

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Presentación del tema	1
1.2. Objetivos	2
1.2.1. Objetivo general	2
1.2.2. Objetivos específicos	2
1.3. Hipótesis de trabajo	2
2. ANTECEDENTES.....	3
2.1. Ubicación y vías de acceso Minera Florida	3
2.2. Antecedentes Minera Florida.....	4
2.3. Antecedentes Geológicos	4
2.3.1. Marco Geológico Regional	4
2.3.2. Marco Geológico Distrital	8
2.3.3. Alteración y Mineralización Distrital	13
2.4. Metalurgia del Oro	14
2.5. Espectroscopía de reflectancia	16
2.5.1. Espectroscopía de reflectancia en óxidos y sulfuros	19
2.6. Imágenes hiperespectrales.....	21
2.7. Tecnologías de análisis hiperespectral	23
2.7.1. HyLogger3™	26
2.7.2. Cámara hiperespectral SWIR3.0	27
2.8. Uso de datos hiperespectrales	28
2.9. Clasificadores basados en Machine Learning	29
3. METODOLOGÍA	31
3.1. Investigación bibliográfica	31
3.2. Trabajo de terreno en Mina Florida.....	31
3.3. Descripción petrográfica y calcográfica	31
3.4. Análisis de curvas de reflectancia de minerales puros	32
3.5. Análisis hiperespectral mediante tecnología HyLogging™	32
3.6. Captura de imágenes hiperespectrales.....	33
3.7. Análisis de imágenes hiperespectrales	33
3.8. Detección y clasificación de sulfuros y óxidos	33
3.9. Análisis de microscopía electrónica de barrido (SEM-EDX)	34

4.	RESULTADOS	35
4.1.	Descripción de muestras Mina Florida	35
4.2.	Características espectrales de sulfuros y óxidos en el rango SWIR	38
4.2.1.	Sulfuros.....	38
4.2.2.	Óxidos.....	42
4.3.	Análisis de imágenes hiperespectrales	45
4.3.1.	Adquisición de Imágenes Hiperespectrales	45
4.3.2.	Aprendizaje Supervisado	46
4.4.	Análisis SEM.....	54
4.5.	Límite de detección	57
5.	DISCUSIÓN.....	63
5.1.	Caracterización mineral y representatividad de las muestras	63
5.2.	Características espectrales de sulfuros y óxidos en el rango SWIR	65
5.3.	Metodologías de entrenamiento	67
5.4.	Algoritmos de clasificación	68
5.5.	Límite de detección	70
5.6.	Limitaciones del método de detección mineral	72
5.6.1.	Captura de imágenes y calibración.....	72
5.6.2.	Etiquetado	74
5.6.3.	Algoritmo de entrenamiento y clasificación.....	74
5.7.	Recomendaciones para la discriminación espectral de minerales ..	74
5.8.	Tecnologías hiperespectrales como método de detección mineral .	75
5.9.	Aplicaciones del método	78
6.	CONCLUSIONES.....	80
7.	BIBLIOGRAFÍA.....	83
8.	ANEXOS.....	86
8.1.	Anexo A: Información del mapeo geológico.	86
8.2.	Anexo B: Descripciones de roca	87
8.3.	Anexo C: Descripciones petrográficas y calcográficas	101
8.4.	Anexo D: Resumen adquisición de imágenes hiperespectrales. ...	115
8.5.	Anexo E: Datos SEM	116
8.6.	Anexo F: Límite de detección.....	212

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Mapa de acceso y ubicación de Mina Florida..	3
Figura 2.2: Mapa geológico regional.....	5
Figura 2.3: Mapa geológico distrital.	12
Figura 2.4: Rangos espectrales	17
Figura 2.5: Curvas espectrales de calcita y epidota	19
Figura 2.6: Clasificación de sensores hiperespectrales.....	22
Figura 2.7: HyLogger3™ instalado en el AMTC	26
Figura 2.8: Cámara hiperespectral SWIR3.0.....	28
Figura 2.9: Clasificador K-Vecinos cercanos..	30
Figura 4.1: Alteración hidrotermal principal..	35
Figura 4.2: Mineralización.....	36
Figura 4.3: Resumen de análisis hiperespectral mediante Hy-Logger3™	37
Figura 4.4: Curvas espectrales Pirita.	39
Figura 4.5: Curvas espectrales Calcopirita.	40
Figura 4.6: Curvas espectrales Esfalerita.	41
Figura 4.7: Curvas espectrales Galena.	42
Figura 4.8: Curvas espectrales Hematita.	43
Figura 4.9: Curvas espectrales Magnetita.	44
Figura 4.10: Modelo conceptual del proceso de análisis hiperespectral	45
Figura 4.11: Etiquetado de imágenes hiperespectrales	47
Figura 4.12: Etiquetado de minerales de alteración y mineralización.	48
Figura 4.13: Etiquetado de materiales de calibración.	49
Figura 4.14: Corrección de superpíxeles..	51
Figura 4.15: Matrices de confusión: Píxeles mezclados.	53
Figura 4.16: Matrices de confusión: Imágenes separadas.	54
Figura 4.17: Elección de zonas para análisis SEM-BSE.....	55
Figura 4.18: Análisis SEM en zona elegida.	56
Figura 4.19: Fotografía de Imagen hiperespectral de especímenes.....	58
Figura 4.20: Cortes transparente pulidos (CTP)	59
Figura 4.21: Etiquetado de CTP para definir límite de detección.....	60
Figura 4.22: Tamaños detectados y no detectados para cada mineral	61
Figura 4.23: Gráficos Tamaño cristal vs Porcentaje modal.	62

Figura 5.1: Representatividad de las muestras y especímenes.....	64
Figura 5.2: Curva espectral esfalerita.....	66
Figura 5.3: Curva espectral esfalerita.....	66
Figura 5.4: Curva espectral de cuarzo puro.....	70
Figura 5.5. Influencia del estilo de mineralización.	71
Figura 5.6: Minerales de alteración en el rango SWIR.....	76
Figura 5.7: Características espectrales del grupo de la caolinita.....	76
Figura 5.8: Fotografía de corte pulido del espécimen CTP-8..	77
Figura 8.1: Información geológica para cada bandeja de sondaje.	86
Figura 8.2: Fotografías de corte transparente CTP-1 a luz reflejada	116
Figura 8.3: Fotografías de corte transparente CTP-2 a luz reflejada	124
Figura 8.4: Fotografías de corte transparente CTP-3 a luz reflejada	133
Figura 8.5: Fotografías de corte transparente CTP-4 a luz reflejada.	141
Figura 8.6: Fotografías de corte transparente CTP-5 a luz reflejada.	149
Figura 8.7: Fotografías de corte transparente CTP-7 a luz reflejada.	159
Figura 8.8: Fotografías de corte transparente CTP-8 a luz reflejada	168
Figura 8.9: Fotografías de corte transparente CTP-9.1 a luz reflejada.....	179
Figura 8.10: Fotografías de corte transparente CTP-10 a luz reflejada	187
Figura 8.11: Fotografías de corte transparente CTP-11 a luz reflejada	195
Figura 8.12: Fotografías de corte transparente CTP-12 a luz reflejada	204
Figura 8.13: Etiquetado de corte pulido del espécimen CTP-1.....	213
Figura 8.14: Etiquetado de corte pulido del espécimen CTP-2.....	214
Figura 8.15: Etiquetado de corte pulido del espécimen CTP-3.....	215
Figura 8.16: Etiquetado de corte pulido del espécimen CTP-4.....	216
Figura 8.17: Etiquetado de corte pulido del espécimen CTP-5.....	217
Figura 8.18: Etiquetado de corte pulido del espécimen CTP-6.....	218
Figura 8.19: Etiquetado de corte pulido del espécimen CTP-7.....	219
Figura 8.20: Etiquetado de corte pulido del espécimen CTP-8.....	220
Figura 8.21: Etiquetado de corte pulido del espécimen CTP-9.1	221
Figura 8.22: Etiquetado de corte pulido del espécimen CTP-9.2.....	222
Figura 8.23: Etiquetado de corte pulido del espécimen CTP-10.....	223
Figura 8.24: Etiquetado de corte pulido del espécimen CTP-12.....	224

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Principales absorciones en posiciones de longitudes de onda aproximadas y grupos moleculares asociados a estas.	18
Tabla 2.2: Identificación de minerales en rangos de longitud de onda.	20
Tabla 2.3: Principales tecnologías hiperspectrales desarrolladas.....	25
Tabla 2.4: Parámetros de la cámara hiperspectral SWIR3.0.	27
Tabla 4.1: Resumen de las características espectrales identificadas para sulfuros y óxidos en el rango SWIR.....	44
Tabla 4.2: Lista de etiquetas de minerales y materiales.....	46
Tabla 4.3: Puntajes de clasificación.....	53
Tabla 4.4: Resultados de análisis SEM-BSE para el sitio #1 del corte CTP-01.	56
Tabla 4.5: Mineralogía identificada mediante análisis SEM en cortes transparente pulido (CTP).....	57
Tabla 4.6: Corte transparente pulido (CTP) en el cual se detectan o no se detectan los minerales definidos para determinar el límite de detección. ...	60
Tabla 5.1: Resultados de clasificación para sulfuros y óxidos.....	68
Tabla 8.1: Resumen de datos adquiridos durante la captura de imágenes hiperspectrales en Mina Florida.....	115
Tabla 8.2: Tamaños máximos del mineral que no fue detectado en cada corte transparente pulido (CTP).....	212
Tabla 8.3: Rango de tamaños para el mineral que fue detectado en cada corte transparente pulido (CTP).....	212