

Tabla de Contenido

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	1
1.1 Motivación.....	1
1.2 Objetivos.....	2
1.2.1 Objetivos generales.....	2
1.2.2 Objetivos específicos.....	2
1.3 Metodología	2
1.3.1 Revisión Bibliográfica	2
1.3.2 Caracterización físico – química de la laponita	3
1.3.3 Caracterización geotécnica en muestras de laponita, arena limpia y mezclada en seco (<i>dry mix</i>).....	3
1.4 Organización de la tesis.....	3
CAPÍTULO 2: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1 Introducción a la laponita	5
2.1.1 ¿Qué es la laponita?.....	5
2.1.2 Usos de la laponita	5
2.1.3 Grados de laponita	6
2.1.4 Composición química	6
2.1.5 Síntesis de laponita	7
2.1.6 Propiedades del fabricante	10
2.2 Caracterización físico–química y geotécnica de laponita	10
2.2.1 Espectroscopía de infrarrojos por transformada de Fourier (FTIR)	10
2.2.2 Difracción de rayos X (XRD).....	11
2.2.3 Análisis termogravimétrico (TGA)	12
2.2.4 Superficie específica.....	13
2.2.5 Límite de Atterberg	16
2.2.6 Granulometría partículas en suspensión.....	16
2.3 Comportamiento de soluciones de laponita.....	17
2.3.1 Consolidación e hinchamiento de la laponita	17
2.3.2 Interacción de la arcilla con el agua.....	19
2.3.3 Capacidad de intercambio de cationes CEC y agua adsorbida.....	23
2.3.4 Introducción al comportamiento de fluido.....	23
2.3.5 Efectos modificantes de suspensiones coloidales	25
2.3.6 Estados en suspensiones coloidales	27
2.4 Propiedades reológicas.....	29
2.4.1 Viscosidad	30

2.4.2	Transición solución – gel/vidrio	34
2.4.3	Recuperación después del corte	36
2.5	Propiedades geotécnicas del gel	37
2.5.1	Esfuerzo de corte	37
2.5.2	Consolidación	40
2.5.3	Conductividad hidráulica.....	42
2.6	Estudio de microestructuras de suelo con laponita	43
2.6.1	Permeación y <i>dry mix</i>	43
2.6.2	Medición de conductividad hidráulica	44
2.6.3	Resistencia al corte cíclico.....	45
2.7	Potenciales aplicaciones de la laponita en la ingeniería civil	46
2.7.1	Mitigación de la licuefacción	46
2.7.2	Modelos a escala.....	47
2.7.3	Mejoramiento al cemento	47
2.7.4	Excavaciones	47
2.7.5	Fabricación de ladrillos	48
2.7.6	Ahorro de agua en la minería: Uso de agua de mar	48
CAPÍTULO 3: PROGRAMA EXPERIMENTAL FÍSICO - QUÍMICO		49
3.1	Descripción de los materiales	49
3.2	Equipos utilizados	49
3.2.1	Granulometría.....	49
3.2.2	Humedad.....	49
3.2.3	Espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR)	50
3.2.4	Análisis Termogravimétrico (TGA)	52
3.2.5	Difracción de Rayos X en polvo (XRD)	52
3.2.6	Microscopio electrónico de barrido (SEM) acoplado con espectroscopía de rayos X de energía dispersiva (EDS).....	54
3.2.7	Medición de Superficie Específica	55
3.3	Metodología de los ensayos	57
3.3.1	Granulometría.....	57
3.3.2	Humedad.....	58
3.3.3	Espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR)	58
3.3.4	Análisis termogravimétrico (TGA)	59
3.3.5	Difracción de rayos X en polvo (XRD)	60
3.3.6	Microscopio electrónico de barrido acoplado con espectroscopía de rayos X de energía dispersiva (SEM/EDS)	60

3.3.7	Medición de superficie específica	60
CAPÍTULO 4: PROGRAMA EXPERIMENTAL GEOTÉCNICO		61
4.1	Descripción de los materiales	61
4.2	Equipos utilizados	61
4.2.1	Granulometría.....	61
4.2.2	Límites de Atterberg	61
4.2.3	Ángulo en reposo	61
4.2.4	Índice de vacío máximo y mínimo.....	61
4.2.5	Hinchamiento.....	61
4.2.6	Compresión edométrica.....	62
4.2.7	Corte Directo	62
4.2.8	Microscopio electrónico de barrido (SEM)	62
4.3	Metodología del ensayo	62
4.3.1	Preparación de probetas	62
4.3.2	Ensayos.....	62
CAPÍTULO 5: RESULTADOS CARACTERIZACIÓN FÍSICO – QUÍMICA		67
5.1	Granulometría.....	67
5.2	Humedad	68
5.3	Espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR)	69
5.4	Análisis termogravimétrico (TGA)	70
5.5	Difracción de rayos X en polvo (XRD).....	71
5.6	Microscopio electrónico de barrido (SEM) acoplada con espectroscopía de rayos X de energía dispersiva	72
5.6.1	Microscopía electrónica de barrido	72
5.6.2	Espectroscopía de rayos X de energía dispersiva (EDS).....	76
5.7	Medición superficie específica (BET)	79
CAPÍTULO 6: RESULTADOS CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA.....		80
6.1	Granulometría.....	80
6.1.1	Laponita RD	80
6.1.2	Mezcla de arena limpia con laponita.....	80
6.2	Límites de Atterberg.....	81
6.3	Ángulo en reposo.....	82
6.4	Índice de vacío máximo y mínimo	83
6.4.1	Laponita RD	83
6.4.2	Arena limpia.....	84
6.4.3	DM 1%, 3%, 5% y 10%.....	84

6.5	Hinchamiento.....	85
6.5.1	Hinchamiento libre.....	85
6.5.2	Presión de hinchamiento.....	86
6.6	Compresión edométrica.....	86
6.6.1	Laponita RD.....	87
6.6.2	Arena limpia.....	90
6.6.3	DM 1% laponita.....	92
6.7	Corte directo.....	94
6.7.1	Laponita.....	94
6.7.2	Arena limpia.....	97
6.7.3	DM1%.....	99
6.8	Microscopio electrónico de barrido (SEM).....	101
6.8.1	Arena limpia.....	101
6.8.2	DM1%.....	102
6.8.3	DM3%.....	102
CAPÍTULO 7: ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIONES.....		104
7.1	Comparación del análisis físico – químico con la bibliografía.....	104
7.2	Efecto del tamaño de partículas y el contenido de agua.....	105
7.3	Capacidad de adsorción de agua de la laponita.....	106
7.3.1	Límites de Atterberg.....	106
7.3.2	Hinchamiento y presión de hinchamiento.....	107
7.4	Propiedades geotécnicas de la laponita asociados a fenómenos físico – químicos.....	108
7.4.1	Superficie específica.....	108
7.4.2	Teoría de doble capa en la consolidación.....	109
7.4.3	Teoría de doble capa en el hinchamiento.....	110
7.4.4	Conductividad hidráulica de la laponita.....	112
7.5	Relación entre las propiedades reológicas y las propiedades geotécnicas de la laponita.....	113
7.5.1	Relación entre la viscosidad y la resistencia al corte no drenado.....	113
7.5.2	Tixotropía.....	114
7.5.3	Resistencia a diferentes profundidades.....	115
7.6	Especímenes permeados versus mezclado en seco.....	115
7.7	Desempeño de arena mezcladas en seco con 1% de laponita.....	116
7.7.1	Comparación de curvas granulométricas.....	116
7.7.2	Ángulo en reposo.....	118

7.7.3	Índice de vacío máximo y mínimo.....	118
7.7.4	Compresión edométrica.....	120
7.7.5	Corte Directo	121
CAPÍTULO 8: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		123
8.1	Conclusiones	123
8.2	Recomendaciones para trabajos futuros.....	126
CAPÍTULO 9: BIBLIOGRAFÍA.....		127
CAPÍTULO 10: Anexos		A
10.1	Granulometría.....	A
10.2	Humedad	C
10.3	Espectroscopía de Infrarrojos por Transformada de Fourier (FT-IR).....	E
10.4	Análisis Termogravimétrico (TGA)	G
10.4.1	Temperatura versus masa.....	G
10.4.2	Tiempo versus masa	I
10.4.3	Temperatura versus primera derivada.....	K
10.4.4	Tiempo versus primera derivada	M
10.4.5	Promedio primera derivada	O
10.5	SEM.....	P
10.5.1	EDS.....	P
10.6	Dispositivo permeámetro	R