

INDICE

1	INTRODUCCIÓN	1
1.1	Antecedentes y motivación	2
1.2	Descripción del Problema	2
1.3	Solución propuesta.....	3
1.4	Objetivos	4
1.4.1	Objetivo general.....	4
1.4.2	Objetivos específicos	4
1.5	Alcances.....	4
1.6	Metodología y herramientas utilizadas	4
2	MARCO TEÓRICO	7
2.1	Lixiviación y Botaderos de rípios	8
2.2	Permeabilidad	11
2.2.1	Ensayo de laboratorio para determinar la permeabilidad saturada	14
2.3	Factores que afectan el drenaje de la pila o botadero.	18
2.3.1	Granulometría y permeabilidad del mineral	19
2.3.2	Tasa de riego e infiltración.	22
2.4	Etapas para la formación de Botadero de Rípios	23
2.5	Características de los materiales post lixiviación.....	23
2.6	Problemas geotécnicos en el diseño	24
2.7	Factores que afectan la estabilidad física del botadero	25
2.8	Observaciones en terreno botaderos de rípios.....	26
2.8.1	Recomendaciones al diseño geotécnico	27
2.9	Sistema de drenaje	28
2.10	Movimiento del agua en el suelo.....	29

2.11	Caudal y separación teórica para drenajes paralelos.....	32
3	METODOLOGÍA	34
3.1	Obtención de información	35
3.2	Características del material representativo	35
3.3	Dimensiones modelo físico	36
3.4	Modelamiento numérico de flujos	37
3.5	Descripción del sistema de drenaje	37
4	ANÁLISIS DE RESULTADOS	39
4.1	Tasa de infiltración residual	40
4.1.1	Parámetros geotécnicos para la matriz fina de un ripio post lixiviación	40
4.2	Caracterización granulométrica del material representativo	42
4.3	Límites de consistencia (Atterberg).....	45
4.4	Determinación del peso específico con picnómetro.....	48
4.5	Ensayos de permeabilidad para el material.....	49
4.6	Determinación de la separación de tuberías y caudal teórico captado por el sistema de drenaje	53
4.7	Modelación numérica.	59
4.8	Construcción de estructura representativa.....	65
4.9	Análisis de resultados del experimento	67
5	CONCLUSIÓN	76
6	BIBLIOGRAFÍA	80
7	ANEXOS	82

INDICE DE TABLAS

Tabla 4.1: Valores relativos de permeabilidad y clasificación de suelos.....	41
Tabla 4.2: Materiales y sus rangos de porosidad.....	42
Tabla 4.3: Análisis granulométrico.....	43
Tabla 4.4: Límites de Atterberg.....	46
Tabla 4.5: Resultados de Límite plástico, Límite Líquido y Índice de Plasticidad.	47
Tabla 4.6: Peso específico (PE).....	49
Tabla 4.7: Información muestra.....	50
Tabla 4.8: Resultados obtenidos de Carga Constante.	50
Tabla 4.9: Información para carga variable.....	51
Tabla 4.10: Resultados obtenidos de Carga variable.....	52
Tabla 4.11: Datos utilizados para la obtención de las variables t y s de la muestra de ensayo.....	54
Tabla 4.12: Relación de raíz (W/k) y Permeabilidad de material.....	57
Tabla 4.13: Resultados de s para su respectivo t	58
Tabla 4.14: Resultados de Caudal para la disposición de tuberías.	58
Tabla 4.15: Dimensiones de estructura.	65
Tabla 4.16: Resultados pruebas de Caudal en experimento.....	74
Tabla 7.1: Análisis granulométrico.....	83

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Geometría modelo físico	6
Figura 2.1: Pilas Dinámicas.....	9
Figura 2.2: Componentes de una Pila de Lixiviación.....	10
Figura 2.3: Influencia de la gradación en la permeabilidad de suelos granulares	12
Figura 2.4: Rango de permeabilidades y drenaje para distintos tipos de suelos	13
Figura 2.5: Ensayo de Carga Constante.....	15
Figura 2.6: Ensayo de Carga variable.....	17
Figura 2.7: Variación de la granulometría debido a “chancado químico”	20
Figura 2.8: Banda granulométrica de ripios.....	21
Figura 2.9: Flujo en medio parcialmente saturado, efecto de la magnitud de la tasa de infiltración.	22
Figura 2.10: Observaciones de apilamiento en terreno botadero de Ripios.....	26
Figura 2.11: Observaciones de solución en terreno Botadero de Ripios.....	27
Figura 2.12: Observaciones de grietas y asentamientos en terreno Botadero de Ripios.....	27
Figura 2.13: Panorámica construcción de drenes basales en Botaderos de Ripios.....	29
Figura 2.14: Experimento movimiento del agua, Suelo texturizado diferente.....	30
Figura 2.15: Experimento movimiento del agua, Suelo saturado.....	31
Figura 2.16: Experimento movimiento del agua, Suelo compuesto de Arcillas.....	31
Figura 2.17: Drenajes paralelos.....	32
Figura 3.1: Representación geométrica del Botadero junto con los niveles de tuberías, en a) Vista general de niveles, en b) Distancia entre tuberías.....	38
Figura 4.1: Representación de una lixiviación en pilas.....	40
Figura 4.2: Muestra representativa para análisis.....	44
Figura 4.3: Curva granulométrica.....	44
Figura 4.4: Cuchara de Casagrande	45
Figura 4.5: Gráfica Límite líquido.....	47
Figura 4.6: Sistema Clasificación USCS, a) Suelos finos, b) Suelos gruesos.....	48
Figura 4.7: Ensayo de permeabilidad.....	50
Figura 4.8: Variación de permeabilidad según densidad.....	53

Figura 4.9: Gráfica variación del espaciamiento de tuberías según diferentes tasas de infiltración.	55
Figura 4.10: Variabilidad de distancia entre tuberías para las tres tasas de infiltración.	56
Figura 4.11: Relación de la raíz (W/k) con las permeabilidades de los distintos materiales.	57
Figura 4.12: Gráfica de caudal versus espaciamiento de tuberías.	59
Figura 4.13: Curva de Succión versus Contenido de agua volumétrico.	60
Figura 4.14: Curva de Succión versus Conductividad $-X$.	61
Figura 4.15: Análisis de infiltración Flujo de Agua.	61
Figura 4.16: Presión intersticial, Cargar total.	62
Figura 4.17: Presión de poros por agua.	62
Figura 4.18: presión intersticial, Carga de presión.	63
Figura 4.19: Caudal de modelamiento numérico.	63
Figura 4.20: Caudal variando flujo de entrada y permeabilidad.	64
Figura 4.21: Microtubo de 4 mm de diámetro.	65
Figura 4.22: Dimensiones propuesta estructura de 40 cm de ancho.	66
Figura 4.23: Componentes de la representación Botadero de Ripios.	67
Figura 4.24: Muestra utilizada con referencia.	67
Figura 4.25: Instalación de geomembrana para el Experimento.	68
Figura 4.26: Armado final del Botadero de Ripios.	69
Figura 4.27: Incorporación de líquido en modelo físico.	69
Figura 4.28: Primer avance del frente humectante en modelo físico.	70
Figura 4.29: Avance del frente humectante.	70
Figura 4.30: 7 cm de avance del frente humectante.	71
Figura 4.31: Saturación completa y superficie del modelo físico.	72
Figura 4.32: Líquido en la superficie del modelo físico.	73
Figura 4.33: Representación con distancia de 10 cm entre tuberías.	73
Figura 4.34: Gráfico comparativo de caudal.	74
Figura 7.1: Ensayo de Limite de Atterberg	83
Figura 7.2: Cuchara de Casagrande.	84
Figura 7.3: Ensayo de permeámetro con suelo Saturado.	84