg(Pb)/kg (suelo), a pH regulado del suelo 4,5

E = Añadir 45 mg de plomo o 9.000 mg(Pb)/kg (suelo), a pH original del suelo 6,2

E' = Añadir 45 mg de plomo o 9.000 mg(Pb)/kg (suelo), a pH regulado del suelo 4,5

F = Añadir 90 mg de plomo o 18.000 mg(Pb)/kg (suelo), a pH original del suelo 6,2

F' = Añadir 90 mg de plomo o 18.000 mg(Pb)/kg (suelo), a pH regulado del suelo 4,5

G = Añadir 150 mg de plomo o 30.000 mg(Pb)/kg (suelo), a pH original del suelo 6,2

G' = Añadir 150 mg de plomo o 30.000 mg(Pb)/kg (suelo), a pH regulado del suelo 4,5

H = Añadir 300 mg de plomo o 60.000 mg(Pb)/kg (suelo), a pH original del suelo 6,2

H' = Añadir 300 mg de plomo o 60.000 mg(Pb)/kg (suelo), a pH regulado del suelo 4,5

I = Añadir 600 mg de plomo o 120.000 mg(Pb)/kg (suelo), a pH original del suelo 6,2

I' = Añadir 600 mg de plomo o 120.000 mg(Pb)/kg (suelo), a pH regulado del suelo 4,5

J = Añadir 900 mg de plomo o 180.000 mg(Pb)/kg (suelo), a pH original del suelo 6,2

J' = Añadir 900 mg de plomo o 180.000 mg(Pb)/kg (suelo), a pH regulado del suelo 4,5