

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
1.1	Introducción.....	1
1.2	Formulación del estudio propuesto .....	1
1.3	Fundamentación y discusión bibliográfica .....	2
1.4	Enfoques y procedimientos actualmente en uso .....	5
1.5	Objetivos .....	6
1.5.1	Objetivo general .....	7
1.5.2	Objetivos específicos.....	7
1.6	Hipótesis de trabajo .....	8
1.7	Metodología .....	8
1.7.1	Fraude asociado al intercambio de mercancía por sacos de arena .....	8
1.7.2	Creación de vínculo o protocolo para la PDI.....	10
<b>2</b>	<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>11</b>
2.1	Geología Forense: su potencial y complicaciones .....	11
2.1.1	Uso de material terrestre como evidencia .....	14
2.1.2	Métodos de examinación.....	17
2.1.3	Instrumentos geofísicos y la búsqueda de cuerpos .....	21
2.1.4	Fraude de arte, gemas, mineral y mina .....	24
2.1.5	Análisis de suelos .....	25
2.1.6	Casos documentados .....	29
2.2	Análisis granulométrico y de ambiente sedimentario .....	34
2.2.1	Ambiente sedimentario: Playa.....	36
2.2.2	Distribución de tamaño de grano.....	39
2.3	Espectroscopia RAMAN .....	45
2.4	Espectrometría de Fluorescencia de rayos-X mediante dispersión de energía (EDX-XRF).....	46
2.5	Microscopio electrónico de barrido (SEM) .....	47
2.5.1	Preparación de la muestra y configuración del SEM.....	49
2.5.2	Uso del SEM para el estudio de texturas superficiales en granos de cuarzo .....	52
2.5.3	Estudio de micro texturas en granos de cuarzo .....	54
<b>3</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	<b>63</b>
3.1	Análisis mineralógico .....	63
3.2	Análisis geoquímico.....	65

3.2.1	<b>Espectrometría de Fluorescencia de rayos-X mediante dispersión de energía (EDX-XRF)</b> .....	65
3.3	<b>Análisis granulométrico</b> .....	66
3.3.1	<b>Muestras A, B, C, D y E</b> .....	67
3.4	<b>Análisis de microtexturas en granos de cuarzo</b> .....	77
3.4.1	<b>Muestra A (Arenas de origen desconocido asociadas a la estafa)</b> .....	78
3.4.2	<b>Muestra B (Playa de Miami, Florida, Estados Unidos)</b> .....	80
3.4.3	<b>Comparación muestra A y B</b> .....	84
3.5	<b>Análisis RAMAN</b> .....	87
3.6	<b>Estudios actualmente realizados en la PDI relacionados con la geología</b> .....	90
4	<b>DISCUSIONES</b> .....	91
5	<b>CONCLUSIONES</b> .....	98
6	<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	100

## **INDICE DE TABLAS**

Tabla 1.1:	Muestras analizadas en esta memoria y lugar del cual fueron tomadas. ....	2
Tabla 2.1:	Principales ambientes sedimentarios, Mc Laren(1995) y Le Roux (2012). ....	35
Tabla 2.2:	Escala propuesta por Udden-Wentworth (Wentworth,1992). ....	43
Tabla 2.3:	Términos descriptivos de selección de acuerdo a Folk y Ward (1957). ....	43
Tabla 2.4:	Términos descriptivos de asimetría de acuerdo a Folk y Ward (1957). ....	44
Tabla 2.5:	Términos descriptivos de curtosis de acuerdo a Folk y Ward (1957). ....	44
Tabla 2.6:	Resumen de las posibles muestras que se podrían analizar en el SEM y sus características principales. ....	50
Tabla 3.1:	Resultados obtenidos a partir del tamizaje de la muestra A. ....	68
Tabla 3.2:	Resultados obtenidos a partir del tamizaje de la muestra B. ....	70
Tabla 3.3:	Resultados obtenidos a partir del tamizaje de la muestra C. ....	71
Tabla 3.4:	Resultados obtenidos a partir del tamizaje de la muestra D. ....	73
Tabla 3.5:	Resultados obtenidos a partir del tamizaje de la muestra E. ....	74
Tabla 3.6:	Resultados de los parámetros estadísticos obtenidos con el programa GRADISTAT. ....	76

Tabla 3.7: Descripción cualitativa para cada muestra. ....	76
Tabla 3.8: Microtexturas seleccionadas para realizar el análisis de los granos de cuarzo de las muestras A y B. ....	85
Tabla 3.9: Frecuencia de abundancia de las micro texturas en la superficie de los granos y su frecuencia de ocurrencia en porcentaje. h: alto, m: medio, l: bajo, -: escaso/ausente o no aplica a la descripción.....	86

## INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Tabla en la que se resumen las distintas técnicas utilizadas hoy en día en el análisis de suelos. Tabla tomada de Morgan y Bull, 2007. ....	13
Figura 2.2: Tabla estándar de color de suelo desarrollada por Munsell (1973). En este caso se muestra solo la tabla asociada al color café mencionado como ejemplo previamente. ....	18
Figura 2.3: Figura que ilustra cómo se puede transferir el suelo en distintos delitos y los análisis tomados en cada caso. Figura tomada de Fitzpatrick (2013). ....	28
Figura 2.4: Esquema en el que se resumen las etapas de análisis de un suelo. La imagen es tomada de una publicación de Fitzpatrick (2013). ....	29
Figura 2.5: Esquema en el que se resumen las etapas de trabajo para llegar a la ubicación de los cuerpos. Tomado de Sagripanti (2013). ....	32
Figura 2.6: En este esquema se muestra como varía la resistencia del suelo dependiendo de su composición. Tomado de Sagripanti (2013). ....	32
Figura 2.7: Imagen en la que se muestran los dos suelos analizados. Tomada de Molina (2014). ....	33
Figura 2.8: Muestras para cotejo en el caso de secuestro y asesinato de 11 diputados. Tomado de Molina (2014). ....	34
Figura 2.9: Ejemplo de un histograma, tomado de Folk (1974). ....	40
Figura 2.10: Esquema en el que se representan los distintos grados de asimetría. (A) Simétrico, (B) Asimetría positiva, (C) Asimetría negativa. El esquema es tomado de Le Roux (2012). ....	40
Figura 2.11: Esquema que ilustra cómo se observa una buena y mala selección en una cruva de frecuencia. Tomado de Le Roux (2012) ....	40
Figura 2.12: Esquema en el que se ilustran los distintos grados de curtosis. Tomado de Le Roux (2012). ....	41

Figura 2.13: Curvas de frecuencia acumuladas en escala aritmética (izquierda) y probabilística (derecha). Tomado de Folk (1974).	41
Figura 2.14: En este esquema se muestra cómo se pueden identificar los tres medios de transporte de los granos. Tomado de Le Roux (2012).	42
Figura 2.15: Curvas cumulativas esquemáticas para mostrar las diferencias que se observan en dos ambientes distintos; playa (a) y dunas (b). Tomado de Le Roux (2012).	45
Figura 2.16: Resumen de las micro texturas y su abundancia en distintos ambientes. Esquema tomado de Vos (2014).	61
Figura 3.1: (A.1) y (A.2) corresponden a imágenes de la muestra estafa a distinto aumento (origen desconocido). (B) playa de Miami (USA), (C) playa de Daytowna (USA), (D) playa El Tabo (Chile), (E) playa Caleta Portales (Chile).	65
Figura 3.2: A partir de la curva de frecuencia es posible observar la moda de la muestra, mientras que en la frecuencia acumulada ya se pueden distinguir las distintas rectas asociadas a los medios de transporte.	68
Figura 3.3: Se observa que los granos se concentran principalmente entre 1,25 y 3,25.	69
Figura 3.4: A partir de la curva de frecuencia es posible observar la moda de la muestra, mientras que en la frecuencia acumulada ya se pueden distinguir las distintas rectas asociadas a los medios de transporte.	70
Figura 3.5: Se puede observar la distribución de los granos y que la mayoría quedan retenidos entre las mallas #35 a #60, en este histograma no queda tan evidenciada la predominancia de un cierto tamaño de grano.	70
Figura 3.6: A partir de la curva de frecuencia es posible observar la moda y de forma cualitativa la simetría, selección y curtosis. En la curva de frecuencia acumulada lo que podría ser la recta correspondiente a la saltación no es tan evidente.	72
Figura 3.7: Se puede observar la distribución de los granos y es evidente la predominancia de un cierto tamaño de grano (180 $\mu\text{m}$ ).	72
Figura 3.8: Al igual que en la muestra C la posible recta asociada a la saltación no se observa tan claramente en este tipo de gráfico (frecuencia acumulada). La curva de frecuencia es bastante clara y permite dar una primera impresión respecto a la simetría, selección y curtosis de la muestra.	73
Figura 3.9: Al quedar la mayoría de los granos retenidos en una sola malla (#60) el histograma muestra esto de forma bastante evidente.	74
Figura 3.10: En esta muestra la curva de saltación ya se hace evidente al mirar la curva de frecuencia acumulada. Respecto a su curva de frecuencia está al igual que en las otras muestras permite tener una primera impresión respecto a ciertas características como la selección, asimetría y curtosis.	75

- Figura 3.11: Se observa la distribución de los granos y que estos quedan retenidos preferentemente entre valores de phi de 0,52 y 1,52. 75
- Figura 3.12: Frecuencias acumulativas en papel probabilístico. 77
- Figura 3.13: Se observan granos de cuarzo pertenecientes a la muestra A con distintas formas. (A) sub-elongado, presenta gran cantidad de marcas con forma de media luna y en menor medida surcos curvos (B) elongado, presenta marcas con forma de V y en menor medida surcos profundos, (C) bulboso, se pueden observar depresiones elongadas y por último (D) corresponde a un grano esférico. 79
- Figura 3.14: Granos obtenidos a partir de la muestra A, (a) Grano elongado con bordes sub-redondeados. Evidencia un plano de fractura y además presenta abundantes marcas con forma de V en su superficie y en menor medida surcos curvos, (b) es una ampliación de (a), donde es posible observar pits de disolución con forma irregular, (c) grano sub-elongado en el que se pueden observar grandes surcos, (d) ampliación de (c) en donde se logra ver las marcas en forma de V además de algunos surcos rectos. 80
- Figura 3.15: Granos pertenecientes a la muestra B, (a) Grano subelongado, (b) ampliación de (a) en donde es posible observar en detalle los pits de disolución orientados, (c) grano elongado en el que se logran observar platos invertidos, (d) se aprecian las marcas en forma de V y pits de disolución, (e) grano bulboso, presenta marcas con forma de V y con forma de media luna, en (f) se logran observar pits de disolución circulares. 82
- Figura 3.16: Grano pertenecientes a la muestra B, (a) Grano elongado cuya superficie se presenta suavizada y con múltiples fracturas concoidales pequeñas, (b) ampliación de las fracturas concoidales de (a), (c) grano elongado que presenta una fractura y múltiples marcas con forma de V y (d) ampliación de rasguños observados en (b), en (e) se observa un grano elongado con bordes subangulosos, la abrasión de su superficie es alta, (f) es un grano con grandes hoyos en su superficie, además de marcas de V de mayor tamaño, también se observan marcas con forma de media luna. 83
- Figura 3.17: Una de las diatomeas observada en la muestra B. 84
- Figura 3.18: Gráfico en el que se puede comparar la ocurrencia de micro texturas en ambas muestras. Se observa que estas son bastante similares y que predominan las micro texturas 1,7,16,18,25 y 29. 87
- Figura 3.19: Algunos de los espectros RAMAN que fueron tomados de los granos de las muestras A y B. 87
- Figura 3.20: Espectro RAMAN referencial para el cuarzo- $\alpha$  obtenido de la base de datos online generada por el Laboratorio de Geología de Lyon. 88
- Figura 3.21: Otro espectro referencial para el cuarzo- $\alpha$  obtenido de la página web del proyecto RRUFF, que corresponde a una muestra de cuarzo obtenida en la localidad de Spruce Claim, Washington, USA. 89

- Figura 3.22: Comparación entre 5 de los 10 espectros obtenidos a partir de granos de la muestra A, con un espectro de referencia obtenido de la base de datos online generada por el Laboratorio de Geología de Lyon. Se indican los peaks relevantes. 90
- Figura 4.1: Mapa que muestra la trayectoria que siguió la mercancía que fue reemplazada. 91
- Figura 4.2: Columna estratigráfica de florida (norte y sur). Esta fue obtenida de la colección digital que tiene la Universidad de Florida en su página web. 93
- Figura 4.3: Se comparan los espectros de los cuarzos de la muestra A(izquierda) con un espectro de referencia de la Universidad de Lyon (derecha). 97
- Figura 4.4: Espectros RAMAN de polimorfos del cuarzo (a) coesita, (b) cristobalita, (c) tridimita, (d) stishovita. Estos espectros fueron obtenidos a través de la base de datos online de la Universidad de Lyon. 97