



UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

SEDIMENTOLOGÍA Y ESTRATIGRAFÍA DE LA LAGUNA DEL VIENTO (33°S, 3100  
MSNM) Y SUS IMPLICANCIAS PALEOCLIMÁTICAS EN LOS ANDES  
SUBTROPICALES DESDE EL PLEISTOCENO TARDÍO, REGIÓN METROPOLITANA

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
GEÓLOGO

DIEGO ALFONSO RODRÍGUEZ CONTRERAS

PROFESOR GUÍA:  
VALENTINA FLORES AQUEVEQUE

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:  
ANTONIO MALDONADO CASTRO  
TANIA VILLASEÑOR JORQUERA

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por Proyecto FONDECYT Regular Número  
1180413 'Climate change and landslides occurrence in the subtropical Andes since the Late  
Pleistocene'

SANTIAGO DE CHILE

2019



RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR  
AL TÍTULO DE GEÓLOGO  
POR: DIEGO ALFONSO RODRÍGUEZ CONTRERAS  
FECHA: 2019  
PROF. GUÍA: VALENTINA FLORES AQUEVEQUE

SEDIMENTOLOGÍA Y ESTRATIGRAFÍA DE LA LAGUNA DEL VIENTO (33°S, 3100  
MSNM) Y SUS IMPLICANCIAS PALEOCLIMÁTICAS EN LOS ANDES  
SUBTROPICALES DESDE EL PLEISTOCENO TARDÍO, REGIÓN METROPOLITANA

En este estudio se investigó tanto la estratigrafía como sedimentología de un testigo de sedimento extraído de la Laguna del Viento (Región Metropolitana, Chile), apoyada por información complementaria tomada con anterioridad para la laguna.

El testigo refleja procesos ocurridos los últimos 14.000 cal yr B.P., en los cuales los parámetros sedimentológicos asociados a la granulometría (tamaño de grano medio, selección, asimetría, curtosis, D10, D50, D90 y SPAN) sugieren que los sedimentos habrían sido depositados tanto por agentes eólicos como glacio - fluviales. Seis unidades estratigráficas pudieron ser definidas para este testigo. Las unidades de techo a base I, II y III registran el mayor número de estructuras asociadas a eventos de mayor energía, tales como estratificación masiva, convoluta y contactos erosivos, así como un mayor porcentaje de materia orgánica. Aportes considerables de material clástico se identifican en las unidades IV, V y VI, así como un mayor número de laminaciones y menor cantidad de materia orgánica.

Estos registros muestran cambios paleoclimáticos importantes desde el Pleistoceno tardío hasta los tiempos modernos. Diez periodos de tiempo diferenciables se han identificado a lo largo del testigo, mediante cambios observables en los parámetros granulométricos, estratigrafía y porcentajes de materia orgánica y material clástico, los cuales se podrían relacionar con los eventos globales del fin del LGM (Last Glacial Maximum), tales como condiciones similares al Younger Dryas (13.000 - 11.500 cal yr B.P.), el Early to mid- Holocene Climatic Transition (EMHT, 8.200 - 7.800 cal yr B.P.) y el pulso más seco del Holoceno identificado por Méndez et al. (2014) entre los 7.800 y 5.700 cal yr B.P. entre otros.

Una tendencia a condiciones más cálidas (reflejado en registros de polen, diatomeas, testigos lacustres y temperaturas oceánicas entre otros) se observa desde el LGM hacia las condiciones modernas con algunas excepciones, así como un aumento en los eventos secos. A su vez, se observa un incremento en las condiciones húmedas hacia el Holoceno Medio y Temprano sujetas a condiciones variables (principalmente el El Niño Southern Oscillation). Sin embargo, estas variaciones se han observado anteriormente (con un respectivo desplazamiento hacia el norte de los Vientos Oestes), por lo que no resulta evidente la relación entre el alza continua de las temperaturas y bajas de las precipitaciones de hoy en día, dejando en evidencia que el factor antropogénico tiene un protagonismo mayor que vale la pena seguir estudiando.



*Veni. Vidi. Vici.* Gaius Julius Caesar



# Agradecimientos

Goethe escribió « Es muy común recordar que alguien nos debe agradecimiento, pero es más común no pensar en quienes les debemos nuestra propia gratitud ». Creo que me extendería demasiado escribiendo agradecimientos, ya que tendría la carga moral de no dejar fuera a nadie quien me ha auxiliado en este trabajo. Sin embargo espero que esta frase exprese mi gratitud imperecedera, a quien estuvo a mi lado en el momento indicado.



# Tabla de Contenido

0.1.	Introducción . . . . .	1
0.1.1.	Formulación del estudio . . . . .	1
0.1.2.	Ubicación zona de estudio . . . . .	6
0.1.3.	Antecedentes . . . . .	8
0.1.3.1.	Geología . . . . .	8
0.1.3.2.	Geomorfología . . . . .	10
0.1.3.3.	Climatología . . . . .	13
0.1.3.4.	Paleoclima . . . . .	19
0.1.4.	Objetivos . . . . .	22
0.1.4.1.	General . . . . .	22
0.1.4.2.	Específicos . . . . .	22
0.1.5.	Hipótesis de trabajo . . . . .	22
0.2.	Metodología . . . . .	23
0.2.0.1.	Muestreo . . . . .	23
0.2.0.2.	Descripción Estratigráfica . . . . .	24
0.2.0.3.	Pre-tratamiento de Laboratorio . . . . .	26
0.2.0.4.	Análisis Granulométrico . . . . .	27
0.3.	Resultados . . . . .	31
0.3.1.	Estratigrafía . . . . .	31
0.3.1.1.	Unidades . . . . .	35
0.3.2.	Granulometría . . . . .	44
0.3.3.	Selección . . . . .	47
0.3.4.	Asimetría . . . . .	49
0.3.5.	Curtosis . . . . .	51
0.3.6.	Tamaño Promedio . . . . .	53
0.3.7.	SPAN . . . . .	55
0.3.8.	Percentiles . . . . .	57
0.4.	Análisis y Discusión . . . . .	60
0.4.1.	Información Complementaria . . . . .	60
0.4.1.1.	Dataciones . . . . .	60
0.4.1.2.	Modelo Cronológico . . . . .	61
0.4.1.3.	Materia Orgánica . . . . .	63
0.4.1.4.	Material Clástico . . . . .	66
0.4.2.	Integración de Proxies . . . . .	68
0.4.2.1.	Presente - 5.650 cal yr B.P. . . . .	72
0.4.2.2.	5.650 cal yr B.P. - 11.600 cal yr B.P. . . . .	80
0.4.2.3.	11.600 cal yr B.P. - >14.000 cal yr B.P. . . . .	85

0.4.3. Implicancias Paleoclimáticas . . . . .	90
0.5. Conclusiones . . . . .	96
0.6. Recomendaciones . . . . .	98
0.7. Bibliografía . . . . .	100
0.8. Anexos . . . . .	109

# Índice de Tablas

1.	Categorías asignadas para cada porcentaje de materia orgánica observada. . .	25
2.	Resumen de las fórmulas y clasificaciones usadas por el programa GRADIS-TRAT basadas en la terminología y fórmulas de Krumbein y Pettijohn (1938).	28
3.	Tabla resumen de los porcentajes promedio con respecto al volumen total de las fracciones de arena, limo y arcilla para cada unidad respectivamente. . .	46
4.	Tabla resumen de la selección y su posible interpretación sedimentológica para cada unidad. . . . .	48
5.	Tabla resumen de la asimetría y su posible interpretación sedimentológica para cada unidad. . . . .	50
6.	Tabla resumen de la curtosis y su posible interpretación sedimentológica para cada unidad. . . . .	52
7.	Tabla resumen del tamaño promedio de grano y su posible interpretación sedimentológica para cada unidad. . . . .	54
8.	Tabla resumen del SPAN y su posible interpretación sedimentológica para cada unidad. . . . .	56
9.	Tabla resumen de los percentiles y su posible interpretación sedimentológica para cada unidad. . . . .	58
10.	Tabla resumen de los porcentajes de materia orgánica y su posible interpretación para cada unidad. . . . .	65
11.	Tabla resumen de los porcentajes de material clástico y su posible interpretación para cada unidad. El material clástico representa el porcentaje de materia inorgánica menos el de carbonatos. Por tanto, presenta una relación inversa con la materia orgánica (ver Fig.47). . . . .	66
12.	Tabla resumen de los resultados generales para cada unidad. MB: Estrato Masivo; ES_U/P: Superficie de Erosión Ondular/Planar; CB: Estratificación Convoluta; PL: Laminaciones Paralelas; LS: Lentas; LC: Calcos de Carga; DS: Dropstone. . . . .	67
13.	Tabla resumen de los diversos periodos identificados en el testigo y sus parámetros. Parte 1. . . . .	69
14.	Tabla resumen de los diversos periodos identificados en el testigo y sus parámetros. Parte 2. . . . .	70
15.	Tabla resumen de los principales periodos bibliográficos relacionados con los periodos definidos en este trabajo. . . . .	91
16.	Tabla de oscuraciones recomendadas por el fabricantes de acuerdo al tipo de material para el Mastersizer (Malvern Instruments, 2007). . . . .	112
17.	Tabla resumen de los parámetros estadísticos generales para la muestra LDV5-19-30. . . . .	119

18.	Tasa de sedimentación cada 100 cal yr B.P. con un rango de error de 30 cal yr B.P. antes o después de materia inorgánica en la Laguna del Viento a partir del modelo cronológico del CEAZA. El rango de error se debe a la naturaleza no lineal del modelo cronológico. De izquierda a derecha se muestra la profundidad, edad promedio, materia inorgánica y tasa de sedimentación.	133
19.	Tabla con las muestras utilizadas en este trabajo y sus respectivos parámetros de: D10; D50; D90; ; y Profundidad. . . . .	142
20.	Tabla con las muestras utilizadas en este trabajo y sus respectivos parámetros: tamaño promedio de grano (MEAN); S: Selección; Asimetría (SK); Curtosis (K); SPAN; y Profundidad. . . . .	151

# Índice de Ilustraciones

1.	(a) Tendencia en la precipitación anual observada en las estaciones pluviométricas en Chile entre 1979 y 2014. (b) Observaciones pluviométricas anuales promedio y (c) precipitaciones anuales promedio basadas en simulaciones Sea Surface Temperature (SST; Temperatura de la Superficie Océanica) - Forced Global Climate Model (GCM). La línea punteada indica la tendencia lineal de precipitaciones desde 1979 al 2014. Se puede apreciar la tendencia decreciente en las precipitaciones a lo largo de las décadas (Boisier et al., 2016). . . . .	2
2.	Temperatura de la Superficie del Mar (SST por sus siglas en inglés): los registros históricos fueron tomados de información disponible desde 1860. Modificada de Garreaud et al, 2017. . . . .	3
3.	(a) Tipos de cobertura terrestre (LC por sus siglas en inglés) durante el 2014 para Chile Central. (b) Cambios en el Índice de Vegetación Mejorado (EVI por sus siglas en inglés) durante el periodo de la MD (2010–2015) con respecto a la década anterior (2001–2009). Los círculos indican el cambio en la mediana y las barras de error la desviación estándar de $\pm 1$ (Garreaud et al., 2017). . . . .	4
4.	Ubicación geográfica de la zona de estudio. . . . .	6
5.	Detalle de la zona de estudio y sitio de muestreo en la Laguna del Viento. . . . .	7
6.	Mapa geológico regional mostrando la extensión de la formación Farellones (Mf). La zona de estudio se encuentra encerrada en el recuadro negro (Fock, 2005). . . . .	8
7.	Mapa geológico de la zona de estudio. M3i: Complejos volcánicos parcialmente erosionados y secuencias volcánicas; Msh: Pórfidos andesíticos, dacíticos y granodioríticos de hornblenda; Msg: Granodioritas de hornblenda y biotita; PPl1r: Depósitos de remoción en masa; Mh: Pórfidos dacíticos, andesíticos, monzodioritas y dioritas de hornblenda, piroxeno y biotita. SERNAGEOMIN (2003). . . . .	9
8.	Fotomontaje ilustrativo de la geomorfología alrededor de la Laguna del Viento. (1), (3) y (4) corresponden a circos glaciares; (2) y (6) a morrenas terminales y (5) a una morrena lateral. Modificado de Informe sobre la pasantía en el laboratorio de la paleoecología/paleoclima, Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas (CEAZA), Alexander Rhein 2016). . . . .	10
9.	Mapa Topográfico de las inmediaciones de la Laguna del Viento. En la imagen se pueden apreciar los altos topográficos por los que se encuentra rodeada. . . . .	11

10.	Mapa de Dirección de Flujo (Flow Direction) para las inmediaciones de la Laguna del Viento. Las zonas rojas representan las partes donde el flujo tiende a dirigirse (bajos topográficos), las zonas verdes los sectores a las que no (altos topográficos). De esta forma, la cuenca (polígono blanco) es delimitada y se aprecia un gradiente hacia la laguna. . . . .	12
11.	Datos meteorológicos correspondientes a la estación más cercana a la LDV, Estero Arrayán en La Montosa (33°S, 70°E): (a) precipitaciones anuales registradas en mm por año desde 1980 a 2016; (b) precipitaciones mensuales en mm para el año 2014; (c) temperaturas anuales en grados Celsius desde 1980 a 2010; (d) temperaturas máximas mensuales en grados Celsius para el año 2016 (Tomado de plataforma CAMELS - CL. Álvarez-Garretón et al., 2018).	14
12.	Datos meteorológicos correspondientes a la escorrentía registrada en la estación más cercana a la LDV, Estero Arrayán Nn La Montosa (33°S, 70°E) para los años 2014 (a) y 2016 (b) (Tomado de plataforma CAMELS - CL. Álvarez-Garretón et al., 2018). . . . .	15
13.	Mapa de las inmediaciones de la laguna, mostrando la estación meteorológica más cercana: Estero Arrayán en la Montosa. . . . .	16
14.	Correlación estacional entre el Índice Multivariante ENSO (MEI por sus siglas en inglés, medida de la intensidad de ENSO), y las precipitaciones (fila superior) y la temperatura superficial del aire (fila inferior). Se puede apreciar la relación entre el fenómeno y las variables. Tomado de Garreaud (2009). . . .	17
15.	Esquema ilustrativo de los mayores componentes climatológicos de Sudamérica. Para la zona Subtropical, al oeste se puede ver el Anticiclón del Pacífico, el Anticiclón del Atlántico al este y los vientos tropicales provenientes del ecuador en el norte (Garreaud, 2009). . . . .	18
16.	Resumen de los mayores registros paleoclimáticos para los Andes Subtropicales y áreas adyacentes. El mayor pulso seco (7.800-5.700 cal BP) se encuentra marcado (Méndez et al., 2014). . . . .	19
17.	Resumen de los registros sedimentológicos y geoquímicos realizados para la Laguna de Aculeo por Jenny et al. (2002). . . . .	20
18.	Proceso de Muestreo del Testigo. . . . .	23
19.	Parte del proceso de tratamiento de las muestras. A la izquierda se puede observar el proceso de reposo previo al centrifugado. A la derecha se pueden ver las muestras en la centrifugadora . . . . .	26
20.	Mastersizer 2000 (Malvern Instruments, UK). . . . .	29
21.	Esquema ilustrativo de las partes del Mastersizer 2000 (Malvern Panalytical, 2015). . . . .	29
22.	Funcionamiento de la difracción láser dentro del granulómetro (SHIMADZU, s/f). . . . .	30
23.	Gráfico generado por el software Mastersizer 2000 para la muestra LDV-T5-9d.	30
24.	Tablas de granulometría generadas por el software Mastersizer 2000 para la muestra LDV-T5-9d. . . . .	30

25.	Estratigrafía realizada para el testigo. Debido a la extensión de este, ha sido dividida en tres páginas. Se puede apreciar de izquierda a derecha: sección, fotografía del testigo, imagen de Rayos - X, estructuras sedimentarias, esquema litológico con las unidades y una descripción en detalle. MB: Estrato Masivo; ES_U/P: Superficie de Erosión Ondular/Planar; CB: Estratificación Convoluta; PL: Laminaciones Paralelas; LS: Lentes; LC: Calcos de Carga; DS: Dropstone (parte de la nomenclatura tomada como referencia de Fan et al., 2014). . . . .	32
26.	Continuación de la estratigrafía. Secciones 3 y 4. . . . .	33
27.	Parte final de la estratigrafía. Sección 5. . . . .	34
28.	Escala de tamaños usada por el programa GRADISTRAT (Blott y Pye, 2001).	35
29.	Detalle de las estructuras sedimentarias de la unidad I. En la imagen se distinguen las estructuras de MB: Estrato Masivo; ES_U: Superficie de Erosión Ondular; CB: Estratificación Convoluta y PL: Laminaciones Paralelas. . . .	36
30.	Detalle de las estructuras sedimentarias de la unidad II. En la imagen se distinguen las estructuras de MB: Estrato Masivo y PL: Laminaciones Paralelas.	37
31.	Detalle de las estructuras sedimentarias de la unidad III. En la imagen se distinguen las estructuras de MB: Estrato Masivo; ES_U/P: Superficie de Erosión Ondular/Planar; CB: Estratificación Convoluta y PL: Laminaciones Paralelas. . . . .	38
32.	Detalle de las estructuras sedimentarias de la unidad IV. En la imagen se distinguen las estructuras de ES_U: Superficie de Erosión Ondular; PL: Laminaciones Paralelas; LS: Lentes y LC: Calcos de Carga. . . . .	40
33.	Detalle de las estructuras sedimentarias de la unidad V. En la imagen se distinguen las estructuras de MB: Estrato Masivo; CB: Estratificación Convoluta y PL: Laminaciones Paralelas. . . . .	42
34.	Detalle de las estructuras sedimentarias de la unidad VI. En la imagen se distinguen las estructuras de MB: Estrato Masivo; CB: Estratificación Convoluta; PL: Laminaciones Paralelas y DS: Dropstone. . . . .	43
35.	Diagrama ternario ilustrando el tipo de sedimento presente en el testigo con las clasificaciones divisorias. . . . .	44
36.	Diagrama ternario ilustrando el tipo de sedimento presente en el testigo. . .	45
37.	Detalle del comportamiento de la selección a lo largo del testigo. . . . .	47
38.	Detalle del comportamiento de la asimetría a lo largo del testigo. . . . .	49
39.	Detalle del comportamiento de la curtosis a lo largo del testigo. . . . .	51
40.	Detalle del comportamiento del promedio de tamaño de grano a lo largo del testigo. . . . .	53
41.	Detalle del comportamiento del SPAN a lo largo del testigo. . . . .	55
42.	Detalle del comportamiento de los distintos percentiles (D10, D50 Y D90) a lo largo del testigo. . . . .	57
43.	Resumen de los principales resultados obtenidos mediante la granulometría. .	59
44.	Dataciones tomadas a lo largo del testigo por el CEAZA. . . . .	60
45.	Modelo cronológico generado por el CEAZA con respecto a la profundidad (en cm). La línea central corresponde a la unión de valores promedio. El halo representa el rango de error máximo y mínimo respectivamente. . . . .	61

46.	Resumen de los principales resultados integrados con los datos disponibles. Al costado derecho se encuentran los principales periodos detectados en el testigo, basados en los cambios energéticos, de materia orgánica, material clástico y de escorrentía en conjunto con las dataciones. . . . .	62
47.	Resumen de los registros de materia orgánica, material clástico, carbonatos y materia inorgánica (clástico y carbonatos) tomados por el CEAZA. . . . .	64
48.	Gráficos de edad vs: (a) percentiles; (b) materias; (c) tamaño de grano medio; (d) selección; (e) SPAN; (f) curtosis; (g) asimetría. . . . .	71
49.	Gráfico de tamaños de grano correspondientes a muestras representativas para la Laguna del Viento. Celeste: unimodal y muy pobre selección (Unidad I); Naranja: bimodal y muy pobre selección (Unidad III); Gris: unimodal y pobre selección (Unidad IV); Amarillo: unimodal y muy mala selección (Unidad V); Azul: unimodal y muy pobre selección (Unidad VI). . . . .	72
50.	Curva de distribución de tamaño de grano para las muestras cercanas a los 40 cal yr B.P. . . . .	72
51.	Curvas de distribución de tamaño de grano típicas recopiladas por An et al. (2012): (a) datos de Jian y Ding (2010); (b) datos para 11 materiales de tormentas de polvo en la cuenca de Qaidam, de Qjang et al. (2010a); (c) datos para la sección de loess Yulin de Sun et al. (2002); (d) datos de Jiang y Ding (2010); (e) datos de Sun et al. (2001); (f) datos de Sun et al. (2002). Todos los datos que incluyen depósitos eólicos (a, c y d) muestran claramente un primer pico modal entre los 10 y 100 um, mientras que el diámetro de partícula de las tormentas de polvo es más grueso (b). Otros tipos de picos no representan origen eólico (e y f). . . . .	73
52.	Curvas de distribución de tamaño de grano de muestras de outwash (a) y till (b y c) por Clare (2017). . . . .	74
53.	Gráfico de Asimetría vs Selección para las unidades de la Laguna del Viento. . . . .	75
54.	Curva de distribución de tamaño de grano medio representativas para las muestras a las profundidades de 40 y 51 cm (Unidad I). . . . .	76
55.	Curva de distribución de tamaño de grano representativas para las muestras a las profundidades de 61 (a); 64 cm (b); 67 cm (c) y 70 cm (d). Unidad II. . . . .	77
56.	Curva de distribución de tamaño de grano representativas para las muestras a las profundidades de 77, 79 y 88 cm. Unidad II. . . . .	78
57.	Curva de distribución de tamaño de grano representativas para las muestras a las profundidades de 149 cm (a); 155 cm (b); 157 cm (c) y 160 cm (d). Unidad III. . . . .	80
58.	Curva de distribución de tamaño de grano representativas para las muestras a las profundidades de 194cm (a); 202 cm (b); 216 cm (c) y 226 cm (d). Unidad IV. . . . .	81
59.	Curva de distribución de tamaño de grano representativas para las muestras a las profundidades de 251 cm (a); 259 cm (b); 261 cm (c) y 271 cm (d). Unidad IV. . . . .	82
60.	Fotografía de uno de los clastos encontrados en el centímetro 261 correspondiente a la muestra LDV3-16-82. Unidad IV. . . . .	83
61.	Curva de distribución de tamaño de grano representativas para las muestras a las profundidades de 289 cm (a); 299 cm (b); 307 cm (c) y 313 cm (d). Unidad V. . . . .	84

62.	Curva de distribución de tamaño de grano representativas para las muestras a las profundidades de 363 cm (a); 365 cm (b); 367 cm (c) y 369 cm (d). Unidad V. . . . .	85
63.	Curva de distribución de tamaño de grano representativas para las muestras a las profundidades de 388 cm (a); 406 cm (b); 416 cm (c) y 426 cm (d). Unidad VI. . . . .	86
64.	Clasto ( <i>dropstone</i> ) y gravas presentes a los 413 cm de profundidad en la imagen de Rayos-X. . . . .	88
65.	Fotografía de uno de los clastos encontrados en el centímetro 426 correspondiente a la muestra LDV5-19-58 (izquierda), y en el centímetro 434 correspondiente a la muestra LDV5-19-66 (derecha). Unidad VI. . . . .	88
66.	Comparación de los registros de Temperatura de la Superficie Océanica del Pacífico Sur-este realizada por Kim et al. (2002). De (b) a (a) corresponden a los eventos paleoclimáticos de corta duración: H3 (32.4 – 30.8 cal BP; Vidal et al., 1997), H2 (26.8 – 25 cal BP; Vidal et al., 1997), H1 (17 – 15.5 cal BP; Vidal et al., 1997), YD (13 – 11.5 cal BP; Rutter et al., 2000), y Early to mid-Holocene Climatic Transition (EMHT, 8.2 – 7.8 cal BP; Stager and Mayewski, 1997). . . . .	90
67.	Gráfico Volumen vs Diámetro para la muestra LDV5-19-30. Se puede apreciar un comportamiento relativamente similar a distintos porcentajes con pequeñas variaciones en los porcentajes más bajos (líneas roja oscura y rojo claro). . .	114
68.	Pruebas de obscuración para la muestra LDV5-19-38 a los porcentajes de a)2,98; b) 1,10; c) 1,50; d) 0,53; e) 9,29. En la imagen se puede ver que las modas se conservan incluso en porcentajes muy bajos como lo son los de la imagen d). . . . .	115
69.	Pruebas de obscuración para la muestra LDV4-16'-6 a los porcentajes de a)10,47; b) 3,03; c) 0,78; d) 1,30; e) 2,28. En la imagen se puede ver que las modas se conservan incluso en porcentajes muy bajos como lo son los de la imagen c) con respecto a una de alta concentración como a). . . . .	116
70.	Pruebas de obscuración para la muestra LDV4-16'-4 a los porcentajes de a)9,14; b) 3,89; c) 0,68; d) 2,20; e) 1,18. . . . .	117
71.	Pruebas de obscuración para la muestra LDV4-15 -66 a los porcentajes de a)4,85; b) 2,79; c) 1,46; d) 0,91; e) 0,64. . . . .	118



## 0.1. Introducción

### 0.1.1. Formulación del estudio

“La influencia humana en el sistema climático es clara, y las emisiones antropogénicas recientes de gases de efecto invernadero son las más altas de la historia. Los cambios climáticos recientes han tenido impactos generalizados en los sistemas humanos y naturales”. Con esta premisa parte el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC por su nombre en inglés, 2014) en su informe de síntesis, confirmando el alcance del cambio climático gatillado por causas antrópicas.

La Cordillera de los Andes constituye uno de los sistemas montañosos más importantes del hemisferio sur, especialmente cuando se habla de las tasas de precipitación a lo largo de Sur América (Garreaud, 2009) y no ha quedado fuera de esta influencia. Un incremento en la tasa de desertificación en conjunto con un aumento en las frecuencias de lluvias torrenciales y el calentamiento de las zonas montañosas están afectando los sectores subtropicales. Evidencias de esto han sido estudiadas en Chile central, y en particular, en los Andes Subtropicales (30-34°S) se han registrado cambios en la temperatura promedio por sobre los 2.000 msnm (Fig. 2), con un aumento cercano a 1°C por década y un descenso en la tasa de precipitación (Fig. 1) alrededor de 40 mm por década (1975 - 2014), llegándose a considerar el pulso seco más largo registrado en la historia desde 1915 (Boisier et al., 2016; Garreaud et al., 2017).

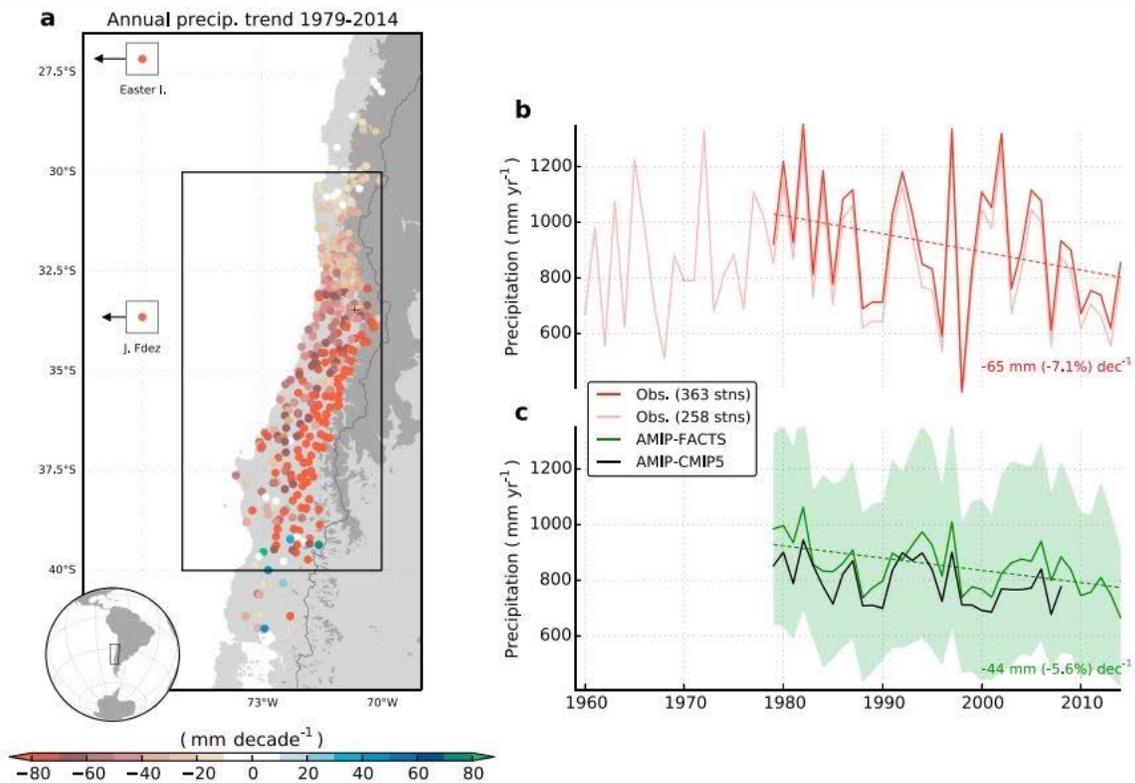


Figura 1: (a) Tendencia en la precipitación anual observada en las estaciones pluviométricas en Chile entre 1979 y 2014. (b) Observaciones pluviométricas anuales promedio y (c) precipitaciones anuales promedio basadas en simulaciones Sea Surface Temperature (SST; Temperatura de la Superficie Océanica) - Forced Global Climate Model (GCM). La línea punteada indica la tendencia lineal de precipitaciones desde 1979 al 2014. Se puede apreciar la tendencia decreciente en las precipitaciones a lo largo de las décadas (Boisier et al., 2016).

Aún más, el fenómeno identificado como Megasequía (MD por sus siglas en inglés) correspondiente a una secuencia ininterrumpida de años secos con déficit en las tasas de precipitación anual (Fig. 3), que va desde un 25 % a 45 % desde el 2010 descrito por Garreaud et al. (2017), hace hincapié en que ha ocurrido bajo condiciones neutrales de El Niño (El Niño Southern Oscillation, ENSO) con algunas excepciones sugiriendo factores externos a estos fenómenos como lo podría ser la influencia antropogénica en el cambio climático.

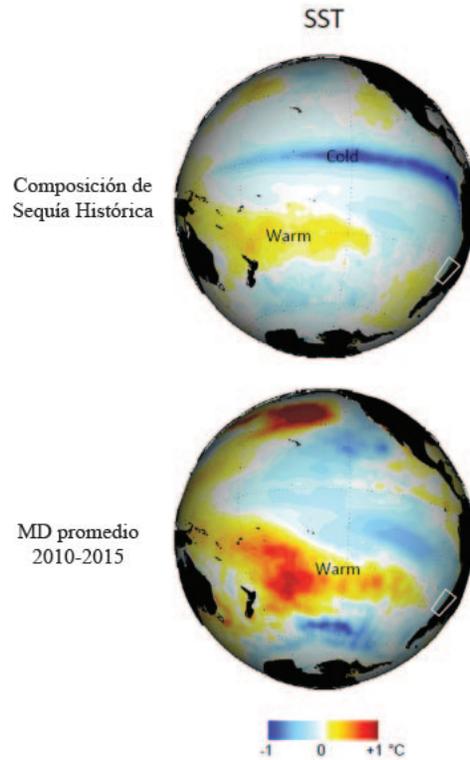


Figura 2: Temperatura de la Superficie del Mar (SST por sus siglas en inglés): los registros históricos fueron tomados de información disponible desde 1860. Modificada de Garreaud et al, 2017.

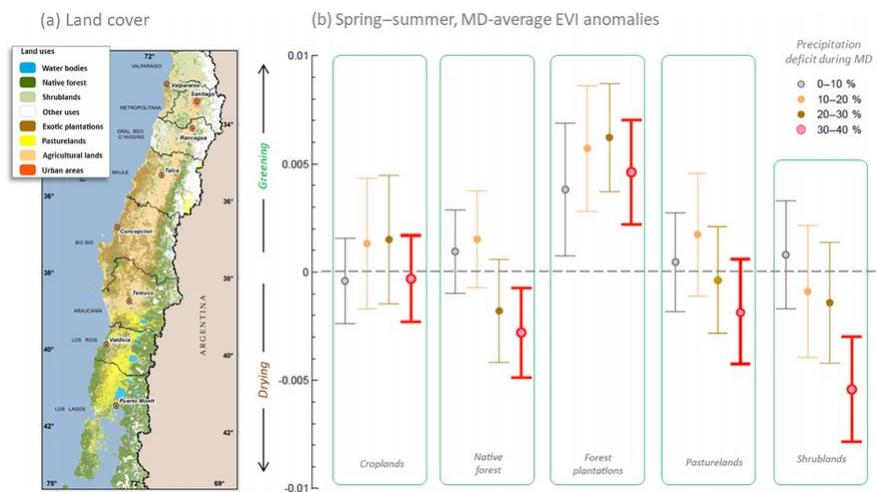


Figura 3: (a) Tipos de cobertura terrestre (LC por sus siglas en inglés) durante el 2014 para Chile Central. (b) Cambios en el Índice de Vegetación Mejorado (EVI por sus siglas en inglés) durante el periodo de la MD (2010–2015) con respecto a la década anterior (2001–2009). Los círculos indican el cambio en la mediana y las barras de error la desviación estándar de  $\pm 1$  (Garreaud et al., 2017).

En este contexto, se vuelve imperativo entender las variaciones estacionales tanto de temperatura, precipitaciones y fenómenos tales como ENSO que han ocurrido en el pasado. La incorporación de registros prehistóricos resulta esencial para descifrarlos, ya que cambios de tal magnitud afectaron de una forma u otra el entorno en el que se desarrollaron, siendo la clave para descifrar las variaciones del presente.

El objetivo de este estudio se desprende de forma complementaria al proyecto Fondecyt Regular (número 1180413) “Climate change and landslides occurrence in the subtropical Andes since the Late Pleistocene”, el cual busca reconstruir las dinámicas paleoclimáticas y ocurrencia de deslizamientos en los Andes Subtropicales desde el Pleistoceno Tardío, con un foco en la interpretación de escenarios climáticos. Para ello se inferirán las implicancias paleoclimáticas en los Andes Subtropicales desde el Pleistoceno Tardío, mediante un estudio de la sedimentología y estratigrafía de la Laguna del Viento (33°S, 3.100 msnm) en la Región Metropolitana.

## 0.1.2. Ubicación zona de estudio

El área de estudio se encuentra en la Región Metropolitana (Fig. 4 y Fig. 5), al norte de la ciudad de Santiago, entre las localidades de Farellones (33°09'43.25"S, 70°28'42.58"O) y Pérez Caldera (33°10'33.98"S, 70°21'08.57"O). En esta zona se encuentra la Laguna del Viento (33°08'49.27"S, 70°25'40.39"O; 3.178 msnm), sitio del cual se extrajo un testigo de sedimento lacustre el cual fue dividido en cinco secciones que serán el objeto de estudio en este trabajo.

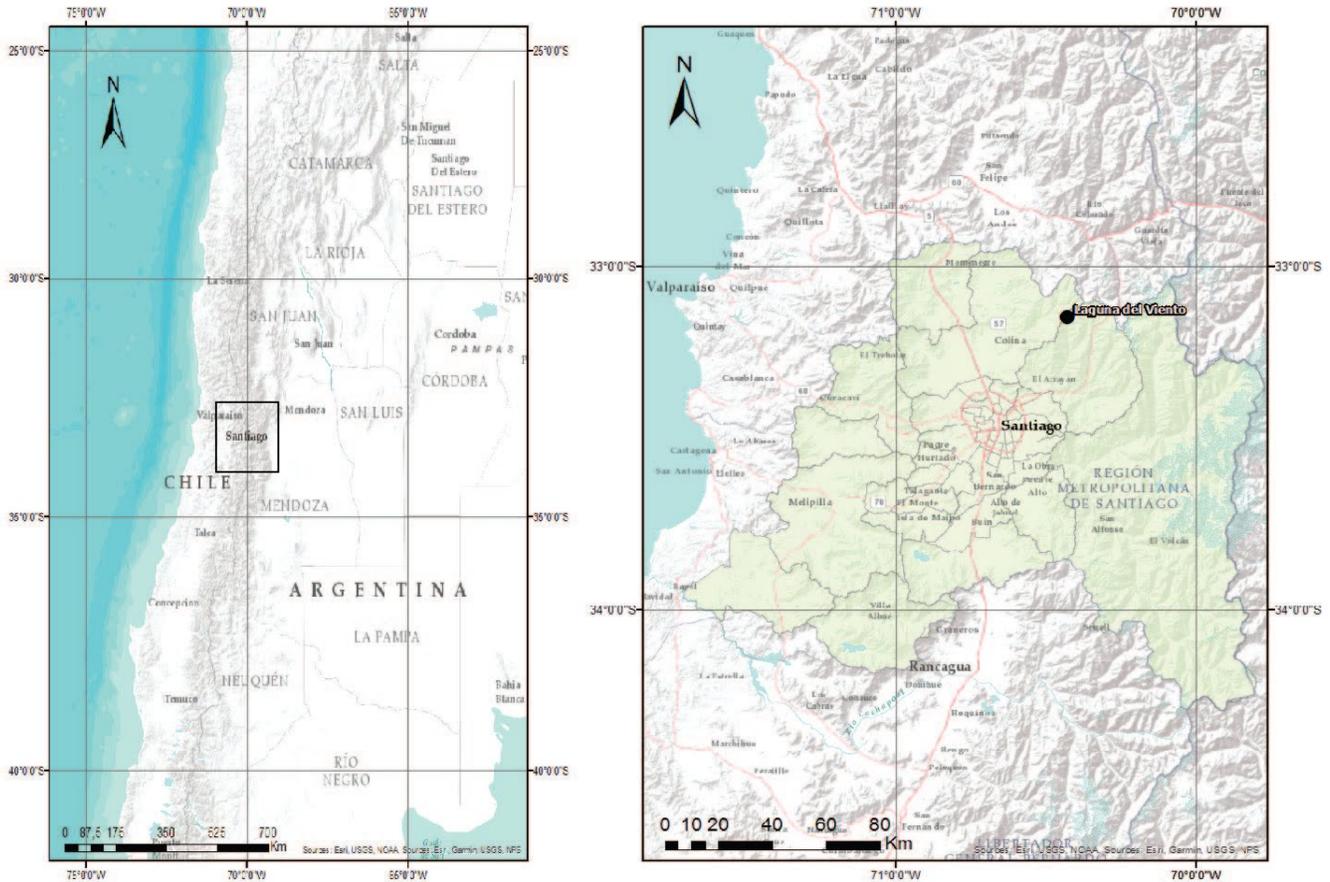


Figura 4: Ubicación geográfica de la zona de estudio.

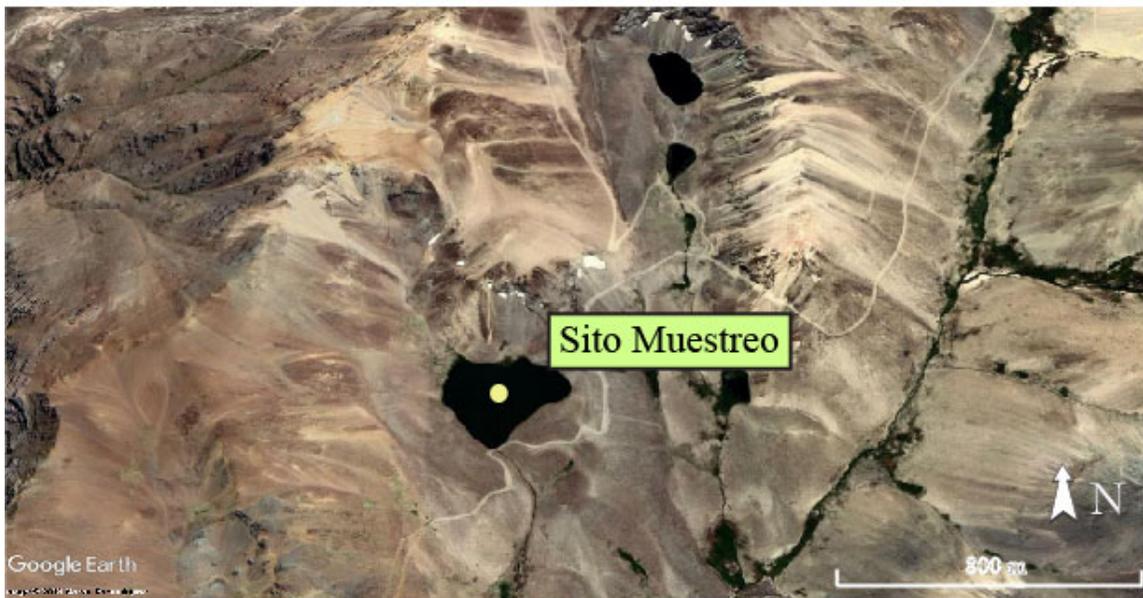
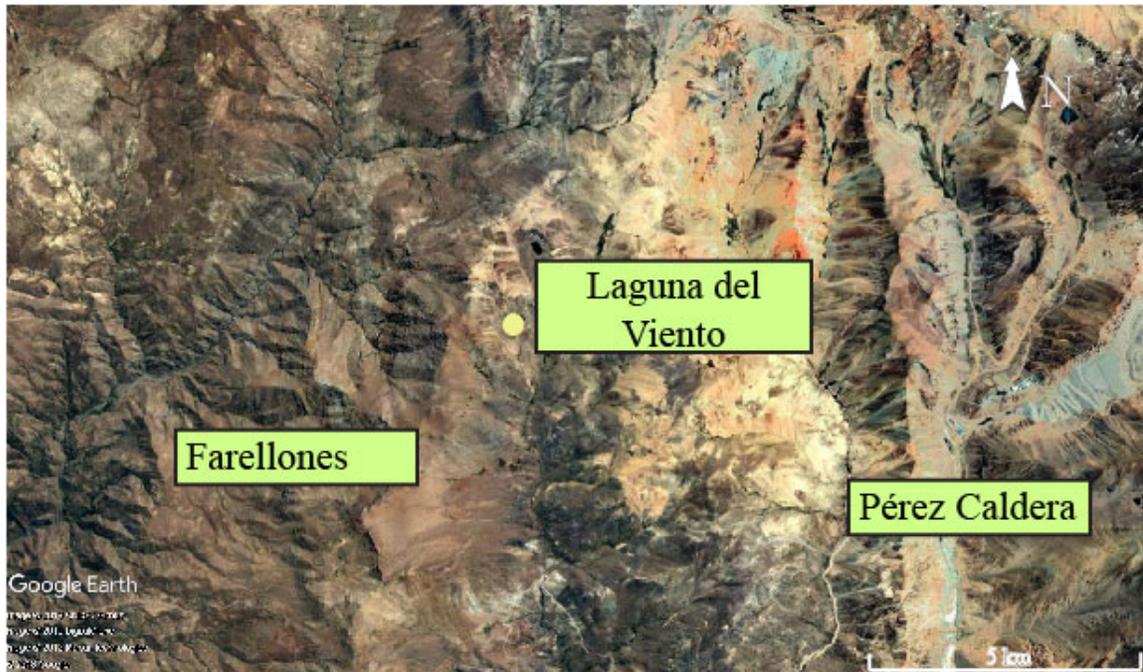
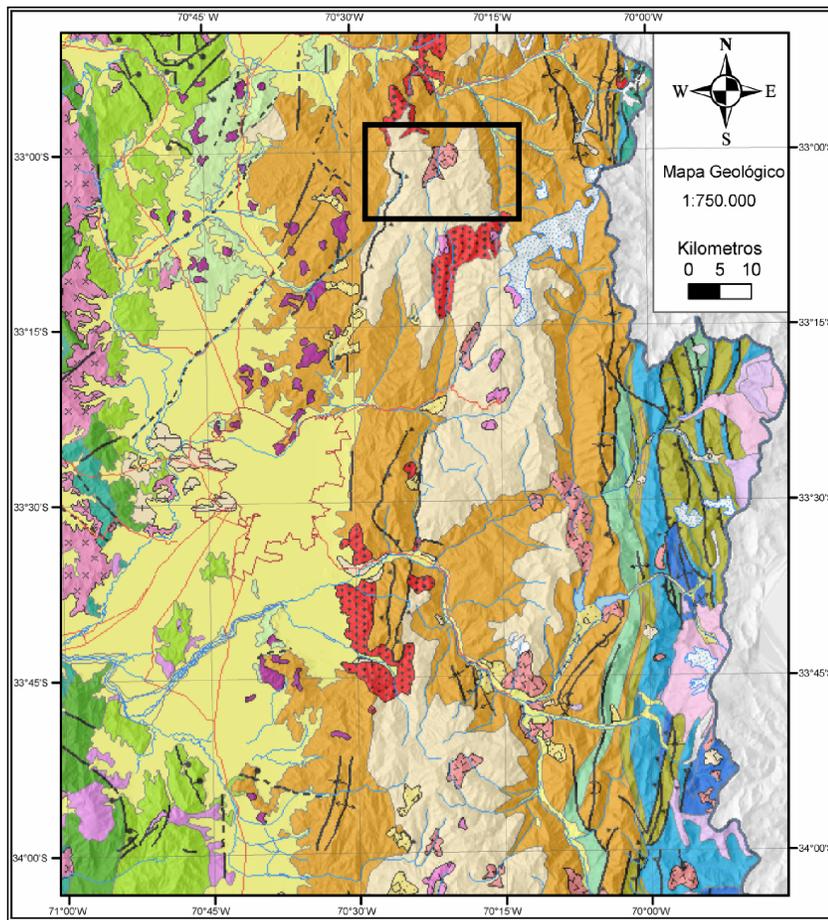


Figura 5: Detalle de la zona de estudio y sitio de muestreo en la Laguna del Viento.

### 0.1.3. Antecedentes

#### 0.1.3.1. Geología

La Laguna del Viento (LDV) con un área de  $89 \text{ m}^2$ , es uno de los varios cuerpos de agua dulce que se encuentran en los Andes Subtropicales ( $30 - 34^\circ\text{S}$ ). Se encuentra emplazada sobre la formación Farellones (Fig. 6, Fig. 7), correspondiente a secuencias volcánicas y antiguos complejos volcánicos parcialmente erosionados de composición andesítica-basáltica a dacítica, pudiéndose encontrar desde lavas, brechas y domos hasta rocas piroclásticas de edad Miocena Inferior - Media (SERNAGEOMIN, 2003).



#### Leyenda

 Mf Formación Farellones

Figura 6: Mapa geológico regional mostrando la extensión de la formación Farellones (Mf). La zona de estudio se encuentra encerrada en el recuadro negro (Fock, 2005).

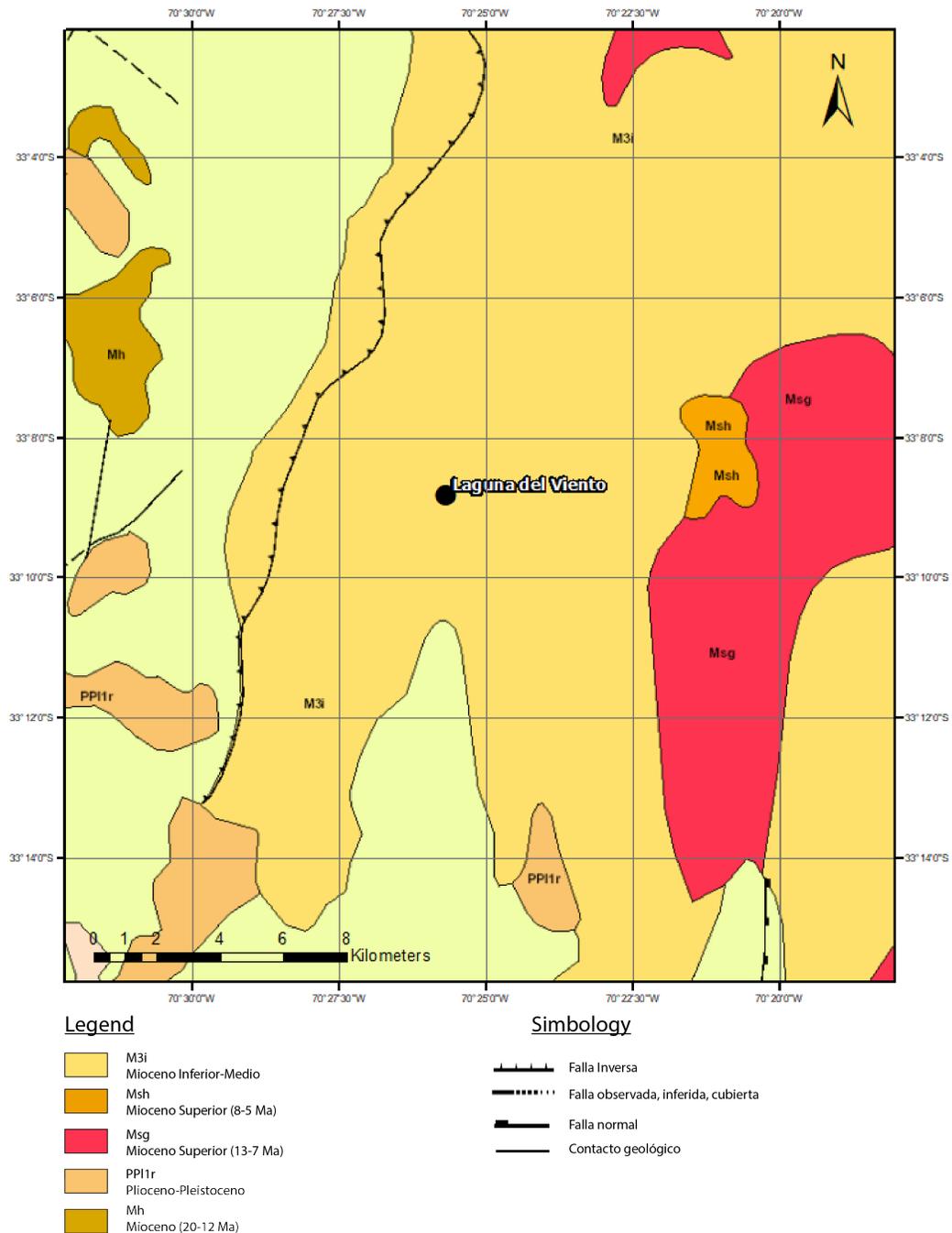


Figura 7: Mapa geológico de la zona de estudio. M3i: Complejos volcánicos parcialmente erosionados y secuencias volcánicas; Msh: Pórfidos andesíticos, dacíticos y granodioríticos de hornblenda; Msh: Granodioritas de hornblenda y biotita; PPI1r: Depósitos de remoción en masa; Mh: Pórfidos dacíticos, andesíticos, monzodioritas y dioritas de hornblenda, piroxeno y biotita. SERNAGEOMIN (2003).

### 0.1.3.2. Geomorfología

La laguna se encuentra encajonada en un anfiteatro que se ha interpretado como un circo glaciar (Rhein, 2016). Además, en la zona se identifican otros circos glaciares (Fig. 8). A partir de la observaciones de imágenes satélites se distingue que la laguna se encuentra rodeada por altos topográficos y pequeños tributarios (Fig. 9). Esto indica una alta susceptibilidad a las tormentas y por tanto eventos de escorrentía al ser la topografía uno de los controladores (Fig. 10) en la dirección del flujo y posterior captación, es decir, sitios posicionados en la vecindad de altos topográficos serán mejores captadores que los que poseen menores pendientes (Jenny et al., 2002; Jencso et al., 2011; Hallema et al., 2016). La laguna recibe aportes hídricos importantes de precipitaciones en periodos invernales y por deshielos en periodos estivales (Fig. 12, Fig. 13). Múltiples morrenas se observan en la zona, así como conos de deyección y fluviales. La laguna posee un canal tributario hacia el Estero del Arrayán.

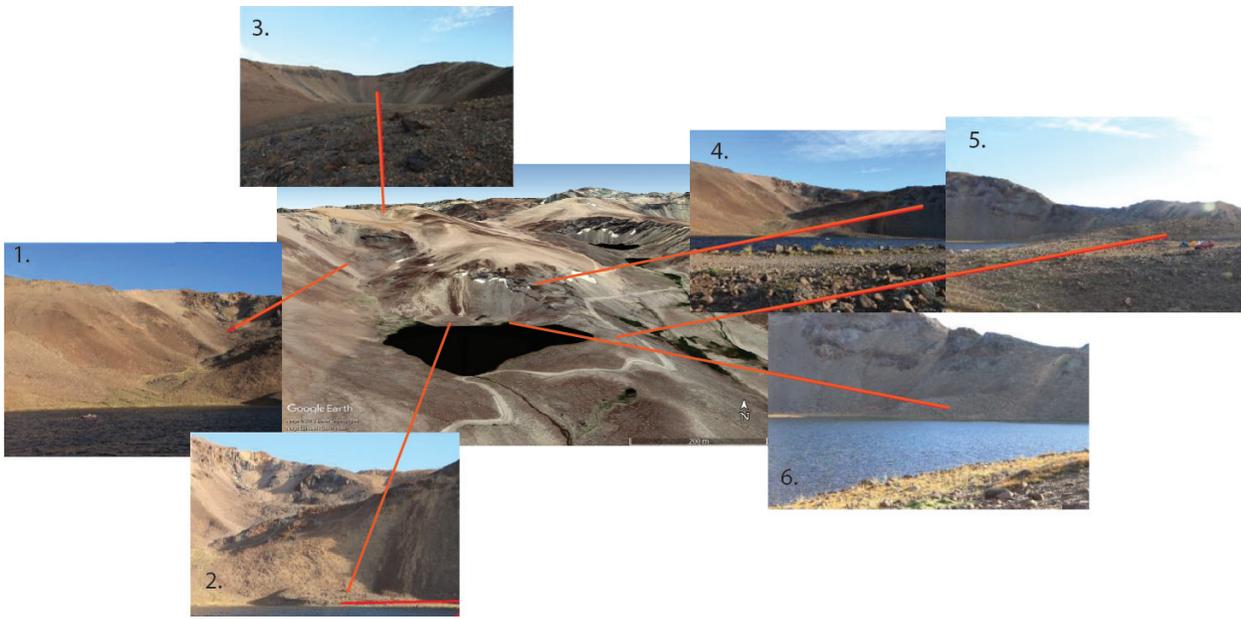


Figura 8: Fotomontaje ilustrativo de la geomorfología alrededor de la Laguna del Viento. (1), (3) y (4) corresponden a circos glaciares; (2) y (6) a morrenas terminales y (5) a una morrena lateral. Modificado de Informe sobre la pasantía en el laboratorio de la paleoecología/paleoclima, Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas (CEAZA), Alexander Rhein 2016).

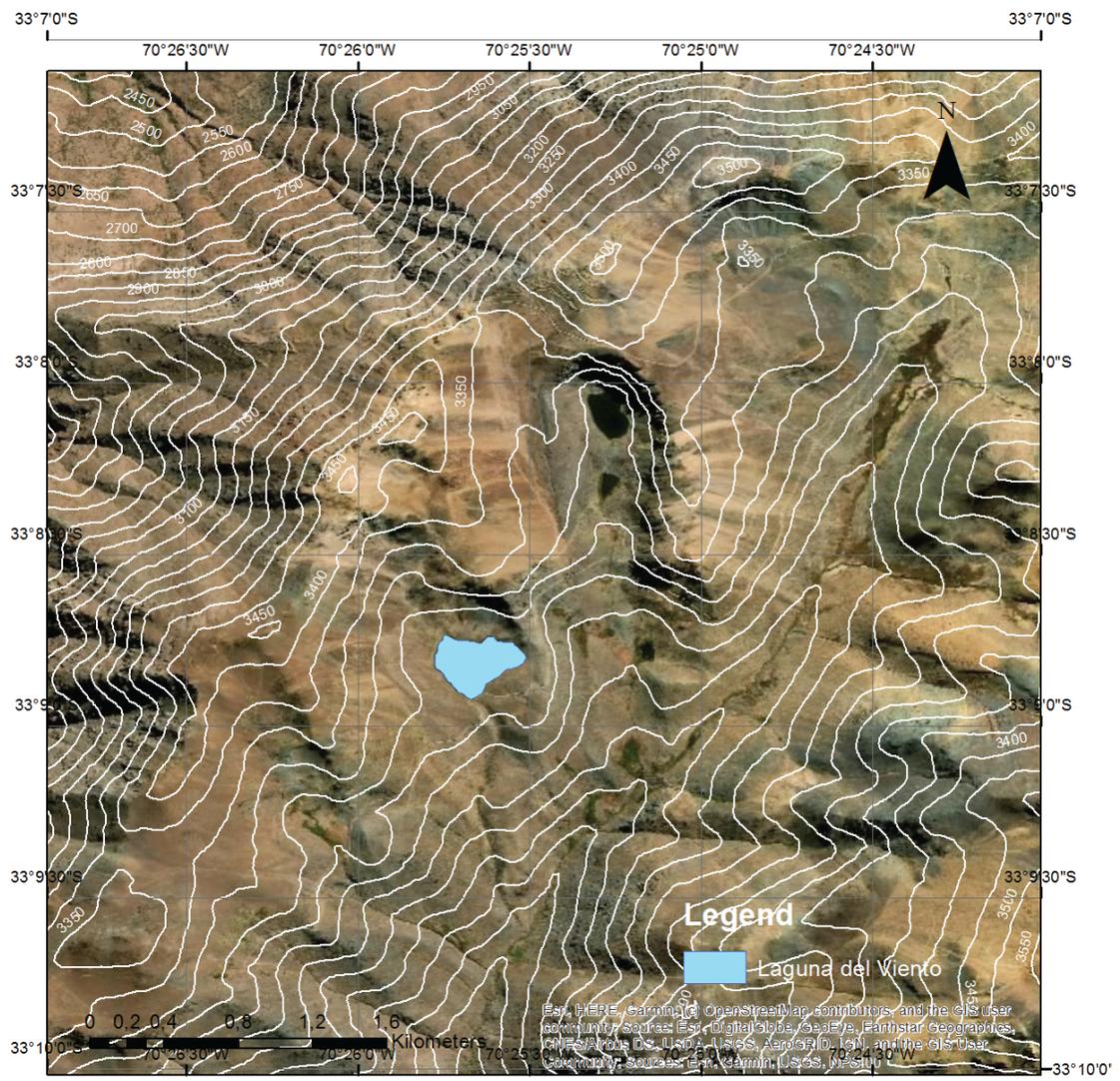


Figura 9: Mapa Topográfico de las inmediaciones de la Laguna del Viento. En la imagen se pueden apreciar los altos topográficos por los que se encuentra rodeada.

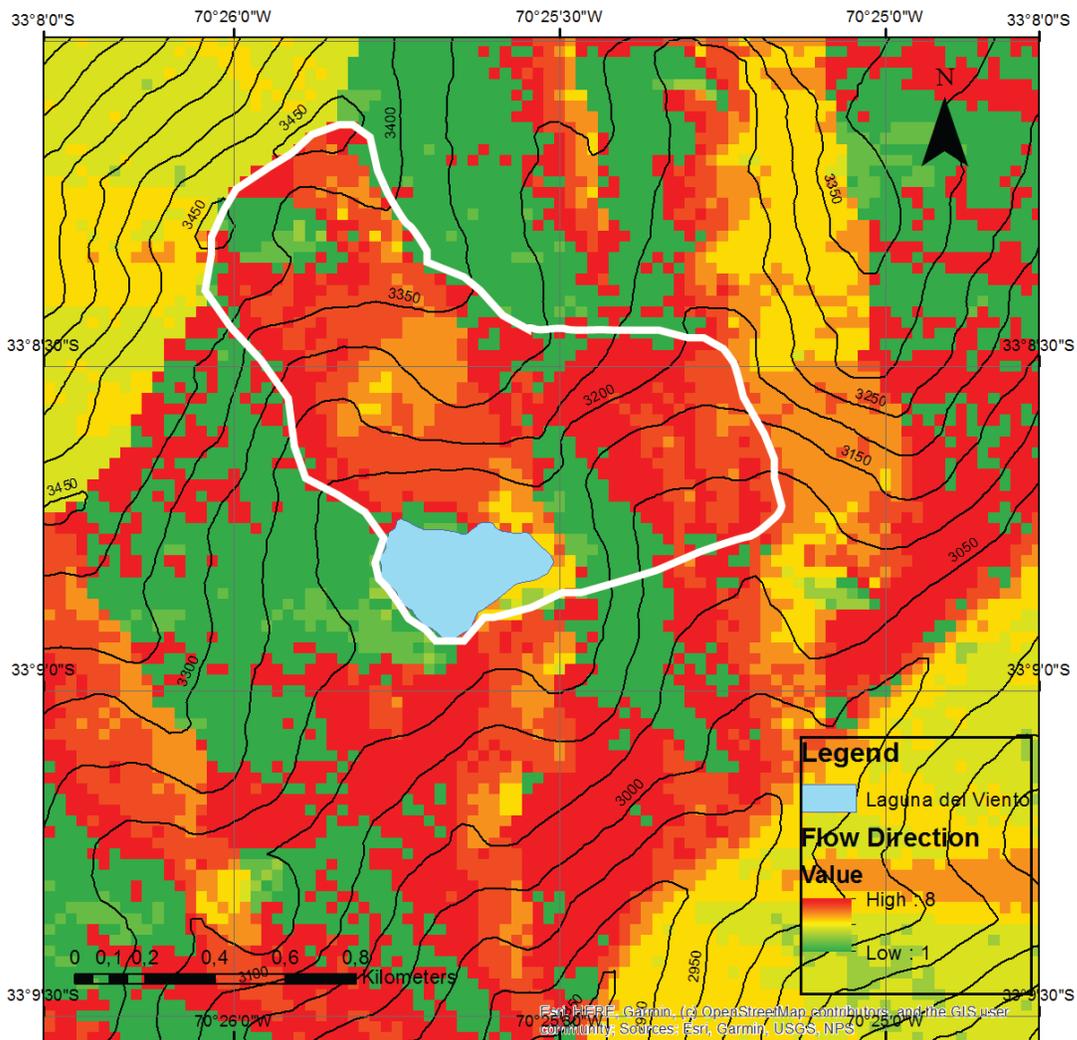


Figura 10: Mapa de Dirección de Flujo (Flow Direction) para las inmediaciones de la Laguna del Viento. Las zonas rojas representan las partes donde el flujo tiende a dirigirse (bajos topográficos), las zonas verdes los sectores a las que no (altos topográficos). De esta forma, la cuenca (polígono blanco) es delimitada y se aprecia un gradiente hacia la laguna.

### 0.1.3.3. Climatología

Las condiciones climatológicas se encuentran dominadas por tres factores principales (Fig. 15): Masas de aire, proximidad al mar y altitud. Las masas de aire hacen referencia al Anticiclón del Pacífico (Oeste) y los Vientos Oestes (Westerlies Wind Belt; WWB) al sur. El primero actúa como inhibidor de los movimientos verticales de masas de aire provenientes de los Vientos Oestes, frenando la formación de nubes y por tanto de precipitaciones, teniendo como consecuencia una predominancia de condiciones áridas. Esto cambia durante el invierno al desplazarse el Anticiclón y los Vientos Oestes hacia el Ecuador (Fig. 15). Por otra parte, está el Anticiclón del Atlántico (Este), el cual en presencia de temperaturas altas como las producidas durante el verano, cobra fuerza e ingresa masas de humedad al continente, durante el resto del año, presenta fases más débiles que resultan en condiciones áridas (Montecinos y Aceituno, 2002; Rutllant, 2004; Garreaud, 2009; Méndez et al., 2014).

En particular, entre las latitudes 29 - 35°S, tres grandes ambientes pueden ser identificados: Valles oestes de la costa pacífica cuya variabilidad climática se encuentra dominada por el fenómeno de ENSO (El Niño Southern Oscillation) produciendo años lluviosos en su fase cálida (Rutllant y Fuenzalida, 1991); en segundo lugar, el sector de Los Andes, es particularmente lluvioso y sus variaciones son dependientes de la altura y del Anticiclón del Pacífico, que éste, controla las lluvias invernales siendo las mayores de 800 mm por año (Capitanelly 1972; Abraham, 2009); y finalmente, piedemontes semi-desérticos y planicies dominadas por el Anticiclón del Atlántico (Mendez et al., 2014).

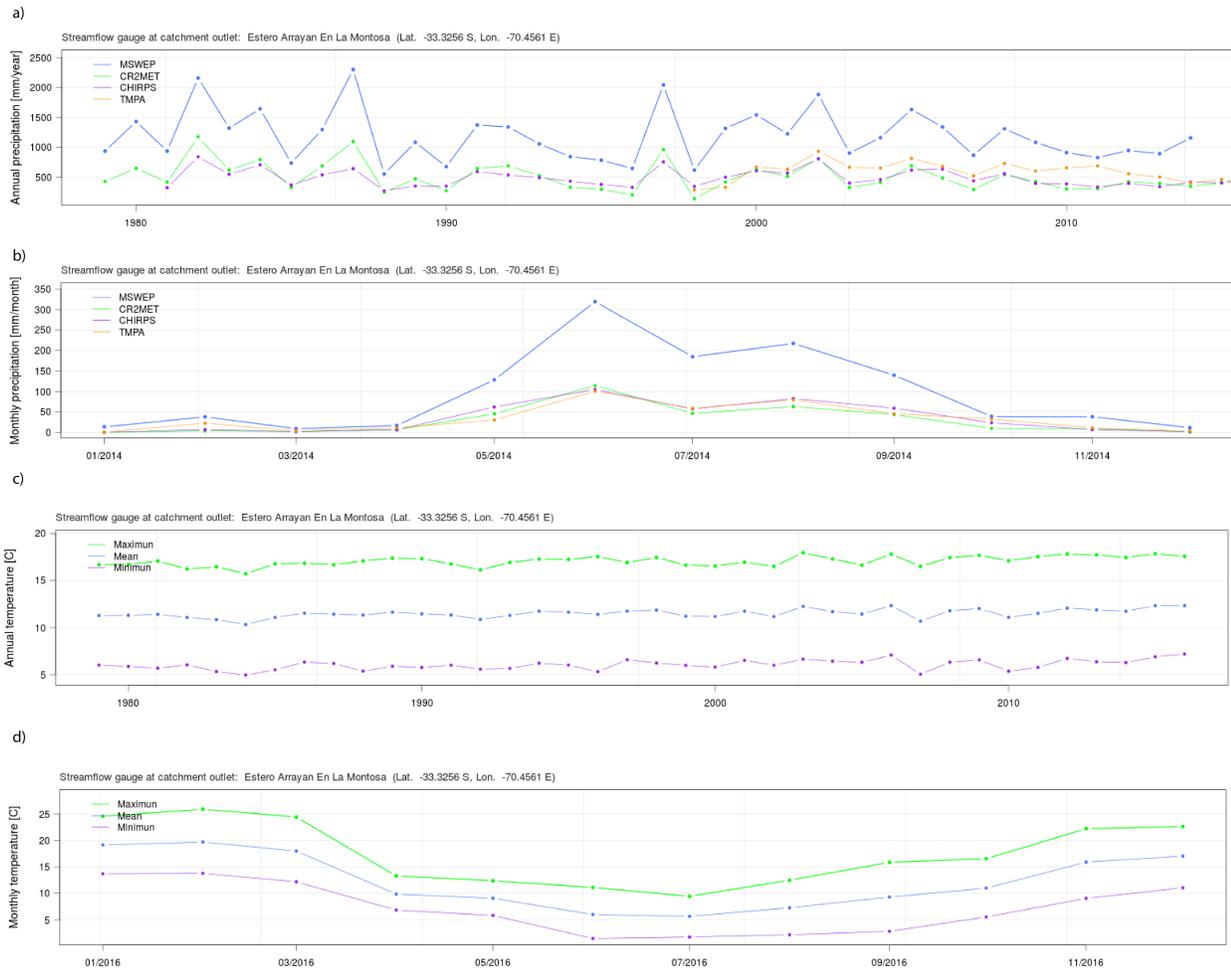


Figura 11: Datos meteorológicos correspondientes a la estación más cercana a la LDV, Estero Arrayán en La Montosa (33°S, 70°E): (a) precipitaciones anuales registradas en mm por año desde 1980 a 2016; (b) precipitaciones mensuales en mm para el año 2014; (c) temperaturas anuales en grados Celsius desde 1980 a 2010; (d) temperaturas máximas mensuales en grados Celsius para el año 2016 (Tomado de plataforma CAMELS - CL. Álvarez-Garretón et al., 2018).



Figura 12: Datos meteorológicos correspondientes a la escorrentía registrada en la estación más cercana a la LDV, Estero Arrayán Nn La Montosa (33°S, 70°E) para los años 2014 (a) y 2016 (b) (Tomado de plataforma CAMELS - CL. Álvarez-Garretón et al., 2018).

ENSO es un fenómeno dual atmosférico-oceánico que corresponde a fluctuaciones entre condiciones cálidas y frías (La Niña) sobre el Pacífico Ecuatorial con un periodo de 2 a 7 años. Estas variaciones generan eventos que representan la mayor fuente de variabilidad interanual en Sudamérica. Se caracteriza por estar asociado a: (a) precipitaciones bajo el promedio sobre Sudamérica tropical (Fig. 14); (b) precipitaciones sobre el promedio en Sudamérica subtropical; y (c) temperaturas del aire mayores a las normales en las latitudes tropicales y subtropicales (Garreaud, 2009).

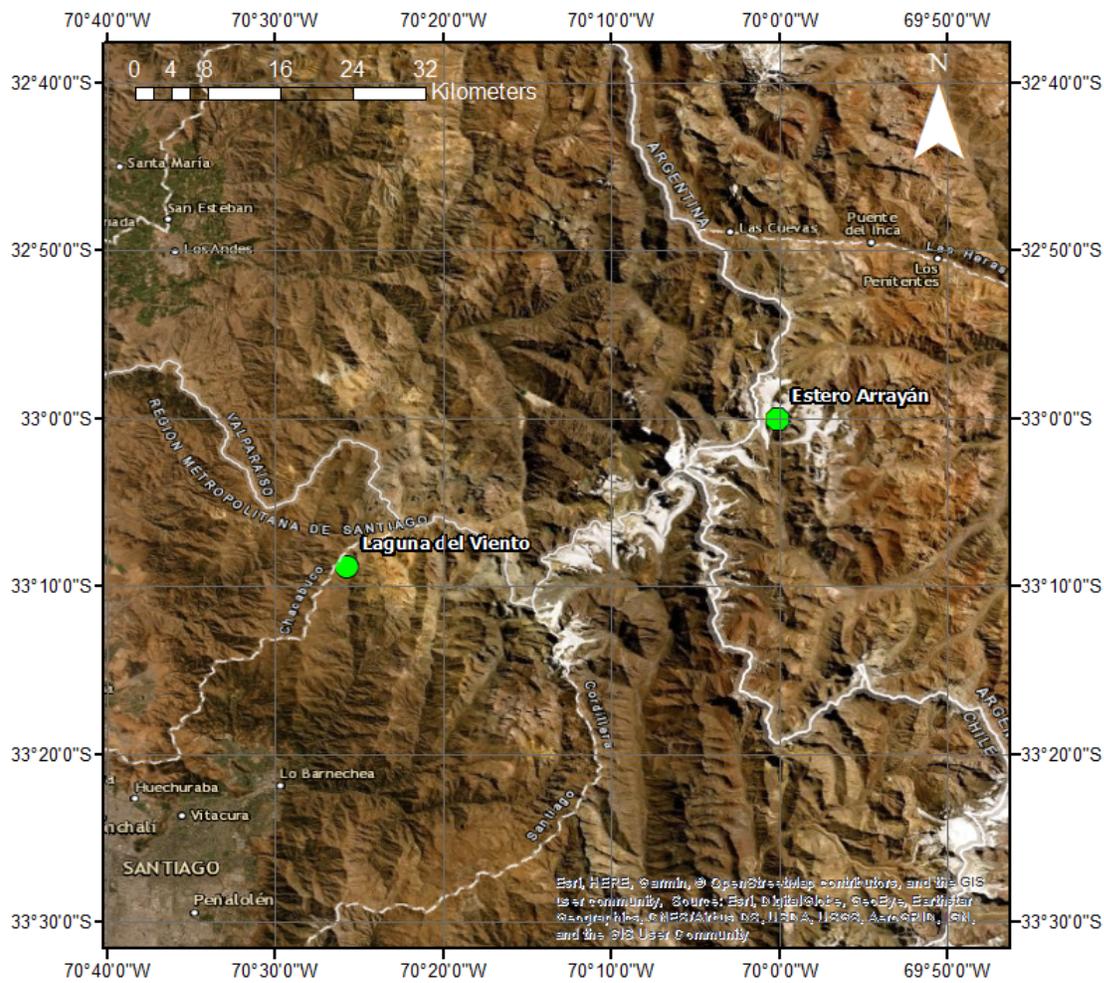


Figura 13: Mapa de las inmediaciones de la laguna, mostrando la estación meteorológica más cercana: Estero Arrayán en la Montosa.

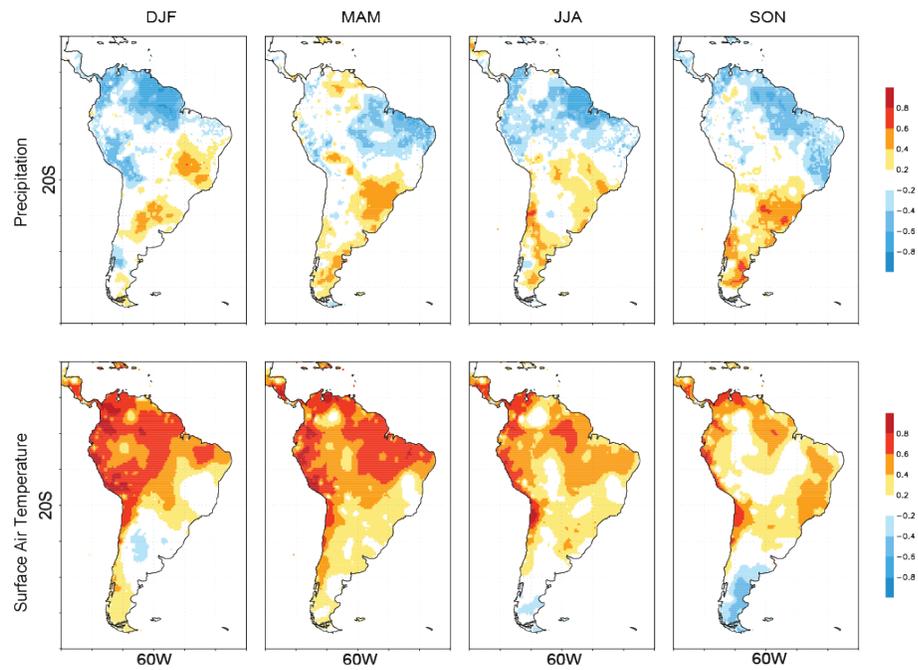


Figura 14: Correlación estacional entre el Índice Multivariante ENSO (MEI por sus siglas en inglés, medida de la intensidad de ENSO), y las precipitaciones (fila superior) y la temperatura superficial del aire (fila inferior). Se puede apreciar la relación entre el fenómeno y las variables. Tomado de Garreaud (2009).

Entre los 5 y 30°S (Andes Tropicales y Subtropicales), condiciones relativamente frías y áridas caracterizan la pendiente oeste de los Andes, mientras que la pendiente este concentra condiciones lluviosas, cálidas y húmedas (Garreaud, 2009). A su vez, la cordillera actúa como una barrera en el margen este al sur del Anticiclón del Pacífico y bloquea las masas de aire húmedo provenientes desde el Amazonas (Hartley, 2003).

Rutllant (2004) describe un 'patrón de teleconexión' entre los Vientos Oestes, el Anticiclón del Pacífico y ENSO. Por ejemplo, durante una fase fría de ENSO ('La Niña'), un aumento y extensión en las presiones del Anticiclón del Pacífico confinaría los Vientos Oestes hacia los polos. El caso opuesto se daría durante una fase cálida de ENSO.

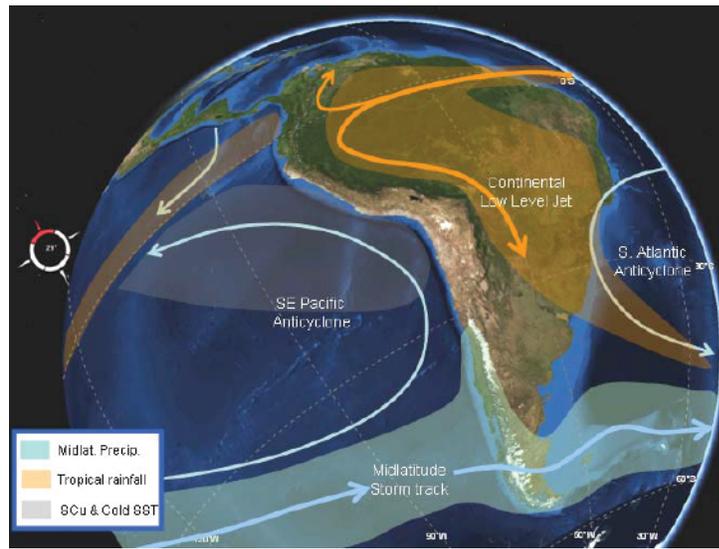


Figura 15: Esquema ilustrativo de los mayores componentes climatológicos de Sudamérica. Para la zona Subtropical, al oeste se puede ver el Anticiclón del Pacífico, el Anticiclón del Atlántico al este y los vientos tropicales provenientes del ecuador en el norte (Garreaud, 2009).

Estas condiciones climatológicas normales se han visto perturbadas en los últimos años. Un claro descenso en el patrón anual de precipitaciones es observable desde el comienzo de los datos históricos disponibles en la Fig. 11. También se observa que las temperaturas promedio anuales para esta zona son cercanas a los 13°C con una ligera tendencia a valores más altos hacia los tiempos modernos. La interrogante es si la influencia humana sobre estas condiciones, que autores como Boisier et al. (2016) ha encontrado en sus trabajos, se reflejan en los registros de la Laguna del Viento o estos cambios podrían ser parte de un ciclo mayor de eventos que se han dado anteriormente en la historia geológica.

### 0.1.3.4. Paleoclima

Los registros paleoclimáticos de la zona Central de Chile muestran una tendencia hacia condiciones más áridas en los regímenes hidrológicos y de precipitación durante la transición Pleistoceno - Holoceno, incluyendo registros marinos y continentales (Méndez et al., 2014).

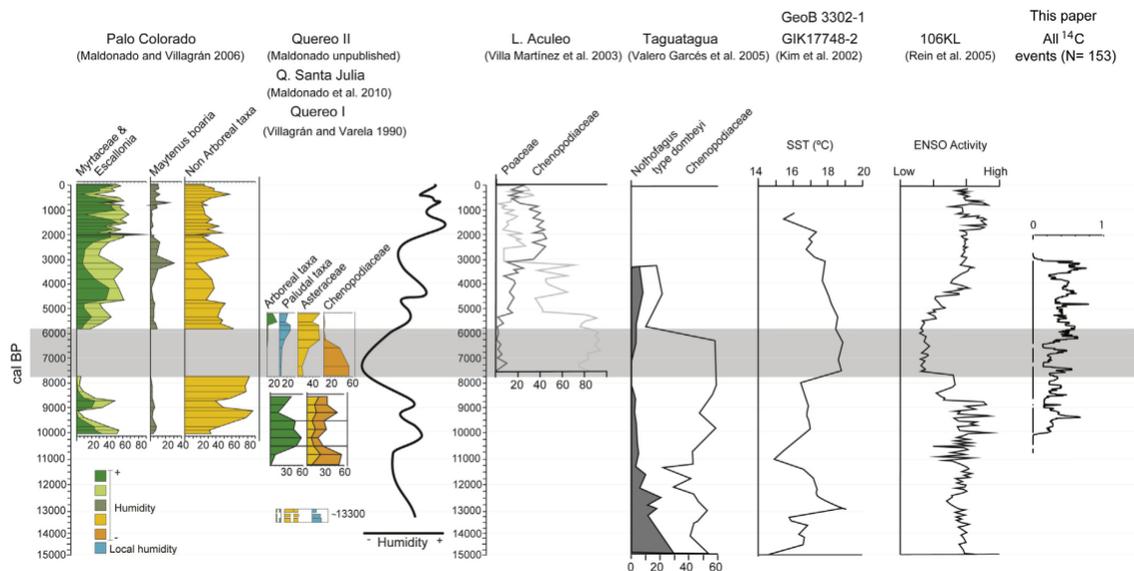


Figura 16: Resumen de los mayores registros paleoclimáticos para los Andes Subtropicales y áreas adyacentes. El mayor pulso seco (7.800-5.700 cal BP) se encuentra marcado (Méndez et al., 2014).

Desde esta transición, los registros paleoclimáticos muestran importantes variaciones en la hidrología y tasa de precipitaciones tomados de índices de polen, registros de carbono, sedimentos y evidencias antropológicas que muestran una tendencia a condiciones de mayor aridez (Lamy et al., 1999; Valero-Garces, 2005).

Por mencionar algunos estudios, registros geológicos, geoquímicos así como biológicos y dataciones de Carbono 14 encontrados lagunas, suelos y paleosuelos han sido identificados en esta zona. Desde los 50.000 años se han descrito intervalos de aridez relativa durante el Pleistoceno - Holoceno. Otros investigadores han encontrado un periodo de aridez desde el Holoceno Temprano a Medio (sobre los 9.500 - 5.700 cal yr B.P.) y un incremento en la humedad efectiva por los 3.200 cal yr B.P., estableciendo las condiciones de humedad moderna, asignando las altas precipitaciones registradas durante estos años a un fortalecimiento de ENSO y un debilitamiento de la celda de alta presión subtropical (Fig. 17). Finalmente, también se ha encontrado aumento en la influencia de los WWB para los periodos antes de los 7.300 C<sup>14</sup> yr B.P., entre 5.000 - 3.700 C<sup>14</sup> yr B.P., 3.000 - 1.800 C<sup>14</sup> yr B.P., y por los 270 C<sup>14</sup> yr B.P. (Heusser, 1990; Veit, 1996; Jenny et al., 2002).

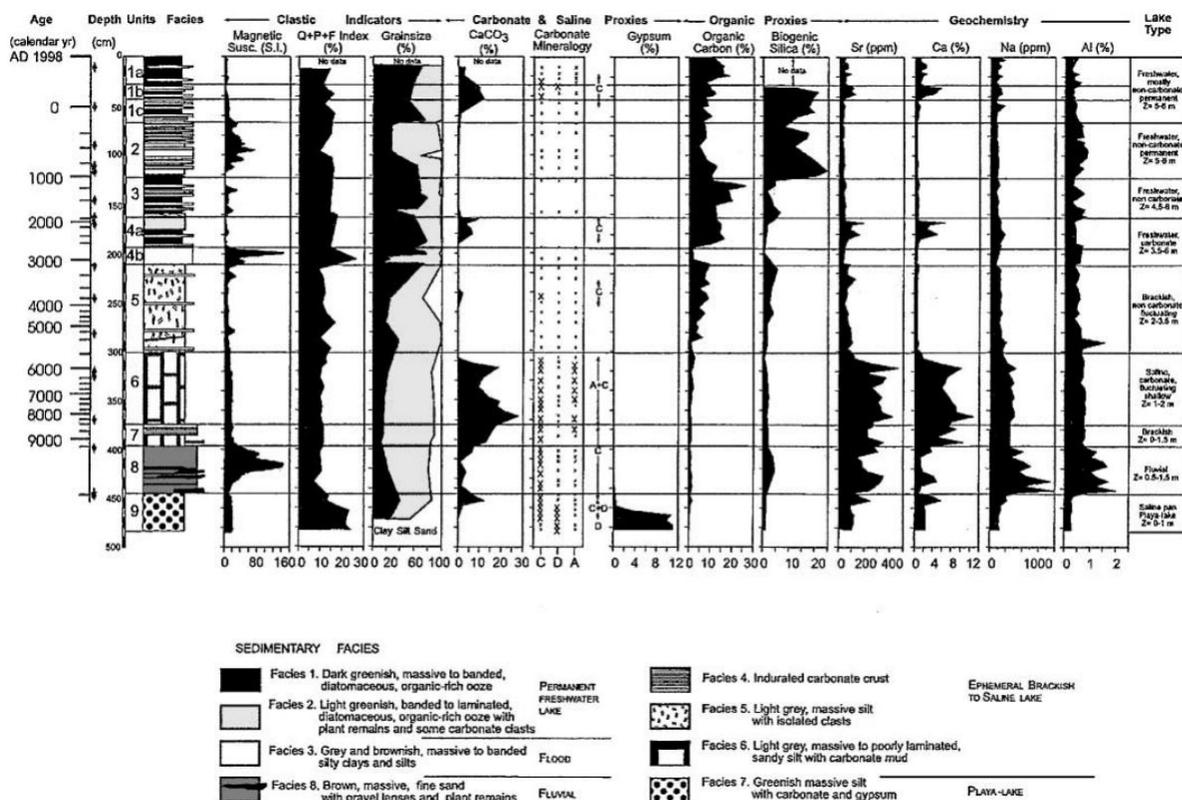


Figura 17: Resumen de los registros sedimentológicos y geoquímicos realizados para la Laguna de Aculeo por Jenny et al. (2002).

De esta forma se pueden resumir los diversos eventos identificados, comenzando con condiciones de aridez cercanas a los 9.500 - 8.000 cal yr B.P. teniendo sus mayores índices durante el Holoceno Medio entre los 7.800 - 5.700 cal yr B.P. (Fig. 16) en conjunto con un máximo en

las temperaturas en la superficie marina (33°S; Kim et al., 2002), culminando por los 5.700 - 5.500 cal yr B.P. con un aumento en la humedad y por los 3.200 cal yr B.P. llegando a las condiciones modernas de esta (Jenny et al., 2002; Maldonado y Villagrán, 2002, 2006; Anderson, 2007; Neme y Gil, 2009; Sandweiss y Quilter, 2012; Méndez et al., 2014; Tiner et al., 2018). Estos cambios se habrían reflejado principalmente en fluctuaciones en los niveles de lagos en los Andes, actividad eólica en las Pampas, modificaciones en el paisaje y cubierta de vegetación a lo largo de Sudamérica (Zárate, 2005).

Diversos motores han sido propuestos como los causantes de estas variaciones, siendo estos la posición de los Vientos Oestes (ya sea por avance o retroceso glaciario), la intensidad ENSO e incursiones de tormentas. Tomando en cuenta que El Niño representa una fase cálida pero húmeda, esta etapa árida sería resultado de un bloqueo y migración del área de influencia de los Vientos Oestes hacia el sur por la celda subtropical de alta presión y una manifestación débil de El Niño durante el Holoceno Temprano a Medio, con un incremento durante el Holoceno Tardío (Heusser, 1990; Villagrán y Varela, 1990; Maldonado y Villagrán, 2006; Méndez et al., 2014). La posterior reaparición de las condiciones húmedas (cerca de los 3.200 cal yr B.P.) estaría ligado a un debilitamiento de la celda subtropical de alta presión que habría gatillado el fortalecimiento de los Vientos Oestes y posiblemente incrementado la intensidad de El Niño (Jenny et al., 2002).

Por otra parte, los registros granulométricos en conjunto con geoquímica, litología, magnetismo y dataciones en la Laguna El Cepo (30°S) reflejan un incremento en la frecuencia de las tormentas a los 8.500 - 8.300 cal yr B.P. a través del periodo seco registrado durante el Holoceno Medio que no concuerda con el marco paleoclimático regional, a lo que Tiner et al. (2018) propone incursiones de tormentas convectivas veraniegas originadas al este de los Andes como causante.

En general, los registros lacustres tomados en los altos Andes Subtropicales (30°S-32°S) los cuales incluyen parámetros de datación, litología, geoquímica, magnetismo, polen, diatomeas y granulometría, concuerdan con estas tendencias climáticas registradas en los valles y costas desde el Pleistoceno Tardío, registrándose, entre los 15.000 y 9.500 cal yr B.P., condiciones frías y húmedas seguidas de condiciones secas entre los 9.500 y 2.000 cal yrs B.P., cuando las condiciones húmedas se establecieron hasta el presente, pero bajo una alta variabilidad climática a una escala centenal (Maldonado et al., 2015; Martel-Cea et al., 2016; Tiner et al., 2018).

## **0.1.4. Objetivos**

### **0.1.4.1. General**

- Inferir condiciones paleoclimáticas en los Andes Subtropicales desde el Pleistoceno Tardío, mediante un estudio de la sedimentología y estratigrafía de la Laguna del Viento (33°S, 3.100 msnm).

### **0.1.4.2. Específicos**

- Describir e interpretar la estratigrafía del testigo.
- Caracterizar la sedimentología y granulometría de los sedimentos lacustres.
- Hacer inferencias de los flujos sedimentarios hacia la laguna del viento en base a los resultados sedimentológicos y estratigráficos.
- Comparar estos resultados con estudios paleoclimáticos previos.
- Reconstruir condiciones de escorrentía durante la transición Pleistoceno - Holoceno en la Laguna del Viento.

## **0.1.5. Hipótesis de trabajo**

La cordillera de Los Andes Subtropicales ha experimentado diversos cambios en la tasa de temperatura y precipitación. Estos cambios han influido en la sedimentología y estratigrafía de los sedimentos de la Laguna del Viento que se reflejaría en la estratigrafía y las características sedimentológicas del sedimento que se acumula en lagunas de alta montaña, como la Laguna del Viento. Esto también dejaría su huella en la cantidad de materia orgánica y material clástico, pudiéndose identificar diversos episodios paleoclimáticos a los largo del tiempo.

## 0.2. Metodología

Para identificar los diversos episodios de precipitación en la Laguna del Viento se deben llevar una serie de pasos que se resumen esencialmente en (1) toma de muestras del testigo, (2) descripción estratigráfica del testigo, (3) pre-tratamiento de laboratorio de las muestras tomadas del testigo con el propósito de aislar el componente lítico, (4) análisis granulométrico de las muestras, (5) interpretación y conclusión de los resultados del análisis. Cada uno de estos pasos se condicen con lo objetivos específicos de este estudio y se describirán en mayor detalle en esta sección.

### 0.2.0.1. Muestreo

Para la toma de muestras del testigo se procedió a abrirlo, tomar una fotografía en su estado previo y luego extraer una sección cada 1 cm para ser guardada una en una bolsa de plástico sellada cada una (Fig. 18). Posterior a la extracción de todas las muestras del testigo, se tomó una foto nuevamente. Se almacenaron 449 muestras para el testigo en su totalidad.



Figura 18: Proceso de Muestreo del Testigo.

### 0.2.0.2. Descripción Estratigráfica

Para una adecuada descripción estratigráfica se siguieron los siguientes pasos:

- Registro fotográfico en detalle de cada testigo.
- Toma de fotos de Rayos - X para diferenciar en mayor detalle los estratos.
- Identificación de cambios litológicos, densidad y estratificación entre otros a un nivel general para diferenciar las distintas unidades con apoyo de la imagen de Rayos - X.
- Identificación en detalle de (1) unidades, (2) inicio y término de cada unidad, (3) potencia de esta, (4) presencia de estratificación, (5) tipo de contacto, (6) color de acuerdo a la clasificación Munsell (Munsell Color, 1994), (7) presencia de fósiles (8), código de muestra tomada, (9) N<sup>o</sup> de muestra, (10) observaciones y (11) estimación visual y táctil de materia orgánica.

<b>Categoría de Materia Orgánica</b>	<b>Porcentaje c/r al Total</b>
1	0 - 20 %
2	20 - 40 %
3	40 - 60 %
4	60 - 80 %
5	80 - 100 %

Tabla 1: Categorías asignadas para cada porcentaje de materia orgánica observada.

### 0.2.0.3. Pre-tratamiento de Laboratorio

Los sedimentos de origen acuático alóctonos no suelen encontrarse en condiciones naturales óptimas para su análisis, ya que se encuentran asociados a distintos compuestos que se incorporan o absorben por los minerales dependiendo de los procesos físicos, químicos y biológicos afectando de manera sustancial la textura sedimentaria (Vaasma, 2008).

Por otra parte, al estar el sedimento mayoritariamente compuesto por limos y arcillas, la floculación juega un papel importante en el tamaño de grano. La naturaleza iónica de las arcillas en presencia de líquidos las lleva a ser atraídas unas por otras formando agregados llamados flóculos. Sumado a esto, la presencia de limos produce un efecto similar, ya que todas los minerales de arcilla reaccionan con limos, enlazando partículas adyacentes (Diamond et al., 1965; Bell, 1996; Van Rijn, 1993; Kim et al., 2005). Por otra parte, la materia orgánica (que es particularmente abundante en estos sedimentos), por su compleja naturaleza, se encuentra normalmente asociada con arcillas y superficies de óxidos, principalmente por procesos de adsorción formando agregados que podrían afectar potencialmente los análisis (Gu et al., 1996).

Un correcto pre-tratamiento de las muestras lacustres es imperativo para obtener resultados que reflejen correctamente los procesos registrados y no se vean afectados por factores externos. Existen diversos métodos para procesar este tipo de muestras, dependiendo del nivel de precisión y preservación de los sedimentos restantes. En este estudio se buscará eliminar el contenido de (1) carbonatos, (2) materia orgánica y (3) diatomeas (restos biogénicos), a través del método químico para obtener la mayor precisión al momento de realizar el análisis granulométrico de acuerdo con Vaasma (2008), y que han sido probados efectivos a lo largo del tiempo (Konert y Vandenberghe, 1997; Mikutta et al., 2005; An et al., 2012; Terasmaa et al., 2016). El protocolo final preparado para este trabajo basado en T. Vasma (2008), puede encontrarse en los anexos.

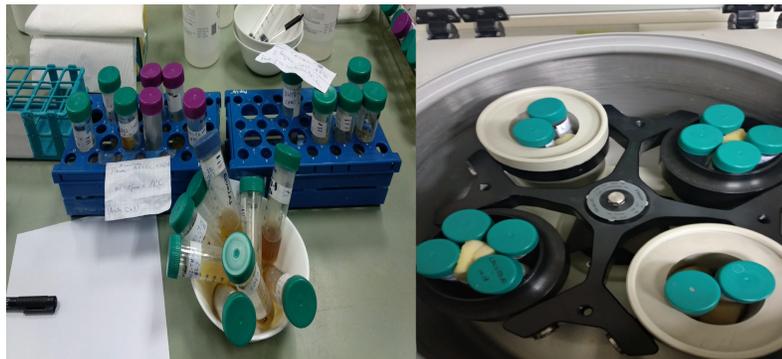


Figura 19: Parte del proceso de tratamiento de las muestras. A la izquierda se puede observar el proceso de reposo previo al centrifugado. A la derecha se pueden ver las muestras en la centrifugadora

#### 0.2.0.4. Análisis Granulométrico

El análisis granulométrico ha sido ampliamente usado como indicador de mecanismos de depositación (Awasthi y Agarwal, 1970; An et al., 2002; Dias, 2014; Tiner et al., 2018). Por concepto de tiempo, resultaba imposible realizar el tratamiento de laboratorio y posterior análisis para las 449 muestras resultantes (las cuales comprenden la totalidad del testigo), por lo que se decidió efectuarlo para la mitad de las muestras, esto es, cada dos centímetros, sumado a las necesarias para cubrir eventuales problemas (muestras descartadas, falta de muestra, etc). Para este análisis se usó el Mastersizer 2000 para las 261 muestras tomadas a partir del testigo. La configuración por usar está basada en Sperazza et al. (2004) y ratificada por Dias (2014) y el Manual Mastersizer 2000 (Malvern Instruments, 2007) siguiendo los siguientes parámetros:

- Dejar la muestra a analizar 1 minuto en la máquina de ultrasonido para dispersar los granos.
- Usar un índice de obscuración cercano al 10 %.
- Una velocidad de bombeo de 2000 rpm por un espacio de 12 segundos.
- Un parámetro de absorción de 0.1.
- Agua como dispersante.
- El resto de los parámetros por defecto de la maquina.

Método geométrico de los momentos

Promedio	Desviación Estándar	Asimetría	Curtosis		
$\bar{x}_g = \exp \frac{\sum f \ln m_m}{100}$	$\sigma_g = \exp \sqrt{\frac{\sum f (\ln m_m - \ln \bar{x}_g)^2}{100}}$	$Sk_g = \frac{\sum f (\ln m_m - \ln \bar{x}_g)^3}{100 \ln \sigma_g^3}$	$K_g = \frac{\sum f (\ln m_m - \ln \bar{x}_g)^4}{100 \ln \sigma_g^4}$		
Selección ( $\sigma_g$ )	Asimetría ( $Sk_g$ )		Curtosis ( $K_g$ )		
Muy buena selección	<1.27	Asimetría muy fina	<-1.30	Muy platicúrtico	<1.70
Buena selección	1.27-1.41	Asimetría fina	-1.30 to -0.43	Platicúrtico	1.70-2.55
Moderada buena selección	1.41-1.62	Simétrica	-0.43 to +0.43	Mesocúrtico	2.55-3.70
Moderada selección	1.62-2.00	Asimetría gruesa	+0.43 to +1.30	Leptocúrtico	3.70-7.40
Pobre selección	2.00-4.00	Asimetría muy gruesa	>+1.30	Muy leptocúrtico	>7.40
Muy pobre selección	4.00-16.00				
Extrema pobre selección	>16.00				

Tabla 2: Resumen de las fórmulas y clasificaciones usadas por el programa GRADISTRAT basadas en la terminología y fórmulas de Krumbain y Pettijohn (1938).

## Mastersizer 2000

Los análisis granulométricos fueron realizados en la máquina Mastersizer 2000 (Fig. 20) con una unidad de dispersión Hydro 2000G (Malvern Instruments) ubicado en el Laboratorio de Sedimentología de la Universidad de Chile. Ésta corresponde a un dispositivo óptico que hace uso del método de difracción laser (Fig. 22) midiendo la dispersión generada de acuerdo al fenómeno conocido como Dispersión de Mie mediante detectores, de esta forma el ángulo que toma el haz de luz al dispersarse será inversamente proporcional al tamaño de la partícula pudiendo medir valores 0.02–2000 micrones. La unidad de dispersión cuenta con un agitador que mantiene la muestra circulando y previene la depositación con un rango de 0 a 4000 rpm; a su vez tiene un dispositivo de ultrasonido incorporado con una frecuencia de 40 kHz y un poder máximo de 35 W (Ryzak y Bieganowski, 2011).



Figura 20: Mastersizer 2000 (Malvern Instruments, UK).

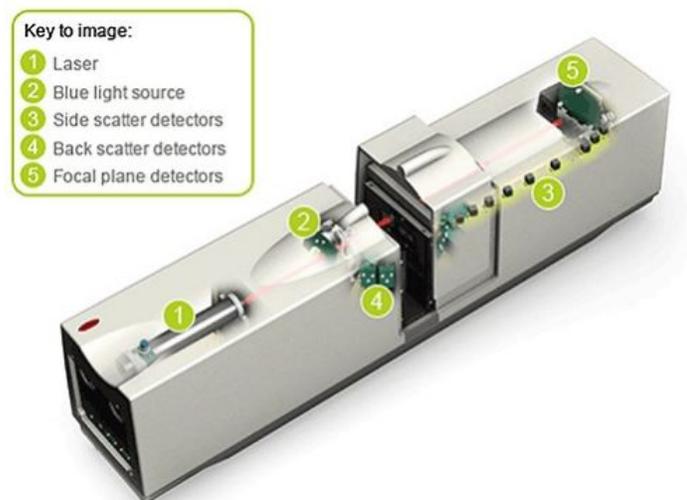


Figura 21: Esquema ilustrativo de las partes del Mastersizer 2000 (Malvern Panalytical, 2015).

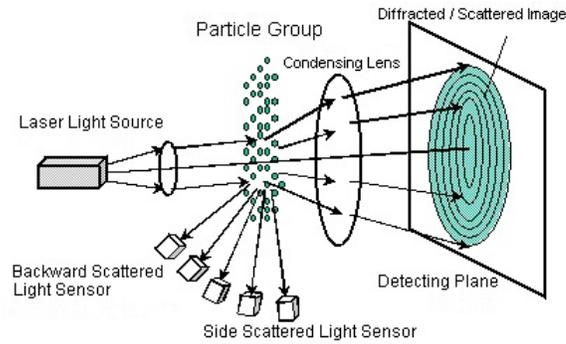


Figura 22: Funcionamiento de la difracción láser dentro del granulómetro (SHIMADZU, s/f).

Para esto, se ingresa una cantidad adecuada para los límites de obscuración previamente definidos. En este caso, las cantidades usadas oscilaron entre 2 a 3 ml de muestra tratada (mezclada con antifloculante). Una vez dispersa la muestra, los detectores registran la luz en un rango determinado de ángulos para finalmente tomar una imagen final del patrón resultante del conjunto. Este proceso se repite por un total de 3 veces generando un promedio representativo final. A partir de este, los datos son analizados por el software de Malvern entregando diversos gráficos (Fig. 23) y datos estadísticos (Fig. 24) de utilidad (Malvern Instruments, 2007).

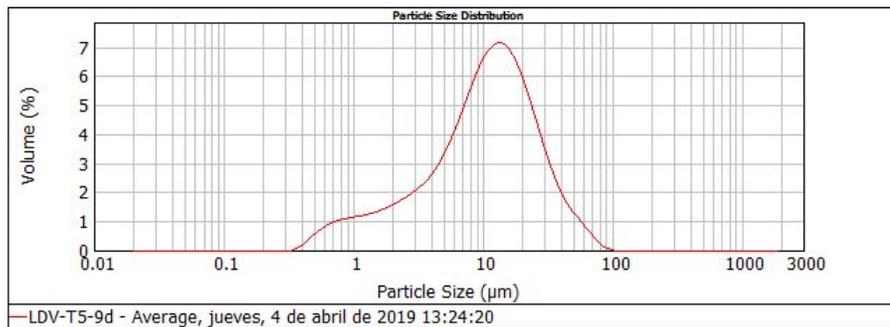


Figura 23: Gráfico generado por el software Mastersizer 2000 para la muestra LDV-T5-9d.

Size (µm)	Volume in %										
0.010	0.00	0.105	0.00	1.096	1.09	11.482	6.38	120.226	0.00	1258.925	0.00
0.011	0.00	0.120	0.00	1.259	1.14	13.183	6.42	138.038	0.00	1445.440	0.00
0.013	0.00	0.138	0.00	1.445	1.21	15.136	6.21	158.489	0.00	1659.507	0.00
0.015	0.00	0.158	0.00	1.660	1.31	17.378	5.75	181.970	0.00	1905.461	0.00
0.017	0.00	0.182	0.00	1.905	1.42	19.953	5.11	208.930	0.00	2187.762	0.00
0.020	0.00	0.209	0.00	2.188	1.55	22.909	4.35	239.883	0.00	2511.886	0.00
0.023	0.00	0.240	0.00	2.512	1.70	26.303	3.57	275.423	0.00	2884.032	0.00
0.026	0.00	0.275	0.00	2.884	1.88	30.200	2.83	316.228	0.00	3311.311	0.00
0.030	0.00	0.316	0.01	3.311	2.10	34.674	2.18	363.078	0.00	3801.894	0.00
0.035	0.00	0.363	0.13	3.802	2.39	39.811	1.67	416.869	0.00	4365.158	0.00
0.040	0.00	0.417	0.33	4.365	2.76	45.709	1.27	478.630	0.00	5011.872	0.00
0.046	0.00	0.479	0.52	5.012	3.22	52.481	0.94	549.541	0.00	5754.399	0.00
0.052	0.00	0.550	0.69	5.754	3.78	60.256	0.64	630.957	0.00	6606.934	0.00
0.060	0.00	0.631	0.83	6.607	4.39	69.183	0.36	724.436	0.00	7585.776	0.00
0.069	0.00	0.724	0.93	7.586	5.04	79.433	0.12	831.764	0.00	8709.636	0.00
0.079	0.00	0.832	1.00	8.710	5.63	91.201	0.03	954.993	0.00	10000.000	0.00
0.091	0.00	0.955	1.04	10.000	6.10	104.713	0.00	1096.478	0.00		
0.105	0.00	1.096	1.04	11.482	6.10	120.226	0.00	1258.925	0.00		

Figura 24: Tablas de granulometría generadas por el software Mastersizer 2000 para la muestra LDV-T5-9d.

## 0.3. Resultados

### 0.3.1. Estratigrafía

El testigo extraído de la Laguna del Viento consta de 436 cm de largo. A partir de la unión de las 5 secciones del testigo original y las imágenes de Rayos - X disponibles haciendo uso de software (Image J), el cual permite detectar las variaciones en la densidad del testigo, observando el comportamiento de la escala de grises de la imagen. Se identificaron seis unidades estratigráficas las cuales posteriormente fueron complementadas con la información granulométrica (Fig.25, Fig.26, Fig.27).

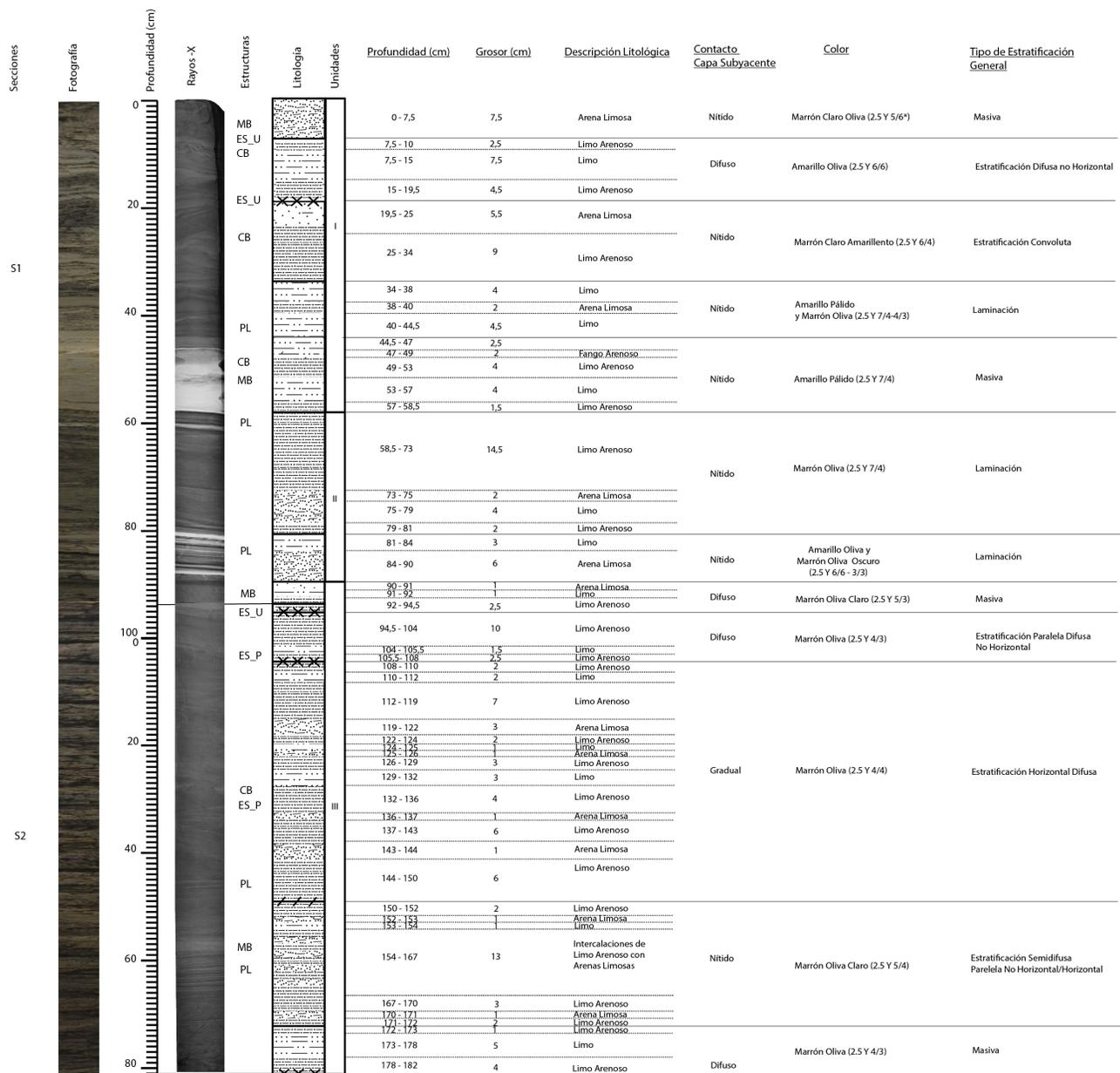


Figura 25: Estratigrafía realizada para el testigo. Debido a la extensión de este, ha sido dividida en tres páginas. Se puede apreciar de izquierda a derecha: sección, fotografía del testigo, imagen de Rayos - X, estructuras sedimentarias, esquema litológico con las unidades y una descripción en detalle. MB: Estrato Masivo; ES\_U/P: Superficie de Erosión Ondular/Planar; CB: Estratificación Convoluta; PL: Laminaciones Paralelas; LS: Lentas; LC: Calcos de Carga; DS: Dropstone (parte de la nomenclatura tomada como referencia de Fan et al., 2014).

S3

S4

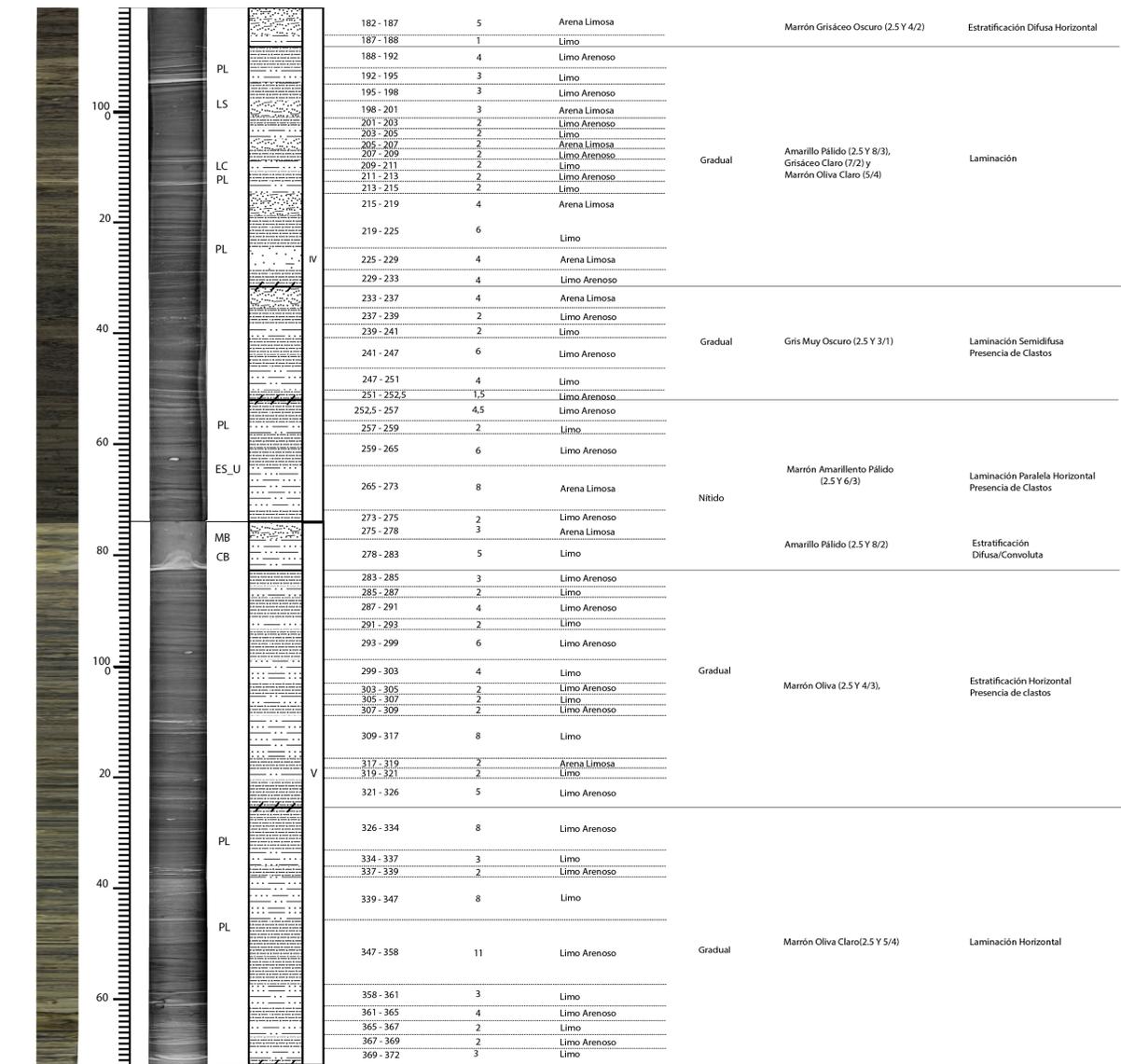


Figura 26: Continuación de la estratigrafía. Secciones 3 y 4.

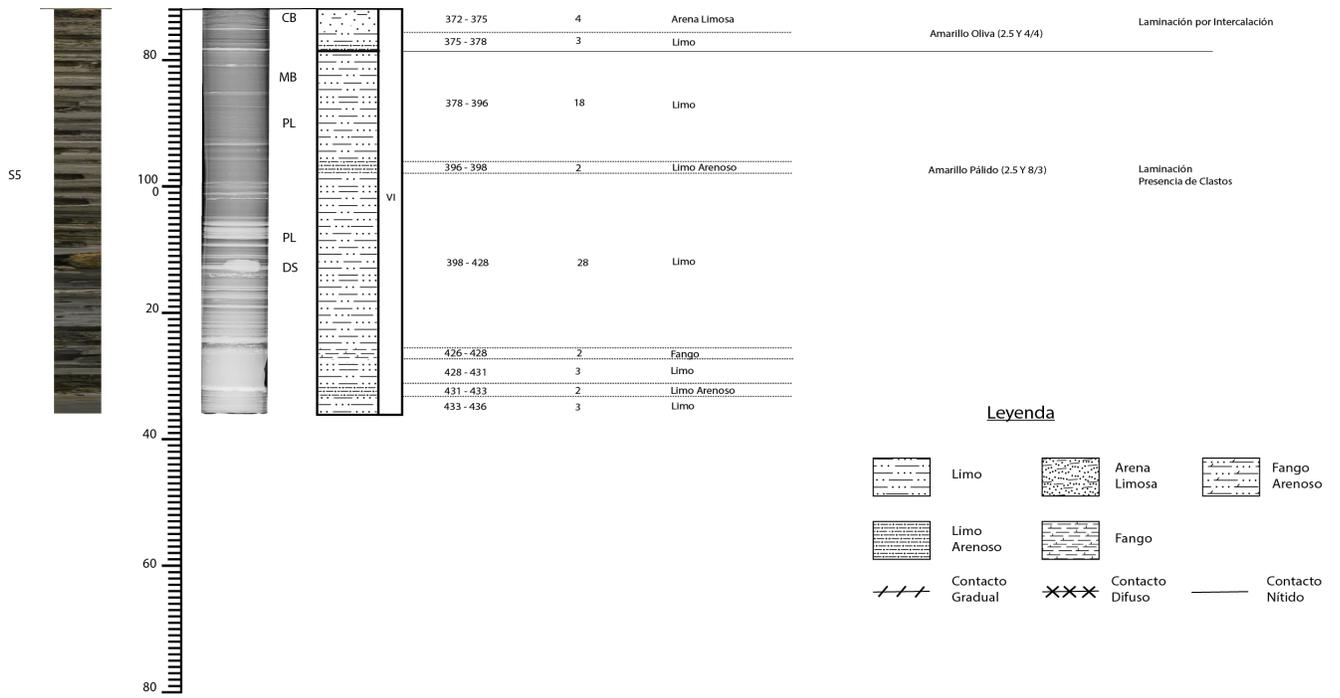


Figura 27: Parte final de la estratigrafía. Sección 5.

### 0.3.1.1. Unidades

La unidad I se define desde el techo del testigo hasta los 58,5 cm. Comprende de intercalaciones de estratos de limo arenoso, arena limosa y algunas capas de limo. Los tamaños de grano van desde medio a grueso (todos los tamaños de acuerdo a la escala del programa GRADISTRAT, Fig.28).

Grain size		Descriptive terminology		
phi	mm/ $\mu$ m	Udden (1914) and Wentworth (1922)	Friedman and Sanders (1978)	GRADISTRAT program
			Very large boulders	
-11	2048 mm		Large boulders	Very large
-10	1024		Medium boulders	Large
-9	512	Cobbles	Small boulders	Medium
-8	256		Large cobbles	Small
-7	128		Small cobbles	Very small
-6	64			
			Very coarse pebbles	Very coarse
-5	32	Pebbles	Coarse pebbles	Coarse
-4	16		Medium pebbles	Medium
-3	8		Fine pebbles	Fine
-2	4	Granules	Very fine pebbles	Very fine
-1	2			
		Very coarse sand	Very coarse sand	Very coarse
0	1	Coarse sand	Coarse sand	Coarse
1	500 $\mu$ m	Medium sand	Medium sand	Medium
2	250	Fine sand	Fine sand	Fine
3	125	Very fine sand	Very fine sand	Very fine
4	63		Very coarse silt	Very coarse
5	31	Silt	Coarse silt	Coarse
6	16		Medium silt	Medium
7	8		Fine silt	Fine
8	4		Very fine silt	Very fine
9	2	Clay	Clay	Clay

Figura 28: Escala de tamaños usada por el programa GRADISTRAT (Blott y Pye, 2001).

Comienza con un color marrón claro para pasar a un amarillo oliva hacia los 7,5 cm, volviendo en su parte entre los 19,5 y 38 cm a un marrón claro y terminando con un amarillo pálido.

En términos generales de estratificación, en su techo presenta ausencia de esta (masivo) para dar paso a estratificación difusa no horizontal y luego convoluta entre los 25 y 34 cm, laminación entre los 40 y 47 cm y dar fin a la unidad con un tramo masivo entre los 47 y 58,5 cm. Presenta un contacto nítido con la unidad II.

Se identifican superficies de erosión ondular, estratificación convoluta y laminación paralela (Fig.29).

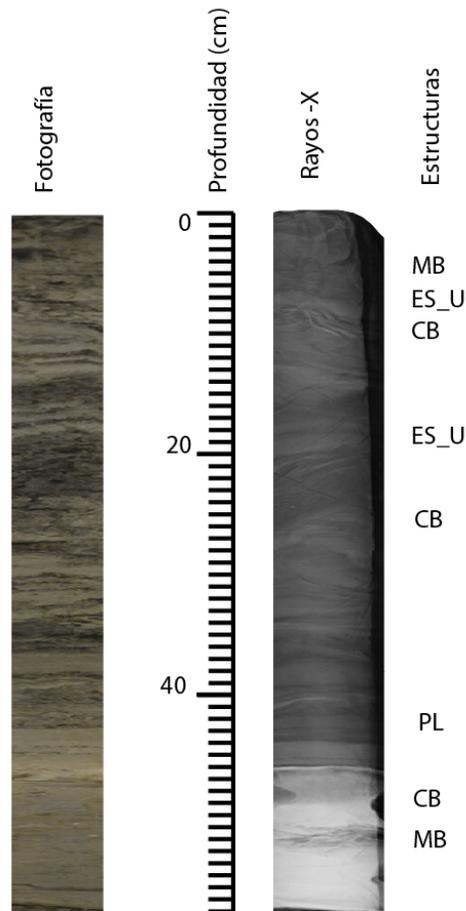


Figura 29: Detalle de las estructuras sedimentarias de la unidad I. En la imagen se distinguen las estructuras de MB: Estrato Masivo; ES\_U: Superficie de Erosión Ondular; CB: Estratificación Convoluta y PL: Laminaciones Paralelas.

La unidad II se define entre los 58,5 y 90 cm. Comprende de limo arenoso (hasta los 73 cm y entre los 79 y 81 cm) e intercalaciones de estratos de limo y arena limosa. Los tamaños van desde muy grueso a fino.

Parte con un color marrón oliva para dar paso hacia los 81 cm a intercalaciones amarillo oliva con marrón oliva oscuro.

En términos generales de estratificación, entre los 58,5 y 81 cm presenta laminación que pasa a ser laminar por intercalación entre los 81 y 90 cm. Se observa un contacto nítido con la unidad III.

En cuanto estructuras sedimentarias, aparte de las ya mencionadas en la estratificación general, se identifica laminación paralela entre los 58 y 90 cm de la unidad de estratos de distinta densidad (Fig.30).

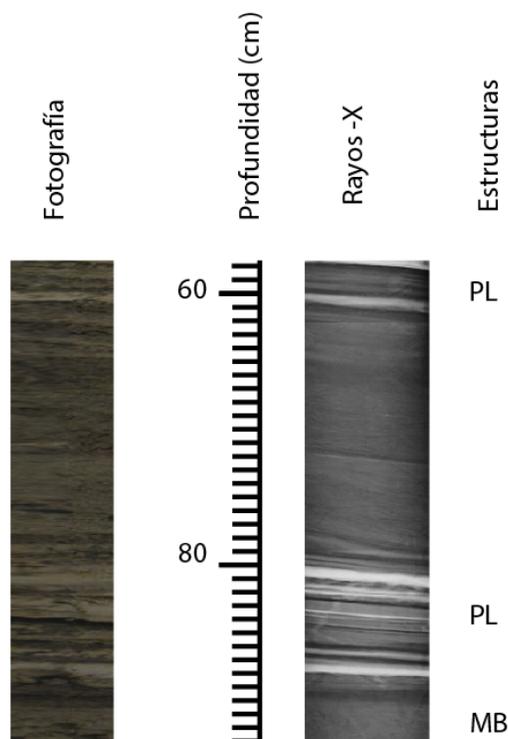


Figura 30: Detalle de las estructuras sedimentarias de la unidad II. En la imagen se distinguen las estructuras de MB: Estrato Masivo y PL: Laminaciones Paralelas.

La unidad III se define entre los 90 y 182 cm. Comprende de intercalaciones de estratos de limo arenoso con limo y arena limosa. Los tamaños van desde fino a muy grueso. A lo largo de la unidad predomina un color marrón oliva.

En términos generales de estratificación, parte la unidad con un estrato masivo, para luego dar paso a estratificación paralela difusa no horizontal, que pasa a ser sólo horizontal difusa hacia los 105 cm hasta los 148 cm. Entre los 148 y 172 cm, se torna semidifusa paralela y, para finalizar, entre los 172 y 182 cm, un estrato masivo. Presenta un contacto difuso con la unidad IV.

En cuanto a estructuras sedimentarias, aparte de las ya mencionadas en la estratificación general, se observan superficies de erosión ondular y planar en el techo de la unidad, y otra planar entre los 124 y 132 cm junto con estratificación convoluta. Hacia el sector entre los 155 y 166 cm se observa laminación paralela y un estrato masivo (Fig.31). En general, se mantiene una misma densidad a lo largo del estrato.

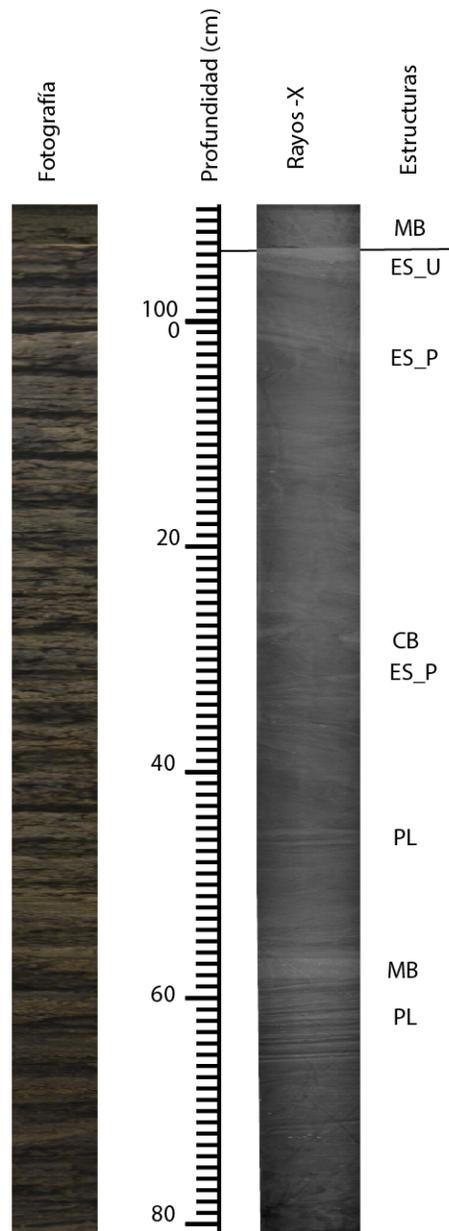


Figura 31: Detalle de las estructuras sedimentarias de la unidad III. En la imagen se distinguen las estructuras de MB: Estrato Masivo; ES\_U/P: Superficie de Erosión Ondular/Planar; CB: Estratificación Convoluta y PL: Laminaciones Paralelas.

La unidad IV se define entre los centímetros 182 y 274. Comprende de intercalaciones de láminas y estratos de limos, limos arenosos y arenas limosas. Los tamaños van de muy fino a muy grueso. En la imagen se distingue un incremento en el material clástico con granos angulosos menores a 1 cm de largo entre los lentes (ver estructuras en los párrafos posteriores), esta tendencia se hace mayor hacia el sector entre los 235 y 247 cm de la unidad, con una concentración en los estratos de menor densidad. En particular se distingue un clasto de 2 cm de largo y 1 cm de ancho subanguloso. Este fue identificado en la muestra LDV3-T16-82 y presenta un color grisáceo. Pudiese atribuirse a un protolito ígneo granitoide (Fig.61).

Comienza con un color marrón grisáceo oscuro marcando un cambio con respecto a las unidades anteriores, que da paso a intercalaciones de colores amarillo pálido, grisáceo claro y marrón oliva claro en parte del techo y sector cercano a los 187 cm. Estos tornan a un gris muy oscuro entre los 132 y 140 cm para finalizar la unidad con un marrón amarillento pálido hasta los 274 cm.

En términos generales de estratificación, parte con estratificación difusa horizontal, para dar paso a laminación aún al comienzo de la unidad hacia los 195 cm. Esta predomina hasta los 230 cm, en el que pasa a ser laminar semidifusa hasta los 250 cm, para finalizar la unidad con laminación paralela horizontal. Se observa un contacto nítido con la unidad V.

En cuanto a estructuras sedimentarias, aparte de las ya mencionadas en la estratificación general, se observa laminación paralela a lo largo de la unidad con estratos de distinta densidad que se pueden observar a sectores localizados en la escala de grises (Fig.43). Entre los 195 y 200 cm del techo de la unidad se observan lentes de distinta densidad al estrato predominante, así como un calco de carga cercano a las 210 cm. Hasta la base de la unidad se distingue laminación paralela y una superficie de erosión ondular antes de dar paso a la siguiente unidad (Fig.32).

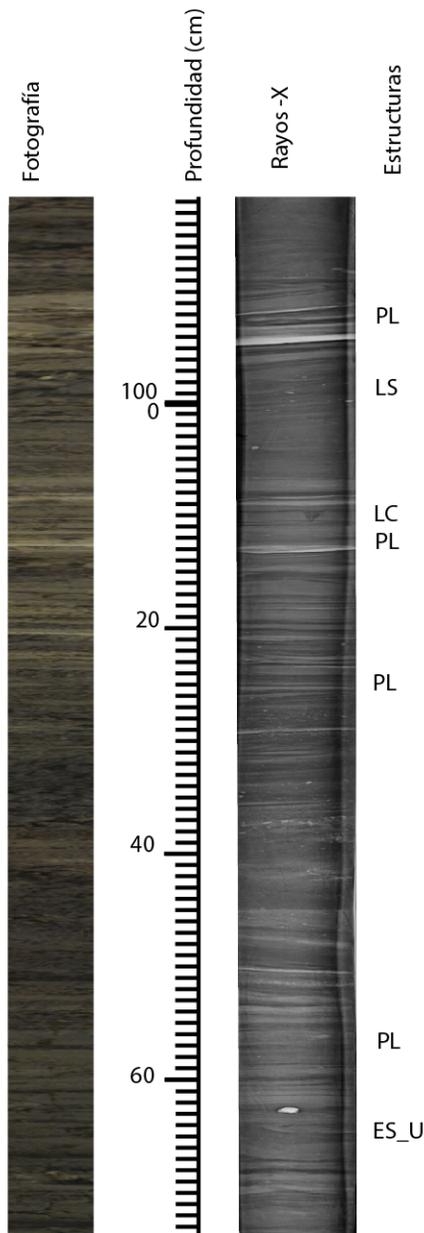


Figura 32: Detalle de las estructuras sedimentarias de la unidad IV. En la imagen se distinguen las estructuras de ES\_U: Superficie de Erosión Ondular; PL: Laminaciones Paralelas; LS: Lentes y LC: Calcos de Carga.

La unidad V se define entre los centímetros 274 y 373. Comprende de intercalaciones de láminas de limo y limo arenoso. Presenta un estrato de mayor densidad con respecto a la unidad que marca el techo de la nueva. Se observa una baja en el material clástico con respecto a la unidad anterior teniendo un par de clastos aislados menores a 2 cm de largo (Fig.56). El tamaño va de muy grueso a fino.

Comienza con un color amarillo pálido en el techo para dar paso a un marrón oliva, que los 325 cm se torna marrón oliva claro hasta el fin de la unidad.

En términos generales de estratificación, parte con estratificación difusa para dar paso a estratificación horizontal, que en los 325 cm se torna laminar horizontal hasta el fin de la unidad.

En cuanto a estructuras sedimentarias, aparte de las ya mencionadas en la estratificación general, se observa un estrato masivo más denso que los estratos de la unidad que da inicio a esta en el techo, y que luego muestra estratos aún más densos de estratificación convoluta. A lo largo de la unidad se distinguen sectores con laminación paralela (Fig.33).

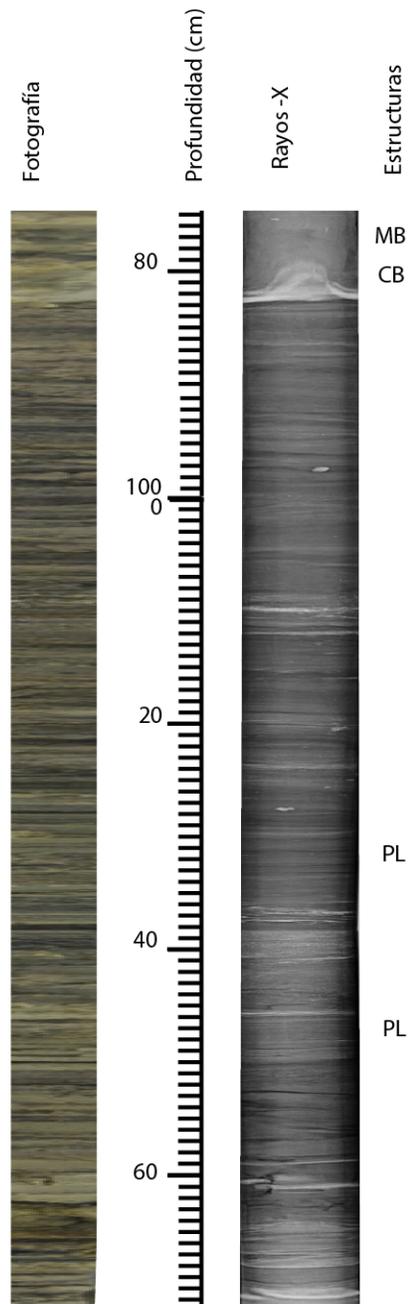


Figura 33: Detalle de las estructuras sedimentarias de la unidad V. En la imagen se distinguen las estructuras de MB: Estrato Masivo; CB: Estratificación Convoluta y PL: Laminaciones Paralelas.

La unidad VI se define entre los centímetros 373 y 436. Comprende de estratos y láminas de limo con algunas capas de limo arenoso. En esta unidad se puede observar un marcado aumento de la densidad con respecto a todo el testigo, así como un descenso global del tamaño de grano. En la imagen de Rayos-X se distingue nuevamente un aumento del material clástico, identificándose granos menores a 1 cm de largo subredondeados en su mayor parte, confinados a estratos de 1 cm que se intercalan hacia el sector final por los 438 cm de la unidad (Fig.34). De acuerdo a lo visto con el testigo, serían de la misma naturaleza de los

encontrados anteriormente. Destaca un clasto de 5 cm de largo y 2 cm de ancho subredondeado y subprismático.

En todo el tramo predomina el color amarillo oliva hacia el techo y para el resto de la unidad amarillo pálido.

En términos generales de estratificación, parte con laminación por intercalación. para luego dar paso a laminación.

En cuanto a estructuras sedimentarias, aparte de las ya mencionadas en la estratificación general, se observa estratificación convoluta en el techo de la unidad. Un estrato masivo se distingue al comienzo del sector medio, entre los 382 y 385 cm. En todo el testigo se observan laminaciones paralelas (Fig.34).

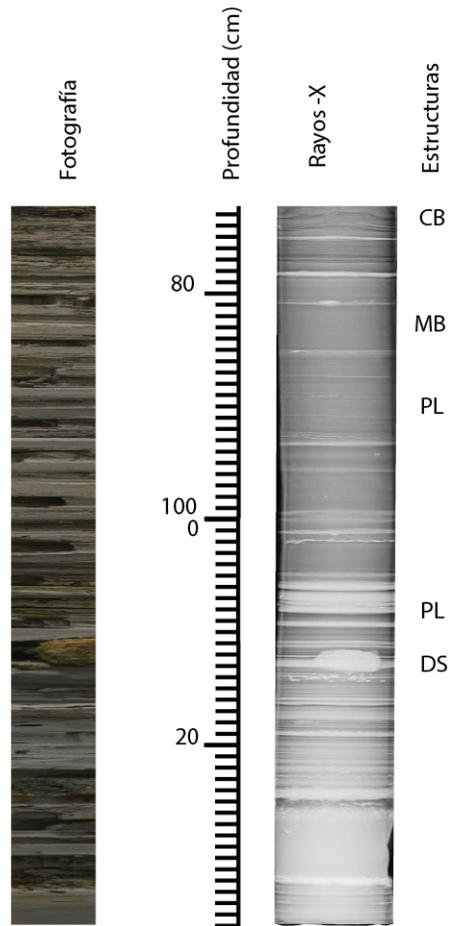


Figura 34: Detalle de las estructuras sedimentarias de la unidad VI. En la imagen se distinguen las estructuras de MB: Estrato Masivo; CB: Estratificación Convoluta; PL: Laminaciones Paralelas y DS: Dropstone.

### 0.3.2. Granulometría

En esta sección se verán los resultados correspondientes a la granulometría realizada en una primera etapa con el Mastersizer, y en una segunda, ingresando los datos obtenidos al programa GRADISTRAT (Blott y Pye, 2001). A partir de estos se generaron diagramas ternarios para los tamaños de grano arena-limo-arcilla:

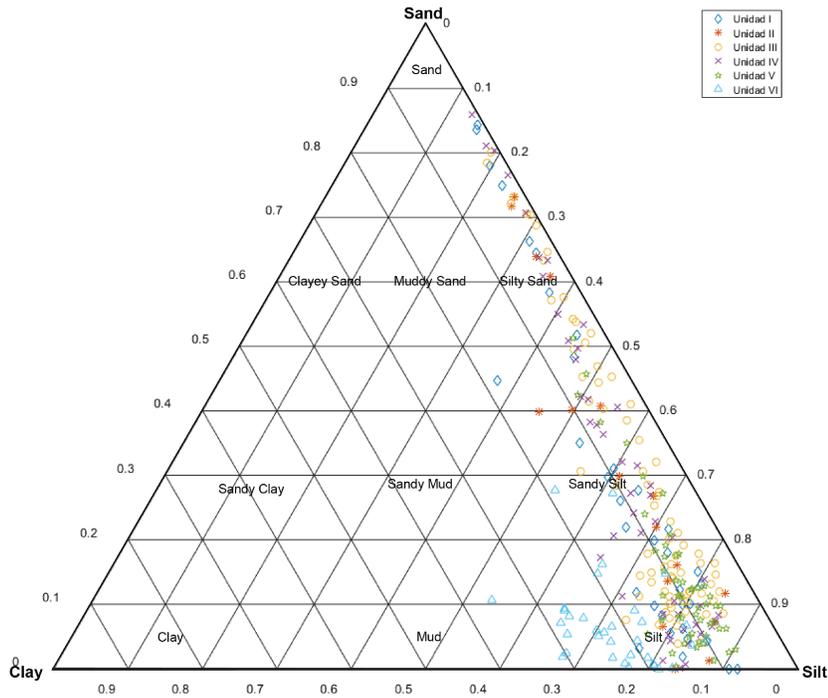


Figura 35: Diagrama ternario ilustrando el tipo de sedimento presente en el testigo con las clasificaciones divisorias.

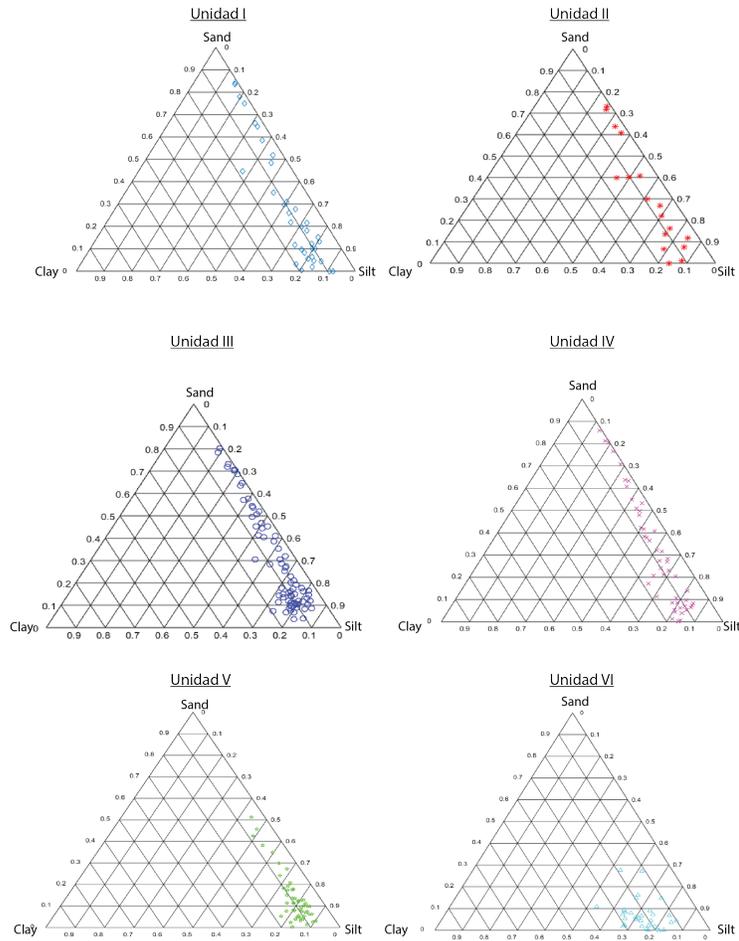


Figura 36: Diagrama ternario ilustrando el tipo de sedimento presente en el testigo.

El testigo en su totalidad posee una marcada tendencia hacia la fracción de limo, esto representa un 66,6 % del volumen total. Le sigue 23,6 % de arena y finalmente una fracción de arcilla con 9,3 %. Es posible ver esta tendencia en el diagrama ternario de la Fig.35.

Esta tendencia se conserva a lo largo de las unidades definidas mostrando un cambio relativamente importante hacia las dos últimas unidades y, en particular, la unidad VI (centímetros 384 a 437) en la que los porcentajes de arcilla y la fracción fina en general, aumentan con respecto a los porcentajes anteriores a lo largo del testigo (Tabla 3).

<b>Unidad</b>	<b>Arena %</b>	<b>Limo %</b>	<b>Arcilla %</b>
<b>I</b>	28,3	62,5	9,3
<b>II</b>	29,7	62,1	8,1
<b>III</b>	29,6	63,5	6,9
<b>IV</b>	30,5	61,3	8,1
<b>V</b>	14,2	76,8	9,2
<b>VI</b>	3,4	71,2	20,4

Tabla 3: Tabla resumen de los porcentajes promedio con respecto al volumen total de las fracciones de arena, limo y arcilla para cada unidad respectivamente.

### 0.3.3. Selección

La selección es una medida de la uniformidad de los sedimentos (Folk, 1980/1968), a lo largo del testigo oscila entre los valores de 1,4 y 14,5, con un valor promedio de 4,1, lo que lo caracteriza mayoritariamente como muy pobremente seleccionado (para clasificación ver Fig.2). Los valores más altos se concentran en la unidad V (hasta los 384 cm) con picos de valores cercanos a 14, entre valles de valores de pobre selección (entorno a 4). Los valores más bajos, y por tanto, de mejor selección se concentran en las unidades I (hasta los 58,5 cm) y II (hasta los 90 cm, II en mayor número) con valores entorno a 1,9 con selección moderada (Fig.37, Tabla 4).

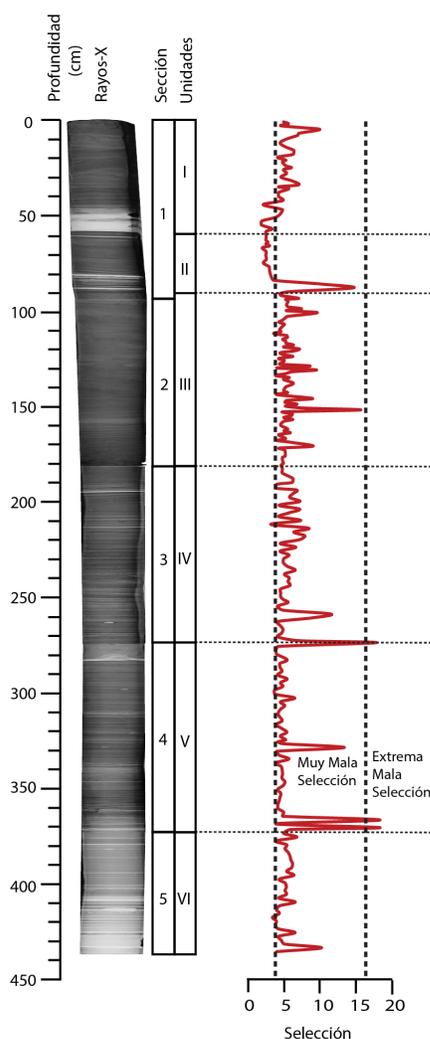


Figura 37: Detalle del comportamiento de la selección a lo largo del testigo.

Unidad	Rango Selección	Promedio Selección	Tipo de Selección Predominante	Interpretación Sedimentológica
I	1,4 - 7,9	3,9	1. Pobre a Muy Pobre (hacia el techo). 2. Moderada (~40 y 58,5 cm).	1. Alto rango de tamaños. Posible (muy) corto transporte y (muy) rápida deposición. 2. Rango de tamaño medianamente acotado. Posible rango de transporte y deposición media.
II	1,5 - 11,6	3,1	1. Moderada y pobre en menor medida (~58,5 a 80 cm). 2. Pobre a muy pobre (~80 a 90 cm).	1. Rango de tamaño medianamente acotado con sectores con mayor rango. Posible rango de transporte y deposición media, con sectores de corto transporte y duración. 2. Alto rango de tamaños. Posible (muy) corto transporte y (muy) rápida deposición.
III	2,8 - 12,4	4,4	1. Muy Pobre y Pobre en menor medida (~90 a 125 cm). 2. Muy Pobre (~125 a 182 cm).	1. Muy alto rango de tamaños. Posible muy corto transporte y muy rápida deposición, con sectores de corto transporte y rápida deposición. 2. Muy alto rango de tamaños. Posible muy corto transporte y muy rápida deposición.
IV	2,5 - 9,1	4,4	1. Pobre (~182 a 220 cm). 2. Muy pobre y Pobre en menor medida (~220 a 240 cm). 3. Pobre y Muy pobre en menor medida (~240 a 274 cm).	1. Alto rango de tamaños. Posible corto transporte y rápida deposición. 2. Muy alto rango de tamaños. Posible muy corto transporte y muy rápida deposición, con sectores de corto transporte y rápida deposición. 3. Alto rango de tamaños. Posible corto transporte y rápida deposición, con sectores de muy corto transporte y muy rápida deposición.
V	2,9 - 14,5	4,3	1. Pobre y Muy Pobre (~274 y 360 cm). 2. Extremadamente Pobre (~360 a 373 cm).	1. Alto rango de tamaños. Posible (muy) corto transporte y (muy) rápida deposición. 2. Muy amplio rango de tamaños. Posible extremo corto transporte y extra rápida deposición.
VI	2,7 - 8,1	4,1	1. Muy pobre y Pobre (~373 y 436 cm).	1. Alto rango de tamaños. Posible muy corto transporte y muy rápida deposición.

Tabla 4: Tabla resumen de la selección y su posible interpretación sedimentológica para cada unidad.

### 0.3.4. Asimetría

La asimetría es una medida del comportamiento no-normal de una distribución. En su forma clásica, una curva simétrica tendrá un valor de 0 mientras que una con una “cola” en los granos más gruesos tendrá valores negativos; por otra parte, una “cola” hacia la fracción fina tendrá valores positivos (Folk, 1966). De acuerdo a la clasificación del programa GRADISTRAT, los valores negativos son asignados a una asimetría fina (ver clasificación Fig.2), es decir, con la “cola” hacia la fracción fina (Blott y Pye, 2001).

Los valores de asimetría para el testigo varían entre -1,7 y 4,6. En general predominan valores simétricos a lo largo de este, con algunos sectores de asimetría fina. Destacan las unidades II y VI por presentar comportamientos muy distintos al resto de las unidades (Fig.38, Tabla 5).

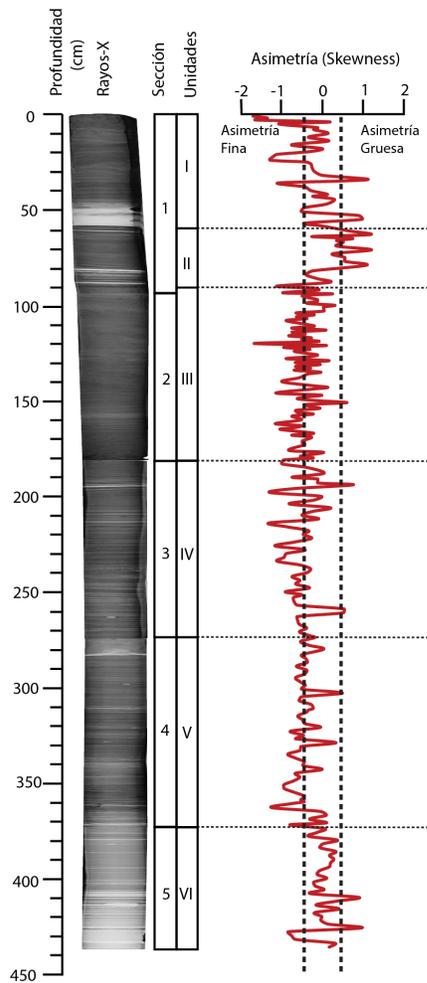


Figura 38: Detalle del comportamiento de la asimetría a lo largo del testigo.

Unidad	Rango Asimetría	Tipo de Asimetría Predominante	Interpretación Sedimentológica
I	-1,7 - 1,1	1.Simétrica en toda la unidad. 2.Sectores de asimetría fina (~0 - 10 cm).	1.Concentración en una población de tamaños. 2.Fracción fina subordinada a la principal.
II	1,3 - 4,6	1.Asimetría gruesa con sectores de asimetría fina (~58,5 - 80 cm). 2.Simétrica (~80 - 90cm).	1.Fracción gruesa subordinada a la principal con sectores de subordinación de fracción fina. 2.Concentración en una población de tamaños.
III	-1,7 - 0,6	1.Simétrica y asimetría fina en toda la unidad	1.Concentración en una población de tamaños principal y una fracción fina subordinada variantes.
IV	-1,3 - 0,8	1.Simétrica con sectores de asimetría fina y muy fina (~182 - 210 cm). 2.Asimetría fina y muy fina con sectores simétricos (~210 - 274 cm).	1.Concentración en una población de tamaños con sectores de fracción fina y muy fina subordinada. 2.Fracción fina y muy fina subordinada a la principal con sectores que una sola población.
V	-1,3 - 0,5	1.Intercalación de valores simétricos con asimetría fina (~274 y 340 cm). 2.Asimetría fina (~340 a 373 cm).	1.Intercalación de una población definida con fracciones finas subordinadas a una principal. 2.Fracción fina subordinada a la principal.
VI	-0,8 - 1	1.Simétrica (~373 a 400 cm). 2.Simétrica con sectores de asimetría gruesa (~400 a 430 cm). 3.Asimetría fina (~430 a 436 cm).	1.Concentración en una población de tamaños. 2.Concentración en una población de tamaños principal y una fracción gruesa subordinada. 3.Fracción fina subordinada a la principal.

Tabla 5: Tabla resumen de la asimetría y su posible interpretación sedimentológica para cada unidad.

### 0.3.5. Curtosis

La curtosis, al igual que la asimetría se relaciona con la distribución de los datos. Mide la tasa entre la selección de los extremos de la curva y la selección del centro de esta. De esta forma, si la parte central posee una mejor selección que los extremos se dice que la curva es excesivamente angulosa o "leptocúrtica"; si los extremos, poseen una mejor selección que el centro de la curva, se le llama aplanada o "platicúrtica". Las curvas muy platicúrticas son habitualmente bimodales con cantidades similares en las dos modas (Folk, 1980/1968)]. Los valores de curtosis para el testigo oscilan entre 1,3 y 5,9 con un promedio de 2,8. En general se encuentran distintos tipos de distribución entre las unidades, distinguiéndose la unidad VI por presentar una distribución relativamente uniforme (Fig.39, Tabla 6).

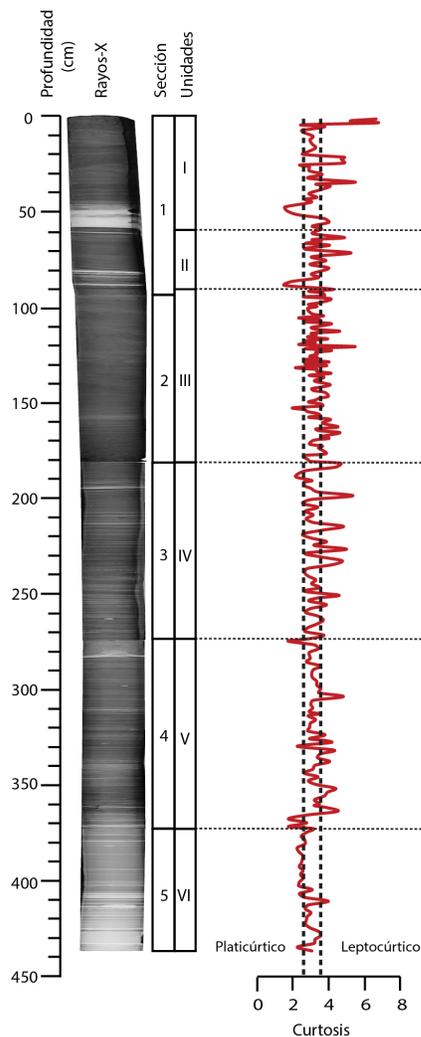


Figura 39: Detalle del comportamiento de la curtosis a lo largo del testigo.

Unidad	Rango Selección	Promedio Selección	Tipo de Selección Predominante	Interpretación Sedimentológica
I	1,3 - 5,9	3,1	1. Mesocúrtica con sectores leptocúrticos (~0 a 45 cm, y 55 a 58,5 cm). 2. Platicúrtica (~45 a 55 cm).	1. Las fracciones de granos en los extremos de la curva muestran selecciones similares a la parte central, con sectores en las que la parte central posee una mejor. 2. Las fracciones de granos en los extremos de la curva muestran selecciones mejores que la parte central.
II	1,3 - 4,6	3	1. Mesocúrtica con sectores leptocúrticos (~58,5 a 80 cm). 2. Muy platicúrtica (~80 a 90 cm).	1. Las fracciones de granos en los extremos de la curva muestran selecciones similares a la parte central, con sectores en las que la parte central posee una mejor. 2. Las fracciones de granos en los extremos de la curva muestran selecciones mucho mejores que la parte central.
III	1,7 - 4,8	2,9	1. Mesocúrtica con intercalaciones frecuentes de sectores leptocúrticos (~90 a 182 cm).	1. Las fracciones de granos en los extremos de la curva muestran selecciones similares a la parte central, con intercalaciones frecuentes en las que la parte central posee una mejor.
IV	1,9 - 4,7	4,4	1. Mesocúrtica con intercalaciones de sectores leptocúrticos (~182 a 274 cm).	1. Las fracciones de granos en los extremos de la curva muestran selecciones similares a la parte central, con intercalaciones en las que la parte central posee una mejor.
V	1,5 - 4,2	2,8	1. Mesocúrtica en toda la unidad con variaciones leptocúrticas y platicúrticas (~274 y 360 cm).	1. Las fracciones de granos en los extremos de la curva muestran selecciones similares a la parte central, con variaciones en las que la parte central posee una mejor y otras donde las fracciones de los extremos posee una mejor.
VI	2 - 3,5	2,4	1. Platicúrtica (~373 a 410 cm). 2. Mesocúrtica (~410 a 436 cm).	1. Las fracciones de granos en los extremos de la curva muestran selecciones mejores que la parte central. 2. Las fracciones de granos en los extremos de la curva muestran selecciones similares a la parte central.

Tabla 6: Tabla resumen de la curtosis y su posible interpretación sedimentológica para cada unidad.

### 0.3.6. Tamaño Promedio

Los valores de tamaño de grano promedio para el testigo oscilan entre 3,1 y 360,9  $\mu\text{m}$ , con un valor promedio de 27  $\mu\text{m}$ . En general son bastante variables, formando valles y picos a lo largo de la curva. Destaca la unidad VI por presentar la mayor cantidad de valores bajos dentro del testigo (Fig.40, Tabla 7).

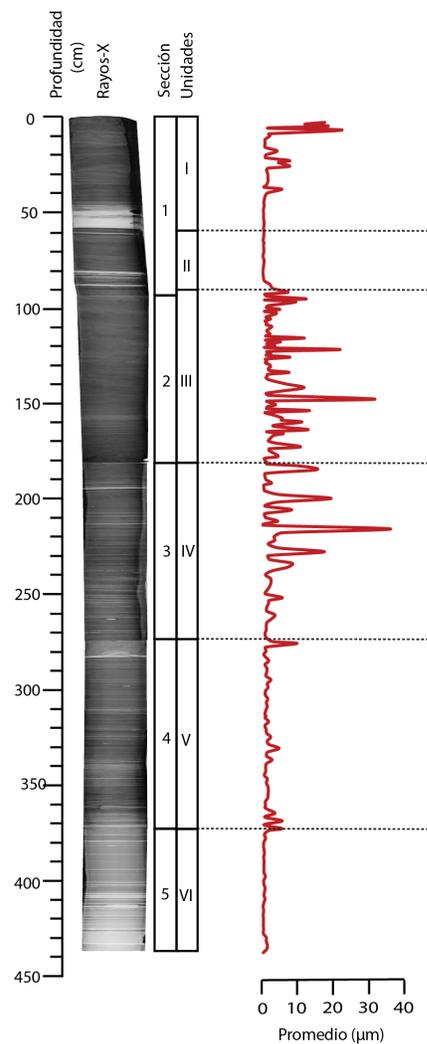


Figura 40: Detalle del comportamiento del promedio de tamaño de grano a lo largo del testigo.

Unidad	Rango T. Promedio (um)	Promedio de la Unidad (um)	Tamaño Promedio Predominante	Interpretación Sedimentológica
I	4,8 - 225,2	37,7	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Sobre 100 um hacia el techo (~0 - 5 cm).</li> <li>2. Variaciones entre 6,6 y 78,3 um (~5 - 38 cm).</li> <li>3. Variaciones entre 4,8 y 9,2 um (~38 - 58,5 cm).</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Tamaños sobre arena fina, eventuales agentes de transporte mayor energía con respecto a las fracciones más finas.</li> <li>2. Tamaños entre limo fino y arena muy fina. Más de una población de grano. Agente de energía media con respecto a fracciones gruesas.</li> <li>3. Tamaños entre limo fino y medio. Agente de menor energía con respecto a fracciones gruesas.</li> </ol>
II	3,1 - 73,9	11,7	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Variaciones entre 3 y 7 um (~58,5 a 84 cm).</li> <li>2. Variaciones entre 23 y 74 um (~80 a 90 cm).</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Tamaños entre limo fino y medio. Más de una población de grano. Agente de menor energía.</li> <li>2. Tamaños entre limo medio y arena muy fina. Más de una población de grano. Eventual agente de energía media.</li> </ol>
III	7,5 - 317,4	41,6	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Valores muy variables a lo largo de la unidad entre 7,5 y 317,4 um con los más altos cercanos al sector medio (~115 y 146 cm): 124,9 um; 95,6 um; 119,3 um; 219,7 um y 317,4 um.</li> <li>2. Valores altos hacia la base (146 - 182 cm): 134,2 um; 112,4 um; 130,5 um y 108,9 um.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Tamaños entre limo fino y arena media. Peaks de arena fina y media. Más de una población de grano. Agentes mixtos, medio y medio-alto.</li> <li>2. Tamaños arena muy fina. Eventual agente de energía media.</li> </ol>
IV	4,9 - 360,9	44,5	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Valores altos: 106,8 um; 153,2 um; 194,5 um; 84,1 um entre valores bajos en un rango de 4,9 a 49,6 um hacia el techo (~182 - 212 cm).</li> <li>2. Valores altos: 360,9 um; 175,4 um; 85,4 y 73,7 um entre valores bajos en un rango entre 10,7 y 57,9 um (~212 - 240 cm).</li> <li>3. Valores en un rango entre 57,8 y 9,3 um (~240 - 273 cm).</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Tamaños entre arena muy fina y fina entre tamaños de limo fino y grueso. Más de una población de grano. Agente de energía media.</li> <li>2. Tamaños entre arena muy fina y fina entre tamaños de limo fino y grueso. Más de una población de grano. Agente de energía media.</li> <li>3. Tamaños entre limo fino y medio. Agente de menor energía con respecto a fracciones gruesas.</li> </ol>
V	6,4 - 98,9	18,6	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Valores en un rango relativamente estables entre 6,2 y 28,9 um en todo el testigo con algunos valores altos como: 98,9 um en el techo (~273 cm); 48,6 um en la parte media (~329 cm) y en la base cercanos a 57,2 um (~363 - 372 cm).</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Tamaños entre limo fino y medio con algunos tamaños de arena muy fina y limo grueso. Mas de una población de grano. Agente de energía media.</li> </ol>
VI	4 - 20,9	7,9	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Valores estables a lo largo de la unidad entre 4 y 20,9 um. Estando el máximo hacia el techo (~372 cm).</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Tamaños entre limo muy fino y medio. Agente de energía menor.</li> </ol>

Tabla 7: Tabla resumen del tamaño promedio de grano y su posible interpretación sedimentológica para cada unidad.

### 0.3.7. SPAN

El SPAN corresponde a un índice de selección calculado a partir de la fórmula:

$$SPAN = (D_{90} - D_{10})/D_{50}$$

Donde  $D_{90}$  = Diámetro percentil 90 (diámetro máximo por el que el 90% de una muestra pasa).

Corresponde a un índice más gráfico para la selección y fue propuesto por Foster et al. (1991), siendo usado por algunos autores (Foster et al., 2008; Warriar et al., 2016) para análisis granulométrico. Para el testigo los valores oscilan entre 1,3 y 101,7, con un promedio de 7,5. Destaca la unidad I por poseer valores bastante altos con respecto a las otras unidades hacia su final (Fig.41, Tabla 8).

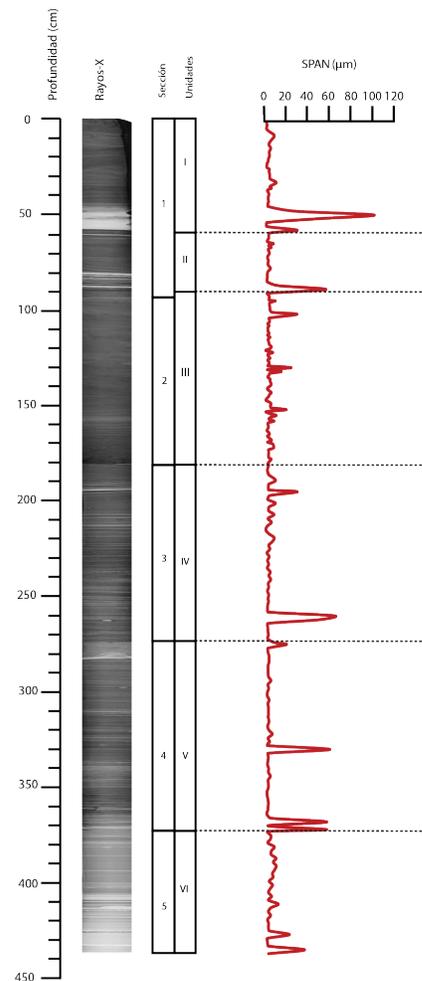


Figura 41: Detalle del comportamiento del SPAN a lo largo del testigo.

Unidad	Rango SPAN	Promedio SPAN	SPAN Predominante	Interpretación Sedimentológica
I	2,2 - 101,7	9,9	<ol style="list-style-type: none"> <li>Valores entorno a 2 (~0 - 25 cm).</li> <li>Valores entorno a 5 y 6 (~25 - 45 cm).</li> <li>Valores entre 48,1 y 101,7 (~45 - 58,5 cm).</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>No existen grandes diferencias en la selección</li> <li>Pequeñas diferencias en la selección.</li> <li>Grandes diferencias en la selección. Co-existencia de fracciones gruesas con finas. Distintas poblaciones.</li> </ol>
II	2,7 - 57,1	7,5	<ol style="list-style-type: none"> <li>Valores entre 3 y 5 en toda la unidad.</li> <li>Valores entre 3 y 57,1 (~58,5 - 90 cm).</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Pequeñas diferencias en la selección.</li> <li>Diferencias considerables en la selección. Co-existencia de fracciones distintas. Distintas poblaciones.</li> </ol>
III	1,3 - 30,3	5,7	<ol style="list-style-type: none"> <li>Valores entorno a 5,7 en toda la unidad.</li> <li>Valores altos destacables de 30,26 (~105 cm); 24,8 y 15,63 (~130 cm) y 20,24 con 11,02 (~160 cm).</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Pequeñas diferencias en la selección.</li> <li>Diferencias considerables y menores en la selección en sectores específicos. Co-existencia de fracciones distintas. Distintas poblaciones.</li> </ol>
IV	1,4 - 65	7,3	<ol style="list-style-type: none"> <li>Valores entre 3 y 4 (~182 - 195 cm).</li> <li>Valores entorno a 7,3 con sectores altos: 10,4; 30,54 y 10,3 (~195 - 240 cm).</li> <li>Valores entre 3 y 4 con un peak de 65 (~240 - 273 cm).</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Pequeñas diferencias en la selección.</li> <li>Diferencias menores en la selección en sectores específicos de mayor magnitud. Co-existencia de fracciones distintas. Distintas poblaciones.</li> <li>Pequeñas diferencias en la selección. Un sector con co-existencia de fracción gruesa con fina.</li> </ol>
V	2,3 - 60,7	7,3	<ol style="list-style-type: none"> <li>Valores entre 3 y 4 en toda la unidad. Valores altos en sectores: 20,6 (~275 cm); 60,7 (~330 cm) y 57,9 (~360 a 373 cm).</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Pequeñas diferencias en la selección. Diferencias menores y mayores en la selección en sectores específicos. Co-existencia de fracciones distintas y de gruesas con finas. Distintas poblaciones.</li> </ol>
VI	2,8 - 37,3	7,5	<ol style="list-style-type: none"> <li>Valores entre 3 y 6 en toda la unidad. Valores altos en sectores: 10,8 y 11 (~373 cm); 12,9 (~410 cm) y 23,3 y 37,3 (~425 a 436 cm).</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Pequeñas diferencias en la selección. Diferencias menores en la selección en sectores específicos de mayor magnitud. Co-existencia de fracciones distintas. Distintas poblaciones.</li> </ol>

Tabla 8: Tabla resumen del SPAN y su posible interpretación sedimentológica para cada unidad.

### 0.3.8. Percentiles

Los percentiles muestran el diámetro máximo por el que cierto porcentaje de una muestra pasa. Para este trabajo se calcularon  $D_{10}$ ,  $D_{50}$  y  $D_{90}$ :

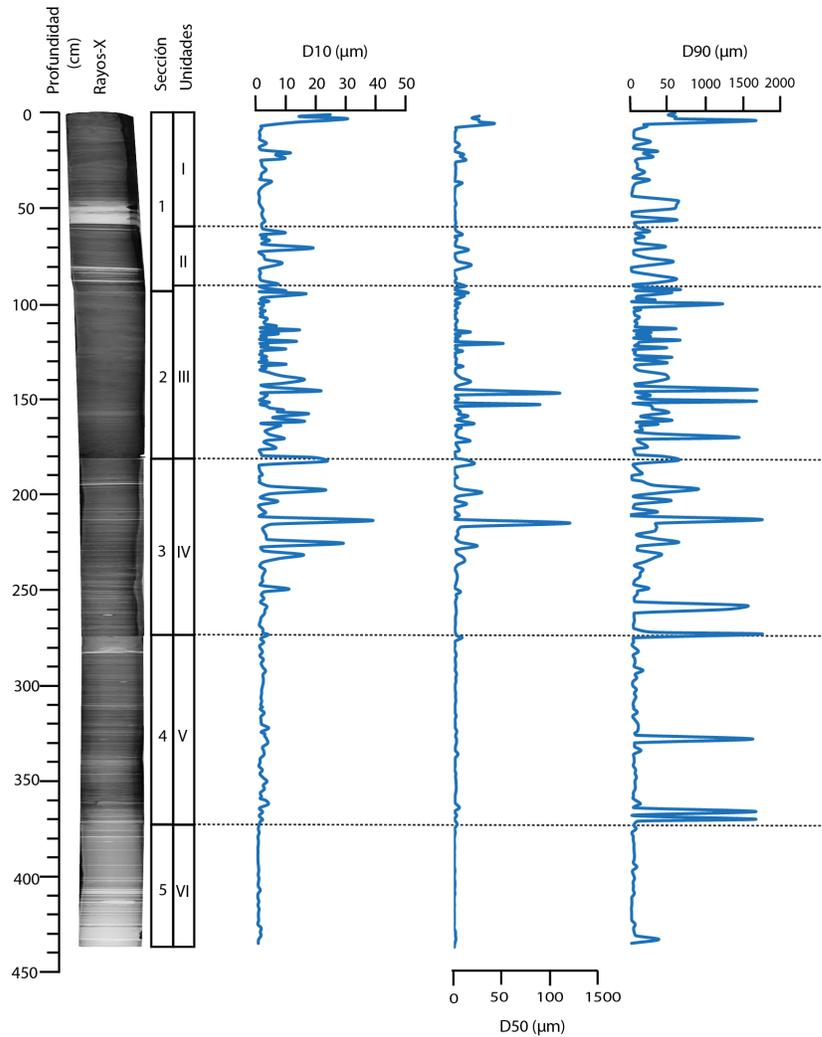


Figura 42: Detalle del comportamiento de los distintos percentiles ( $D_{10}$ ,  $D_{50}$  Y  $D_{90}$ ) a lo largo del testigo.

En general los percentiles se comportan de forma similar a lo largo del testigo con algunas excepciones, no mostrando grandes variaciones a lo largo de este, creciendo y decreciendo de forma conjunta a lo largo del tiempo. Se distinguen estadios de aumento de tamaño de grano hacia el techo de la unidad I, así como en su sector medio - techo y variaciones oscilantes a lo largo de las unidades II, III y IV (Fig.42, Tabla 9).

Se encuentra una primera diferencia mayor entre el  $D_{90}$  y  $D_{10}$  hacia el final de la unidad I, con un aumento en la fracción gruesa. Lo mismo en la base de la unidad IV, sector medio y basal de la unidad V, y en menor medida de la unidad VI.

Unidad	Promedio D10 (um)	Promedio D50 (um)	Promedio D90 (um)	Tendencia Predominante	Interpretación Sedimentológica
I	5,7	63,5	273,7	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.Crecimiento hacia el techo conjunto.</li> <li>2.Ascenso individual del D90 sobre los 500 um (~45 y 58,5 cm).</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.Alza general del tamaño de grano hacia el techo.Condiciones de mayor energía hacia el techo. Distintas dsdistribuciones.</li> <li>2.Mayoría del volumen corresponde a arena media, evento de mayor energía.</li> </ol>
II	4,4	44,2	203,6	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.Oscilamiento conjunto a lo largo de la unidad.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.Oscilamiento general del tamaño de grano.Variaciones energéticas. Distintas dsdistribuciones.</li> </ol>
III	5	72,7	270,3	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.Oscilamiento conjunto a lo largo de la unidad.</li> <li>2.Alza general en los percentiles (~140 - 160 cm).</li> <li>3.Ascenso individual del D90 sobre los 1500 um (~170 - 180 cm).</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.Oscilamiento general del tamaño de grano. Variaciones energéticas. Distintas dsdistribuciones.</li> <li>2.Alza general del tamaño de grano. Incremento en condiciones energéticas. Distintas dsdistribuciones.</li> <li>3.Mayoría del volumen corresponde a arena gruesa, evento de mayor energía.</li> </ol>
IV	5,7	72,4	289,8	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.Oscilamiento conjunto a lo largo de la unidad con un descenso hacia la base (~274 cm).</li> <li>2.Alza general en los percentiles (~210 - 225 cm).</li> <li>3.Ascenso individual del D90 sobre los 1500 um (~250 - 274 cm).</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.Oscilamiento general del tamaño de grano. Descenso general del tamaño hacia la base. Descenso en codiciones energéticas hacia la base. Distintas dsdistribuciones.</li> <li>2.Alza general del tamaño de grano. Incremento en condiciones energéticas. Distintas dsdistribuciones.</li> <li>3.Mayoría del volumen corresponde a arena gruesa, evento de mayor energía.</li> </ol>
V	2,4	19,6	192	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.Descenso conjunto en toda la unidad,</li> <li>2.Ascenso individual del D90 sobre los 1500 um en sectores (~330 y 360 cm).</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.Descenso general del tamaño y condiciones energéticas. Distintas dsdistribuciones.</li> <li>2.Mayoría del volumen corresponde a arena gruesa, evento de mayor energía.</li> </ol>
VI	1,1	8,5	56,9	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.Descenso conjunto en toda la unidad.</li> <li>2.Ascenso individual del D90 menor a los 500 um hacia la base (~430 cm).</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.Descenso general del tamaño y condiciones energéticas. Distintas dsdistribuciones.</li> <li>2.Mayoría del volumen corresponde a arena gruesa, evento de mayor energía.</li> </ol>

Tabla 9: Tabla resumen de los percentiles y su posible interpretación sedimentológica para cada unidad.

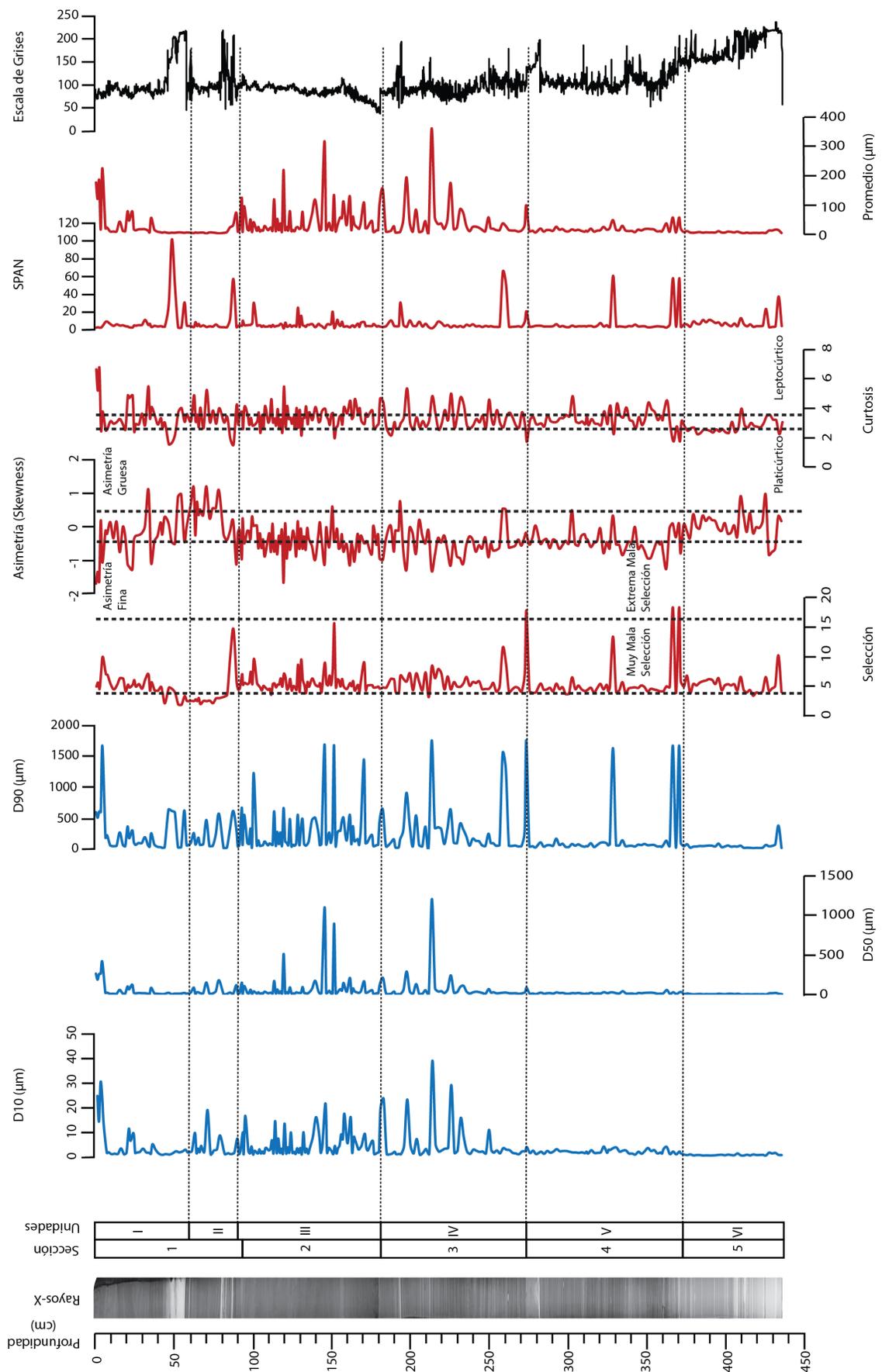


Figura 43: Resumen de los principales resultados obtenidos mediante la granulometría.

## 0.4. Análisis y Discusión

### 0.4.1. Información Complementaria

Como punto de partida para los análisis y discusiones, se usarán datos obtenidos por el CEAZA (Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas) a partir del testigo. Estos consisten en porcentajes y densidades por pérdida de ignición de carbonatos, material clástico, materia inorgánica y materia orgánica junto con dataciones.

#### 0.4.1.1. Dataciones

Diversas dataciones de  $^{14}\text{C}$  fueron realizadas por el CEAZA a lo largo del testigo, todas realizadas sobre el sedimento (bulk). Un total de 13 dataciones fueron registradas:

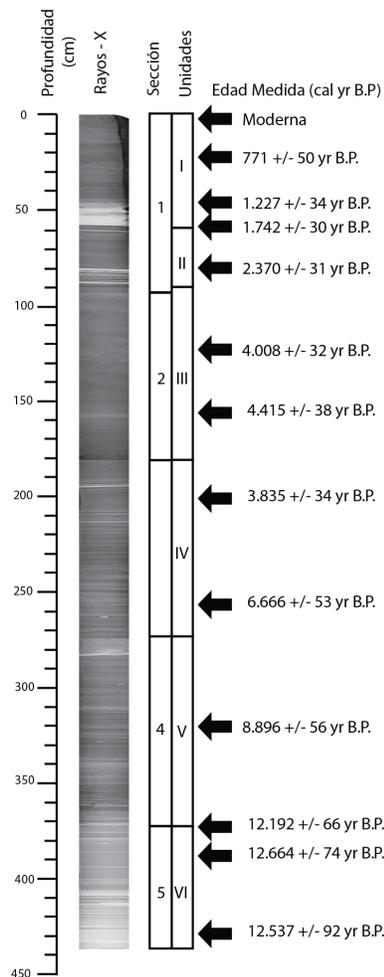


Figura 44: Dataciones tomadas a lo largo del testigo por el CEAZA.

#### 0.4.1.2. Modelo Cronológico

A partir de las edades tomadas, el CEAZA ejecutó un modelo cronológico usando el programa Bacon (Blaauw y Christen, 2011), el cual se basa en estadísticas Bayesianas para poder interpolar entre las muestras y así generar un modelo de edad/profundidad. El modelo generado es el siguiente:

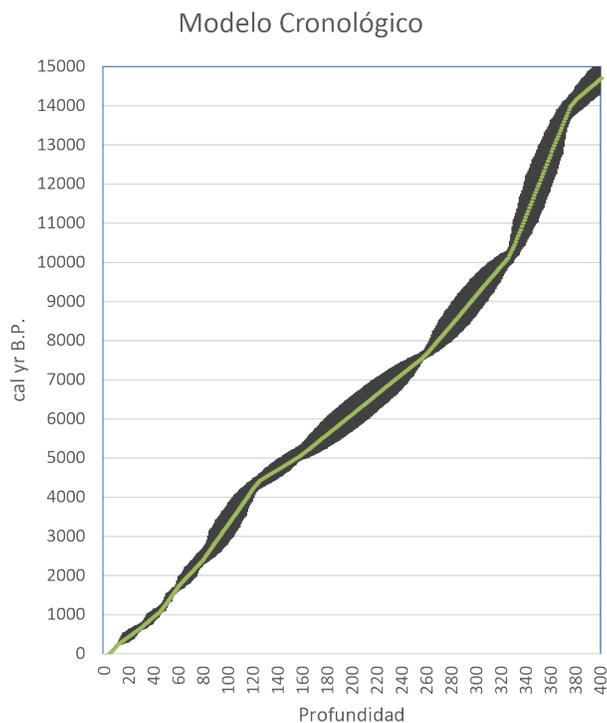


Figura 45: Modelo cronológico generado por el CEAZA con respecto a la profundidad (en cm). La línea central corresponde a la unión de valores promedio. El halo representa el rango de error máximo y mínimo respectivamente.

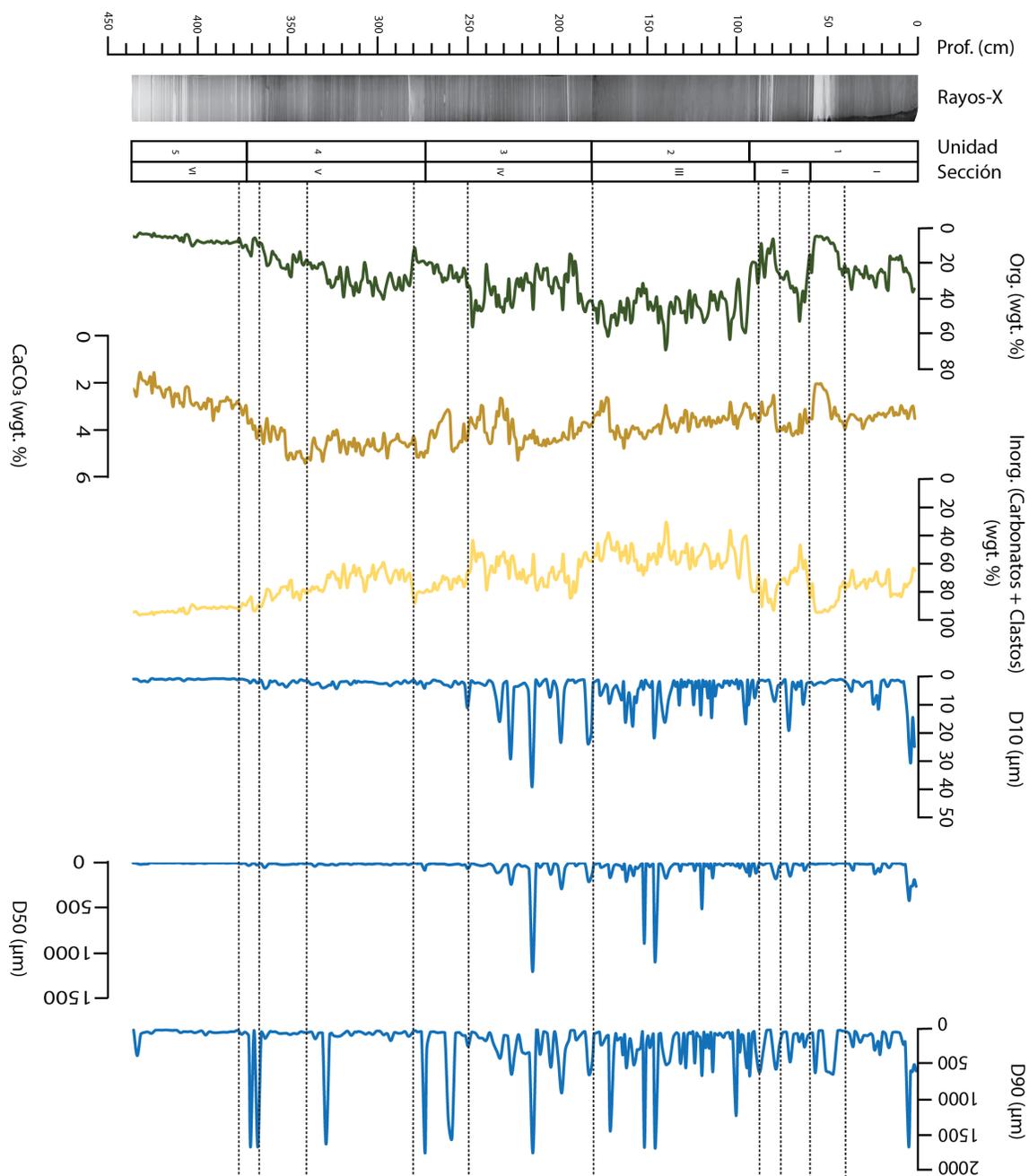
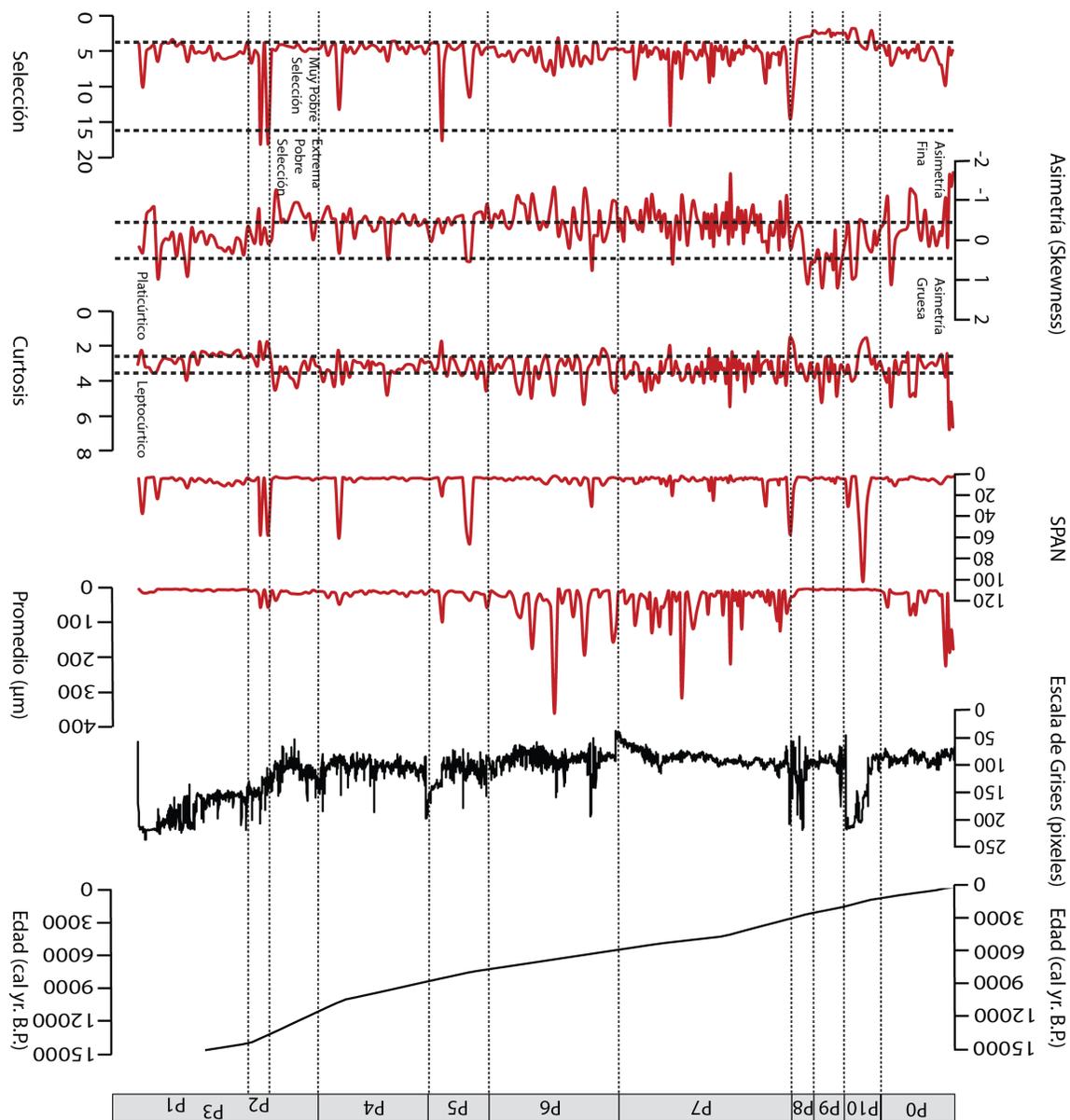


Figura 46: Resumen de los principales resultados integrados con los datos disponibles. Al costado derecho se encuentran los principales periodos detectados en el testigo, basados en los cambios energéticos, de materia orgánica, material clástico y de escorrentía en conjunto con las dataciones.



A partir de los valores calculados por el modelo cronológico, se calculó la tasa de sedimentación para la materia inorgánica para un intervalo cada 100 cal yr B.P., siendo esta la menor escala de tiempo representativa que se podía calcular. Estos valores, al igual que los del modelo cronológico, pueden llegar a poseer un error máximo/mínimo de más o menos 30 cal yr B.P. (ver Tabla 18).

#### 0.4.1.3. Materia Orgánica

Por el nivel de detalle de los datos obtenidos por el CEAZA, a partir de estos se generó una curva integrada con los resultados previamente obtenidos y una tabla resumen con sus porcentajes (ver Fig.47, Tabla 10).

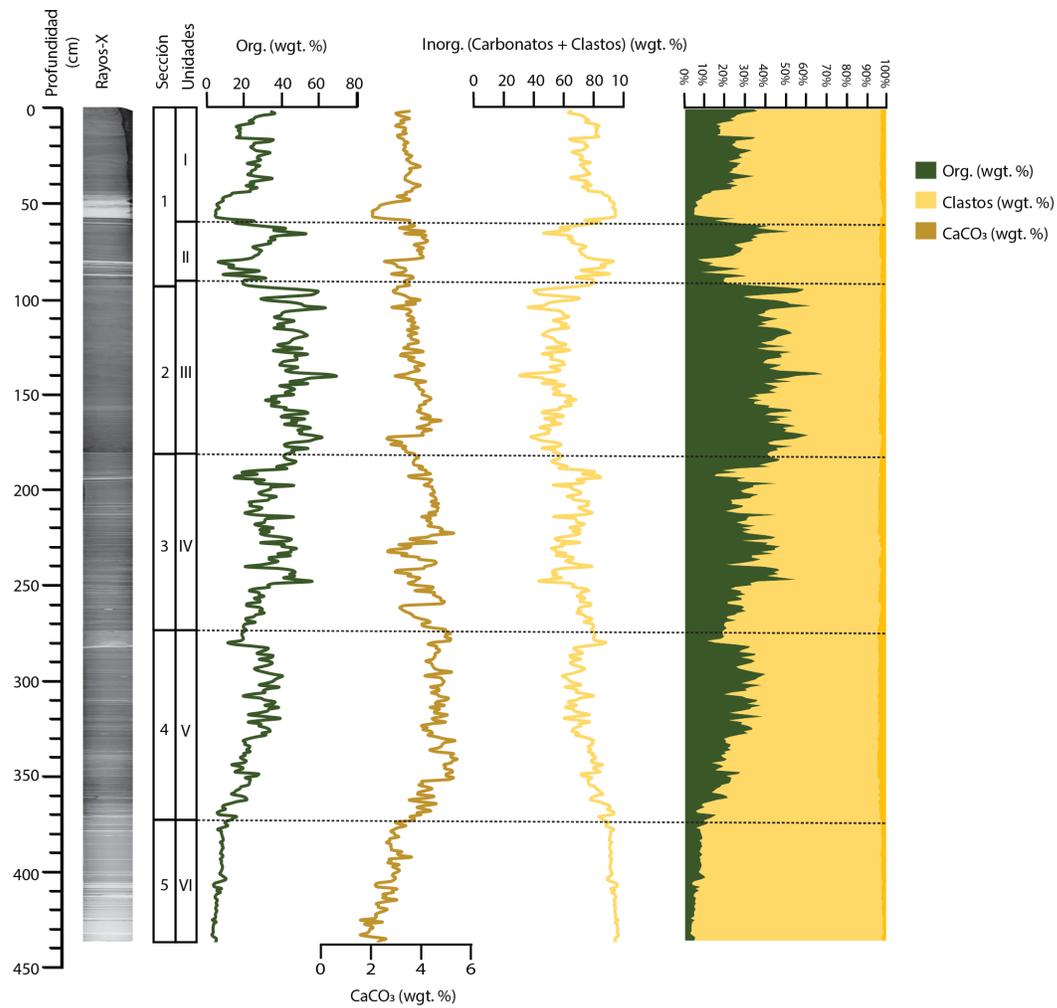


Figura 47: Resumen de los registros de materia orgánica, material clástico, carbonatos y materia inorgánica (clástico y carbonatos) tomados por el CEAZA.

Unidad	Rango M.O. (wgt. %)	Promedio M.O (wgt. %)	Tendencia M.O (wgt. %)	Interpretación
I	4,4 - 36	21,7	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.Descenso desde el máximo al promedio hacia la base (~0 - 20 cm).</li> <li>2. Oscilaciones entre el promedio y el máximo (~20 - 40 cm).</li> <li>3.Descenso al mínimo hacia la base (~40 - 58,5 cm).</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.Baja en la producción del lago y/o del input fuera del lago.</li> <li>2.Variaciones en la producción y/o del input fuera del lago.</li> <li>3.Baja en la producción del lago y/o del input fuera del lago.</li> </ol>
II	6,3 - 52,7	22,6	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.Alza y descenso entre 30 y 50 (~58,5 - 70 cm).</li> <li>2. Descenso hacia la base, valores entre 6 y 17 (~70 - 90 cm).</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.Alza y posterior baja en la producción del lago y/o del input fuera del lago.</li> <li>2.Baja en la producción del lago y/o del input fuera del lago.</li> </ol>
III	19,2 - 68,9	44,4	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.Alza a valores entre 30 y 60. Oscilación periódica con un aumento hacia la base en magnitud (~90 a 182 cm).</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.Alza y posterior oscilación y aumento en la producción del lago y/o del input fuera del lago.</li> </ol>
IV	14,7 - 57,5	33,7	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.Descenso a valores oscilantes entre 15 y 40 (~182 - 250 cm).</li> <li>2.Descenso a valores cercanos a 25 con tendencia oscilante decreciente (~250 - 275 cm).</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.Baja y variaciones en la producción del lago y/o del input fuera del lago.</li> <li>2.Baja y posterior descenso oscilante en la producción del lago y/o del input fuera del lago.</li> </ol>
V	5,4 - 40,2	24,3	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.Ascenso hacia el techo con valores oscilantes entre 11,1 y 25 (~275 - 290 cm).</li> <li>2. Descenso oscilante hacia la base de 30 a 5,4 (~290 - 373 cm).</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.Alza oscilante en la producción del lago y/o del input fuera del lago.</li> <li>2.Baja oscilante en la producción del lago y/o del input fuera del lago.</li> </ol>
VI	2,6 - 15,6	6,6	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.Descenso hacia la base desde 15,6 a 2,6.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.Baja en la producción del lago y/o del input fuera del lago.</li> </ol>

Tabla 10: Tabla resumen de los porcentajes de materia orgánica y su posible interpretación para cada unidad.

#### 0.4.1.4. Material Clástico

Unidad	Rango M.C. (wgt. %)	Promedio M.C. (wgt. %)	Tendencia M.C. (wgt. %)	Interpretación
I	61,5 - 93,9	75,6	1. Ascenso desde el promedio al máximo hacia la base (~0 - 20 cm). 2. Oscilaciones entre el promedio y el máximo (~20 - 40 cm). 3. Ascenso al máximo hacia la base (~40 - 58,5 cm).	1. Alza en la descarga al lago. 2. Variaciones en la descarga al lago. 3. Alza en la descarga al lago.
II	44,5 - 91,6	74,6	1. Baja y ascenso entre 30 y 50 (~58,5 - 70 cm). 2. Ascenso hacia la base, valores entre 60 y 90 (~70 - 90 cm).	1. Baja y posterior alza en la descarga al lago. 2. Alza en la descarga al lago.
III	28,6 - 57,2	74	1. Baja a valores entre 40 y 80. Oscilación periódica con un descenso hacia la base en magnitud (~90 a 182 cm).	1. Baja y posterior oscilación y descenso en la descarga al lago.
IV	40,3 - 82,3	63	1. Alza en valores oscilantes entre 50 y 80 (~182 - 250 cm). 80 con tendencia oscilante ascendiente (~250 - 275 cm).	1. Alza y variaciones en la descarga al lago. 2. Alza y posterior ascenso oscilante en la descarga al lago.
V	56,4 - 91,4	71,8	1. Descenso hacia el techo con valores oscilantes entre 50 y 70 (~275 - 290 cm). 2. Ascenso oscilante hacia la base de 70 y 85 (~290 - 373 cm).	1. Baja oscilante en la descarga al lago. 2. Alza oscilante en la descarga al lago.
VI	81,5 - 96,1	91,2	1. Ascenso hacia la base desde 81,5 a 96,1.	1. Alza en la descarga al lago.

Tabla 11: Tabla resumen de los porcentajes de material clástico y su posible interpretación para cada unidad. El material clástico representa el porcentaje de materia inorgánica menos el de carbonatos. Por tanto, presenta una relación inversa con la materia orgánica (ver Fig.47).

Resumen de resultados para cada Unidad	
Unidad	Estructuras
I	MB, ES_U, CB, PL
II	MB, PL
III	MB, ES_U/P, CB, PL
IV	ES_U, PL, LS, LC
V	MB, CB, PL
VI	MB, CB, PL, DS

Eventos de alta energía y corto transporte con eventos de menor energía hacia el techo. Eventos de mediana energía y transporte relativamente similares en el resto de la unidad, cerrándola con un evento de alta energía. Escorrentía abundante y baja producción/input de materia orgánica. Eventual ambiente somero y perturbación de la estratigrafía original por estos eventos.

Eventos de mediana energía y transporte relativamente similares con algunos eventos de mayor energía. Cambio en condiciones energéticas hacia la base (transición a condiciones mayores). Escorrentía menor y mayor producción/input de materia orgánica en el techo, aumentando la escorrentía y disminuyendo la producción/input hacia la base. Eventual ambiente más profundo y tranquilo.

Eventos de alta energía y corto transporte intercalados con eventos de mediana/baja energía y transporte. Evento de mayor energía en la base de la unidad. Pequeña baja en la escorrentía para luego entrar a variaciones decrecientes hacia la base, así como un aumento en la producción/input de materia orgánica para luego oscilar con una tendencia creciente hacia la base. Eventual ambiente somero y perturbación de la estratigrafía original por estos eventos, en convivencia con sectores que reflejan un ambiente profundo y tranquilo.

Eventos de alta energía y corto transporte intercalados con eventos de mediana/baja energía y transporte con menor frecuencia con respecto a la Unidad III. Descenso energético hacia la base. Evento de mayor energía en la base de la unidad. Aza en la escorrentía y baja en la producción/input de materia orgánica, para luego entrar variaciones oscilantes ascendentes para la escorrentía y descendentes para la producción/input hacia la base. Eventual ambiente más profundo y tranquilo con sectores que reflejan perturbación de la estratigrafía original y un ambiente de mayor energía.

Eventos de muy alta energía y muy corto transporte. Intercalados con eventos de menor energía de forma más marcada con un aumento energético hacia la base. Ascenso oscilante en el techo de la escorrentía y descenso oscilante de la producción/input de materia orgánica, para luego descender la escorrentía y aumentar la producción/input hacia la base de forma oscilante. Eventual ambiente más profundo y tranquilo con sectores que reflejan perturbación de la estratigrafía original y un ambiente de mayor energía.

Eventos de mediana energía y transporte pasando a de baja energía y transporte hacia el sector medio (~400 cm) y de mayor energía y transporte con algunos de menor hacia la base. Ascenso en la escorrentía así como de aporte detrítico hacia la base, y descenso en la producción/input de materia orgánica. Eventual ambiente más profundo y tranquilo con sectores que evidencian deshielos someros.

Tabla 12: Tabla resumen de los resultados generales para cada unidad. MB: Estrato Masivo; ES\_U/P: Superficie de Erosión Ondular/Planar; CB: Estratificación Convoluta; PL: Laminaciones Paralelas; LS: Lentes; LC: Calcos de Carga; DS: Dropstone.

## 0.4.2. Integración de Proxies

Los patrones de distribución de tamaño de grano sugieren que los sedimentos de la Laguna del Viento poseen diferentes modas (unimodal, bimodal y trimodal en menor medida), siendo predominantemente unimodales y bimodales, y fluctuantes en el tiempo por lo que la distribución no es uniforme (Fig.49).

Al correlacionar las unidades con el modelo cronológico, se evidencia que la unidad I posee un límite superior correspondiente a edades modernas y uno inferior aproximado de 1.662 cal yr B.P. (Fig.48). La unidad II posee un límite superior aproximado de 1.662 cal yr B.P. y uno inferior de 2.933 cal yr B.P. La unidad III posee un límite superior aproximado de 2.933 cal yr B.P. y uno inferior de 5.625 yr B.P. La unidad IV posee un límite superior aproximado de 5.625 cal yr B.P. y uno inferior de 8.170 yr B.P. La unidad V posee un límite superior aproximado de 8.170 cal yr B.P. y uno inferior de 13.671 yr B.P. Y finalmente, la unidad VI posee un límite superior aproximado de 13.671 cal yr B.P. y uno inferior de 14.702 yr B.P. (considerando hasta los 400 cm únicamente debido al modelo cronológico).

En general se observa que la selección posee una correlación positiva con el tamaño de grano medio, indicando que para tamaños mas gruesos de grano la selección es más pobre (An et al., 2012; Fig.48).

Periodo	Rango (cal yr B.P.)	Selección	Asimetría	Curtois	Tamaño Promedio	Percentiles	SPAN
0	800 - Modernas	Pobre - Amplio rango de tamaños	Fina - Fracción fina subordinada a la central	Leptocúrtica - Mejor selección en el centro de la curva	Arena limosa - Transporte de mayor energía	Crecimiento conjunto - Aumento general de tamaño de grano	Entorno a 2 - No hay grandes diferencias en la selección
10	800 - 1.700	Pobre a moderada - Amplio rango de tamaños para luego acotarse	Simétrica con sectores gruesos y finos - Unimodal con sectores subordinadas	Muy platocúrticos a mesocúrticos - Mejor selección en los extremos y sectores en que poseen selecciones similares	Limo - Transporte de menor energía	Aumento del D90 - Eventos de mayor energía	Entre 5 y 6 con peaks cercanos a 100 - Pequeñas diferencias en la selección con sectores donde aumentan considerablemente
9	1.700 - 2.300	Pobre a moderada - Amplio rango de tamaños para luego acotarse	Gruesa con sectores simétricos - Bimodal, fracciones gruesas subordinadas a finas con sectores unimodales	Mesocúrticos a leptocúrticos - Selecciones similares a concentradas en el centro de la curva	Arena limosa - Transporte de mediana - mayor energía	Oscilación - Variación en los eventos energéticos	Entre 3 y 5,7,1 - Diferencias considerables en la selección. Co-existencia de fracciones distintas
8	2.300 - 2.700	Pobre a muy pobre - Amplio a muy amplio rango de tamaños	Simétrica a fina - Bimodal con sectores unimodales y fracciones finas subordinadas	Mesocúrtica con algunos valores leptocúrticos - Selecciones similares a concentradas en el centro de la curva	Limo con sectores de arena limosa - Transporte de menor energía con sectores de mayor	Oscilación - Variación en los eventos energéticos	Entorno a 5 con peaks cercanos a 50 - Pequeñas diferencias en la selección con sectores donde aumentan
7	2.700 - 5.650	Pobre a muy pobre - Amplio a muy amplio rango de tamaños	Simétrica a fina - Bimodal con sectores unimodales y fracciones finas subordinadas	Mesocúrtica - Selecciones similares	Arena fina y limo con sectores de limo - Transporte de mayor energía con sectores de menor	Crecimiento conjunto oscilante con D90 aumentando en la base - Aumento general de tamaño de grano de forma oscilante con un evento de mayor energía en la base	Entorno a 5 con peaks entre 20 y 30 - Pequeñas diferencias en la selección con sectores donde aumentan
6	5.650 - 7.400	Muy pobre - Muy amplio rango de tamaños	Fina con sectores de gruesa y muy fina - Bimodal con fracción fina y muy subordinada con sectores de gruesa subordinada	Mesocúrtica a leptocúrtica - Selecciones similares a concentradas en el centro de la curva	Arena fina y limo con sectores de arena media - Transporte de mayor y menor energía con sectores de mayor	Crecimiento conjunto oscilante con D90 aumentando en la base - Aumento general de tamaño de grano de forma oscilante con un evento de mayor energía en la base	Entorno a 5 con peaks entre 10 y 65 - Pequeñas diferencias en la selección con sectores donde aumentan
5	7.400 - 8.400	Pobre - Amplio rango de tamaños	Simétrica a fina - Unimodal con sectores bimodales y fracciones finas subordinadas	Mesocúrtica - Selecciones similares	Limo arenoso con sectores de limo - Transporte de menor energía con sectores de mayor	Ascenso individual del D90 - Evento de mayor energía. Peak asociados probablemente a los clastos	Entre 3 y 4 con un peak de 65 - Pequeñas diferencias en la selección con sectores donde aumentan
4	8.400 - 11.600	Pobre a muy pobre - Amplio a muy amplio rango de tamaños	Simétrica a fina - Unimodal con sectores bimodales y fracciones finas subordinadas	Mesocúrtica - Selecciones similares	Limo y limo arenoso - Transporte de menor energía y moderada	Descenso conjunto oscilante con peaks del D90 en la base - Descenso general de tamaño de grano y de energía, con sectores de mayor energía	Entre 3 y 4 con valores altos en sectores entre 20 y 60 - Pequeñas diferencias en la selección con sectores donde aumentan
3	11.600 - 14.000	Pobre - Amplio rango de tamaños	Fina - Fracción fina subordinada a la central	Mesocúrtica - Selecciones similares	Limo y sectores de limo arenoso - Transporte de menor energía con sectores de energía moderada	Descenso conjunto en toda la unidad con peaks de D90 - Descenso general de tamaño de grano y de energía, con sectores de mayor energía	Entre 3 y 4 con valores altos en sectores entre 20 y 60 - Pequeñas diferencias en la selección con sectores donde aumentan
2	13.200 - 13.700	Muy pobre - Muy amplio rango de tamaños	Simétrica - Unimodal	Platicúrtica a muy platocúrtica - Mejor selección en los extremos	Limo - Transporte de menor energía	Descenso conjunto en toda la unidad - Descenso general de tamaño de grano y de energía	Cercanos a 20,6 - Grandes diferencias en la selección
1	13.700 - >14.000	Pobre a muy pobre - Amplio a muy amplio rango de tamaños	Simétrica - Unimodal	Platicúrtica - Mejor selección en los extremos	Limo y sectores de fango - Transporte de menor energía con sectores de muy baja energía	Descenso conjunto con peaks del D90 en la base - Descenso general de tamaño de grano y de energía, con sectores de mayor energía	Entre 3 y 6 en toda la unidad con valores altos en sectores entre 10 y 40 - Pequeñas diferencias en la selección con sectores donde aumentan

Tabla 13: Tabla resumen de los diversos periodos identificados en el testigo y sus parámetros. Parte 1.

M. Orgánica y Clástico	Estructuras	Estratificación	Curva Relacionada	Interpretación Sedimentológica
Baja producción/Input de M.O. y alto M. C. - Alta escorrenita	MB, CB y ES_U - Alta energía, flujos turbulentos	Masiva, Difusa - Alta energía, perturbación de estratificación primaria	Fluvial y/o Glaciofluvial	Ambiente más bien somero, sometido a condiciones energéticas mayores y mayor descarga. Posible periodo seco con episodios de alta escorrenita (lluvias torrenciales, incursiones de tormentas)
Baja producción/Input de M.O. y alto M. C. - Alta escorrenita	MB, CB y PL - Alta energía, flujos turbulentos con sectores calmos y de baja energía	Convoluta, Laminar y Masiva - Sectores de alta energía y flujos turbulentos con sectores de menor energía y flujos laminares	Fluvial y Lacustre	Ambiente más profundo y calmo con episodios de mayor energía y descarga. Posible periodo de condiciones más frías/de baja producción con condiciones de sobreflujo
Alta producción/Input de M.O y bajo M.C. - Baja escorrenita	PL - Baja energía	Laminación - Baja energía, flujos laminares	Lacustre y Eólica	Ambiente variable con predominancia de condiciones más bien calmas y profundas, menor escorrenita y aportes eólicos. Posibles condiciones más húmedas y ambiente más bien transicional
Baja producción/Input de M.O. y alto M. C. - Alta escorrenita	MB, PL y ES_U - Baja energía, y sectores calmos y con sectores de mayor energía	Laminación, Masiva, Paralela Difusa - Sectores de baja energía y flujos laminares, con sectores de mayor energía y perturbación de estratificación paralela	Fluvial y/o Glaciofluvial	Ambiente más profundo y calmo, sometido a periodos cortos de mediana escorrenita que habrían perturbado la estratigrafía. Posible periodo de condiciones más frías
Alza producción/Input de M.O. y baja M. C. sometidas a variaciones periódicas - Baja escorrenita sometida a variaciones	MB, CB, PL, ES, U/P - Alta energía, flujos turbulentos con sectores calmos y de baja energía	Difusa a Semidifusa de posición variable - Eventos de mayor energía y flujos turbulentos que han perturbado la estratificación paralela/no paralela	Eólica y Fluvial	Ambiente más bien somero, sometido a condiciones energéticas mayores y mayor descarga de forma periódica pero con escorrenita escasa. Posible ambiente seco con episodios más energéticos (tormentas) que habrían perturbado la estratigrafía. Presencia de pequeños clastos angulosos que habrían de corto transporte
Baja en la producción/Input de M.O. y alza en el M. C. sometidas a variaciones periódicas de menor magnitud que el P7 - Mayor escorrenita	PL, LS, LC - Baja energía con sectores menores de mayor energía de corta duración	Laminación semidifusa - Eventos de menor energía y flujos laminares con eventos de mayor energía y perturbación de la estratificación previa	Eólica, Fluvial, Lacustre, Glaciar	Ambiente variable entre crecimientos del lago y periodos más secos, en general de escorrenita corta reflejando variaciones de temperatura constantes. Transporte de clastos con retraso probablemente de circo adyacentes. Posible periodo de condiciones más áridas y calidas
Baja producción/Input de M.O. y alto M. C. - Alta escorrenita	PL, CB y ES_U - Baja energía con sectores de alta energía	Paralela horizontal, Difusa, Convoluta - Eventos de menor energía y flujos laminares con eventos de mayor energía y flujos turbulentos	Eólico y Fluvial	Ambiente variable con eventos cortos, que muestran sectores someros y calmos con cambios a condiciones de mayor escorrenita y energía hacia la base. Posible acción de tormentas. Reflejo de los eventos cortos de escorrenita se ve en el clasto encontrado
Alza producción/Input de M.O. y baja M. C. sometidas a variaciones periódicas - Baja escorrenita sometida a variaciones	PL - Baja energía	Estratificación horizontal y laminación - Eventos de menor energía y flujos laminares	Lacustre	Ambiente calmo y de profundidad intermedia, con menor escorrenita, sometido a eventos aislados de mayor energía y escorrenita. Variados cambios estacionales. Menor presencia de clastos
Baja producción/Input de M.O. y alto M. C. - Mayor escorrenita	PL, CB - Baja energía con sectores de mayor energía	Laminar y Laminar por intercalación - Eventos de menor energía y flujos laminares con eventos ligeramente mayores en energía y flujos turbulentos	Lacustre y Fluvial	Ambiente calmo y más profundo con eventos cortos de menor escorrenita. Posible periodo de condiciones más frías
Baja producción/Input de M.O. y alto M. C. - Mayor escorrenita	CB - Alta energía y perturbación de la estratificación primaria, flujo turbulento	Laminar y Laminar por intercalación - Eventos de menor energía y flujos laminares con eventos ligeramente mayores en energía y flujos turbulentos	Lacustre y Fluvial	Ambiente de corta duración dentro del P3, que refleja un cambio a condiciones energéticas mayores y de mayor escorrenita. Posible periodo de mayor calidez
Muy baja producción/Input de M.O. y muy alto M. C. - Mayor escorrenita	MB, CB, PL, DS - Alta energía, flujos turbulentos con sectores calmos y de baja energía. Evidencia de deshielo	Laminación - Baja energía, flujos laminares	Glaciar, Lacustre y Eólico	Ambiente somero y calmo con periodos cortos repetidos de escorrenita mayor posiblemente por deshielos y aportes de mayor energía glaciofluviales de los alrededores, reflejados en la naturaleza de clastos redondeados encontrados. Posible periodo de condiciones más frías

Tabla 14: Tabla resumen de los diversos periodos identificados en el testigo y sus parámetros. Parte 2.

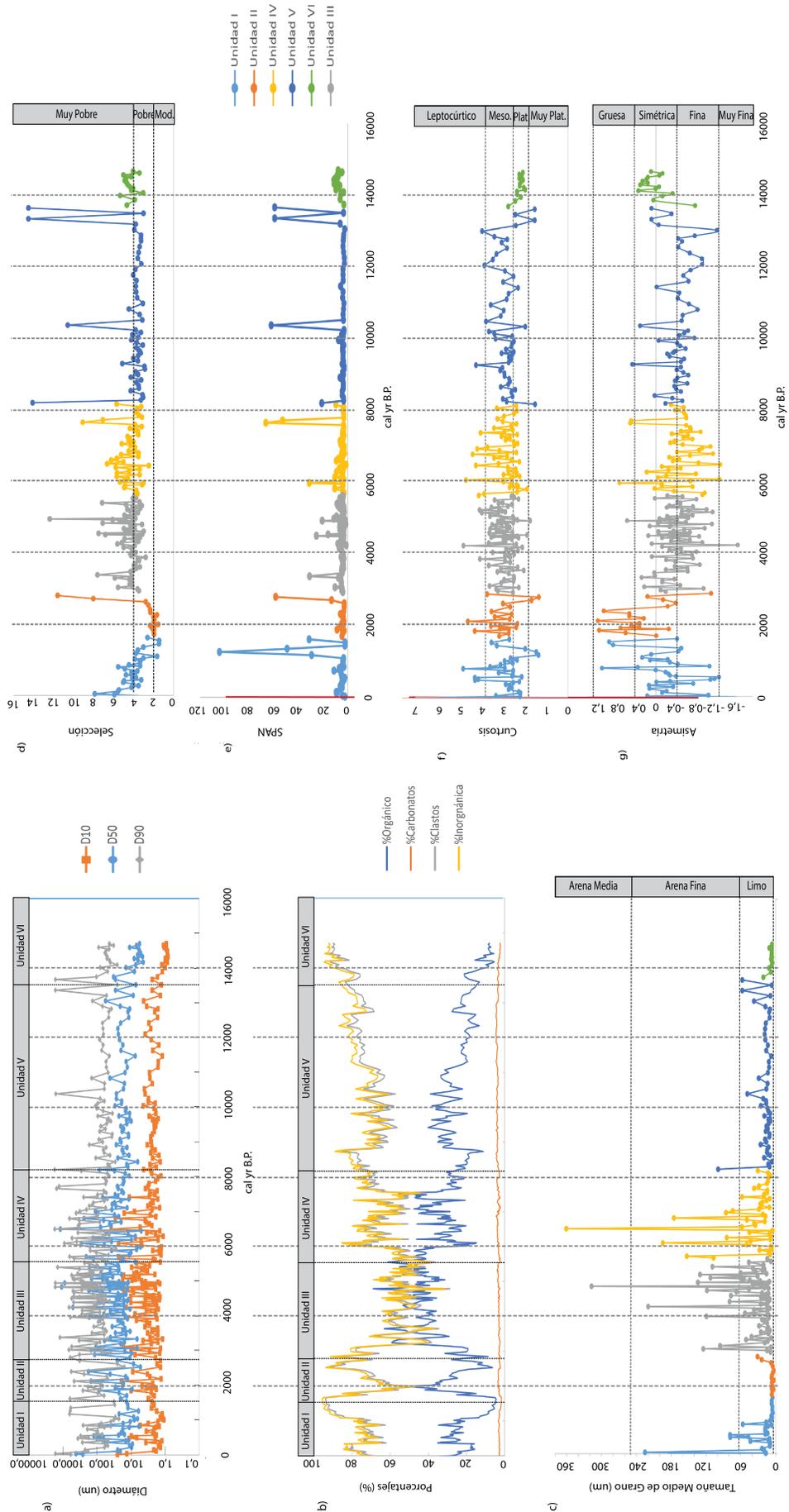


Figura 48: Gráficos de edad vs: (a) percentiles; (b) materias; (c) tamaño de grano medio; (d) selección; (e) SPAN; (f) curtosis; (g) asimetría.

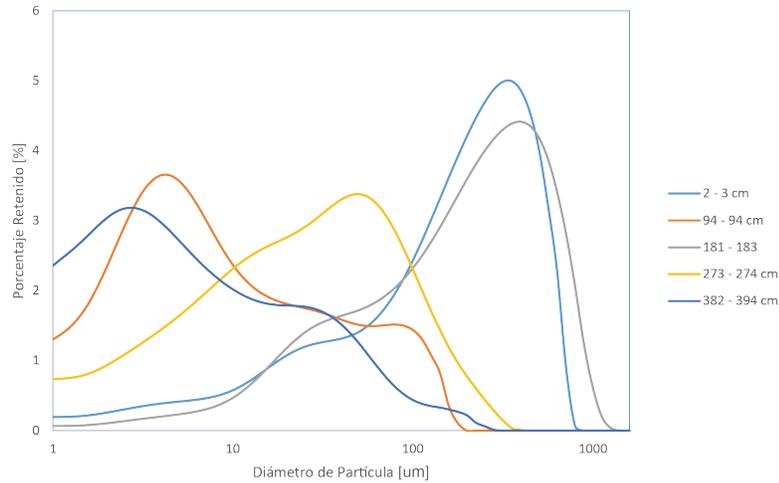


Figura 49: Gráfico de tamaños de grano correspondientes a muestras representativas para la Laguna del Viento. Celeste: unimodal y muy pobre selección (Unidad I); Naranja: bimodal y muy pobre selección (Unidad III); Gris: unimodal y pobre selección (Unidad IV); Amarillo: unimodal y muy mala selección (Unidad V); Azul: unimodal y muy pobre selección (Unidad VI).

#### 0.4.2.1. Presente - 5.650 cal yr B.P.

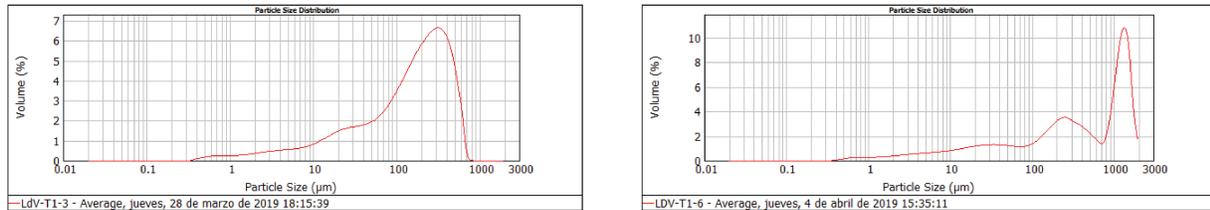


Figura 50: Curva de distribución de tamaño de grano para las muestras cercanas a los 40 cal yr B.P.

El testigo hacia el techo comienza con porcentajes medios - bajos (40 - 20%) de materia orgánica así como un gran *input* de materia inorgánica, los tiempos contemporáneos. Esto va acompañado con un aumento sustantivo en el tamaño medio de grano, que se refleja en la litología del testigo, siendo mayoritariamente arena limosa este tramo.

La asimetría es predominantemente fina así como una curtosis leptocúrtica, indicando una concentración en una población predominante (arena en este caso) con una población subordinada que sería el limo reflejado en la asimetría fina. A su vez, estos parámetros son característicos de las arenas (Friedman, 1962; Mason y Folk, 1958).

An et al. (2012) realizó una recopilación bibliográfica de curvas de tamaño de grano típica para diversas fuentes de material. Esta se puede ver en la Fig.51.

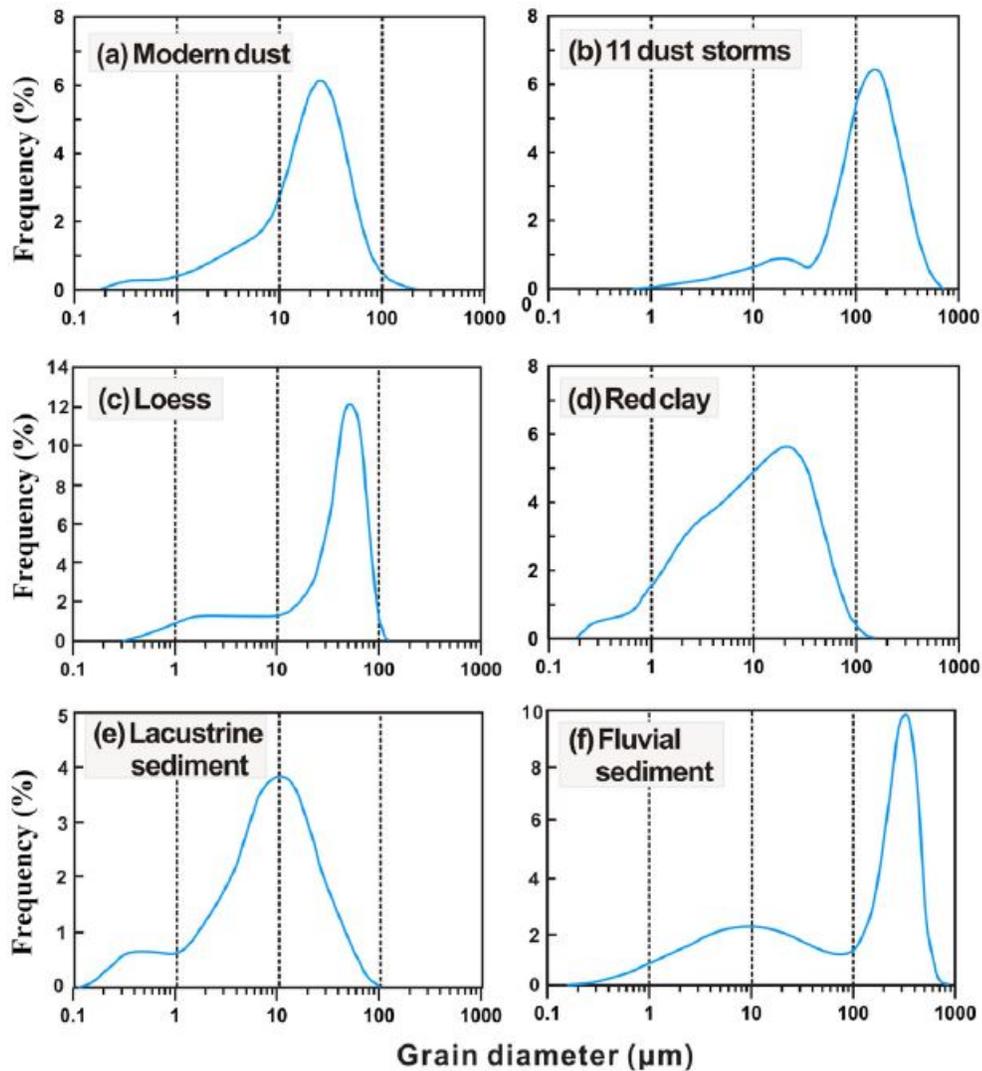


Figura 51: Curvas de distribución de tamaño de grano típicas recopiladas por An et al. (2012): (a) datos de Jian y Ding (2010); (b) datos para 11 materiales de tormentas de polvo en la cuenca de Qaidam, de Qjang et al. (2010a); (c) datos para la sección de loess Yulin de Sun et al. (2002); (d) datos de Jiang y Ding (2010); (e) datos de Sun et al. (2001); (f) datos de Sun et al. (2002). Todos los datos que incluyen depósitos eólicos (a, c y d) muestran claramente un primer pico modal entre los 10 y 100  $\mu\text{m}$ , mientras que el diámetro de partícula de las tormentas de polvo es más grueso (b). Otros tipos de picos no representan origen eólico (e y f).

A su vez en este trabajo se incluye información a partir del trabajo de Clare (2017), quien llevo a cabo un análisis granulométrico en depósitos de till y outwash:

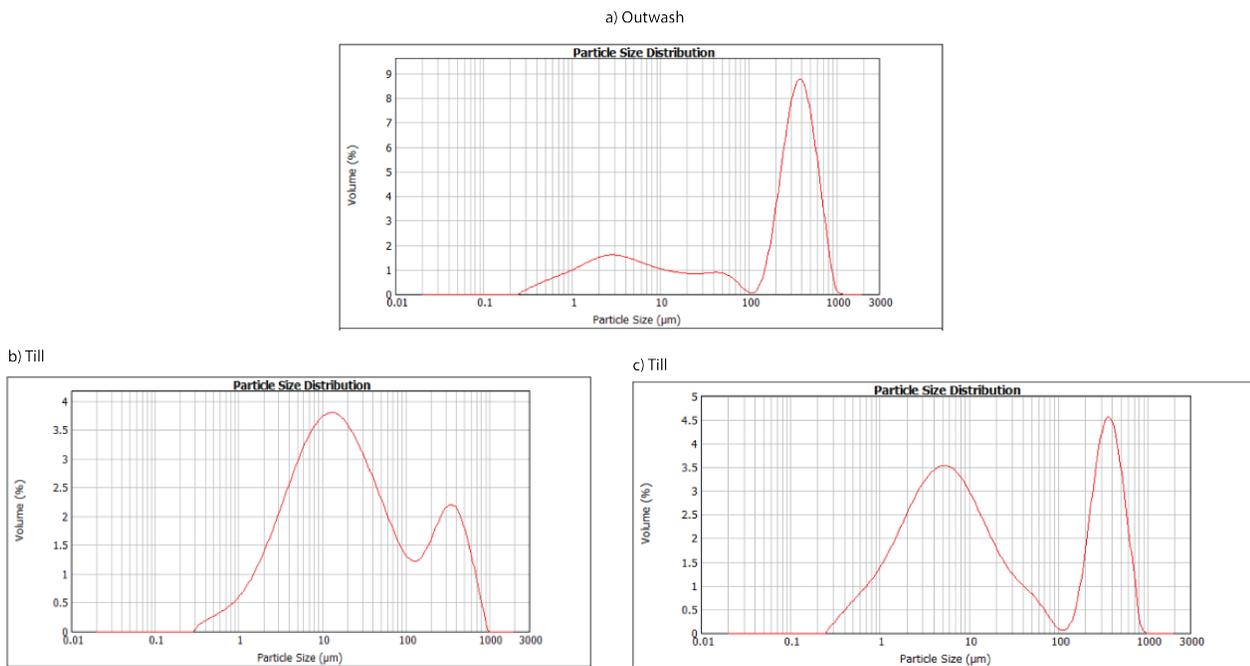


Figura 52: Curvas de distribución de tamaño de grano de muestras de outwash (a) y till (b y c) por Clare (2017).

Esta parte superior (Fig.50) podría asignarse a las zonas que reciben un aporte más somero de los lagos, así como de un medio de mayor energía que relacionándose con los gráficos expuestos por An et al. (2012), podría asociarse un aporte fluvial o fluvio-glacial (Yuanda et al., 2018; Fig.51 y Fig.52), junto con los valores de asimetría y carácter bimodal de los sedimentos (Reineck y Singh, 1973). A su vez, las estructuras reconocidas como estratos masivos y superficies de erosión dan testimonio de una fuente de energía mayor, y por tanto, una mayor escorrentía hacia la laguna, lo que se sugiere, podría ser producto de deshielos estivales (Fig.48).

Conjuntamente, el tamaño de grano promedio muestra valores altos (cerca de los 200 µm) así como de mala selección indicando condiciones energéticas altas y más cálidas.

Estas variaciones en los porcentajes de materias presentes en la laguna son indicadores del entorno de esta en dicho momento. Cambios en la temperatura y productividad primaria son factores importantes que controlan la producción de materia orgánica y carbonatos (Hodell et al., 1999).

Posterior a estos valores, los valores de materia orgánica bajan abruptamente a valores menores al 20 %, indicando una baja en la producción de la laguna y/o su entorno con un incremento en la materia inorgánica, junto a una reducción en el tamaño de grano y valores simétricos, acompañada de distribución mesocúrtica .

Diez periodos (ver Tabla 13, Fig.46 ) se distinguieron luego de las condiciones más modernas para este testigo, a partir de puntos de cambio importantes reflejados en la estratigrafía (variaciones energéticas por ejemplo), en los parámetros granulométricos (variaciones la selección, asimetría, etc.), así como de materia orgánica y material clástico (cambios en la producción y esorrentía). Un primer periodo (P10, dentro de 10 detectados desde el más antiguo al más nuevo, siendo este el más reciente en escala temporal) se distingue entre las edades 800 - 1.700 cal yr B.P. en el que se observa una baja considerable en el tamaño de grano promedio (Fig.48), llegando a los valores más bajos de tamaño limo que se mantienen hacia los finales de la unidad II, cercano a los 2.800 cal yr B.P., para luego subir drásticamente a los dominios de la arena fina. A la vez, los valores de los percentiles (D10, D50, D90) que venían mostrando tendencias similares, se escinden en este sector mostrando valores de diámetro bajos en el percentil D10 con respecto al D50 y D90, resultando en una peor selección con respecto a sus valores predecesores. Posterior a esto en la unidad II estos valores tienden a estabilizarse nuevamente.

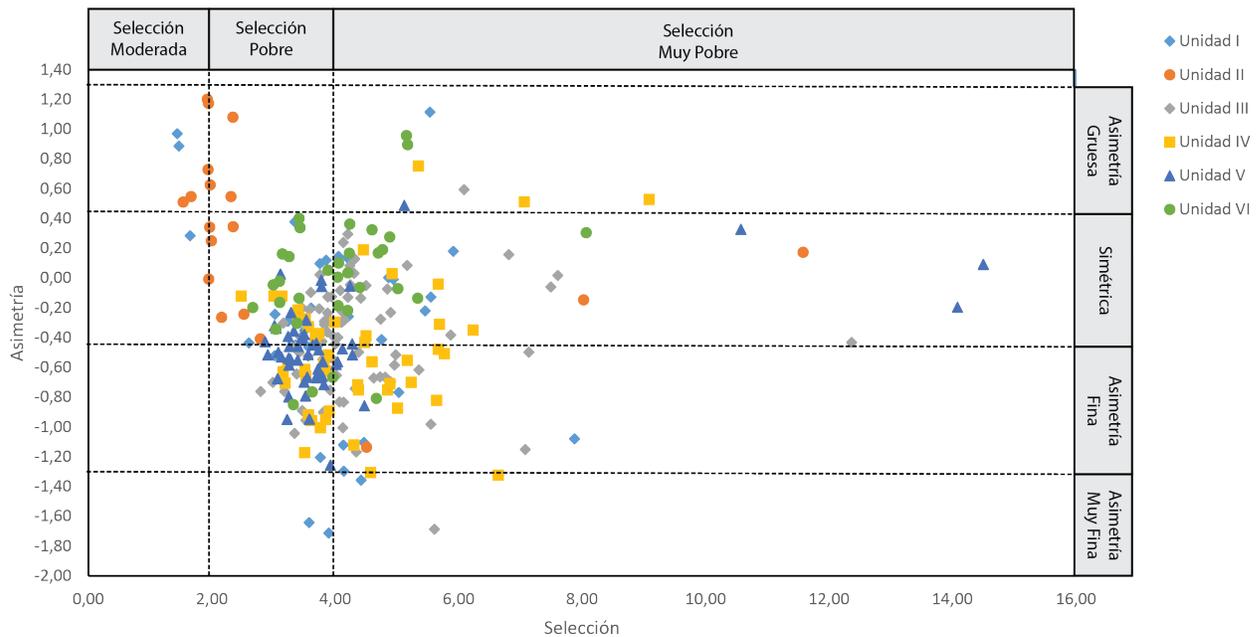


Figura 53: Gráfico de Asimetría vs Selección para las unidades de la Laguna del Viento.

La selección se mueve de moderada a pobre tendiendo a estabilizarse hacia la unidad II, finalizándola como una selección muy pobre que destaca antes de comenzar la siguiente unidad; a su vez el SPAN muestra un pico significativo durante el periodo de 800 - 1.700 cal yr B.P., así como hacia el final de la unidad II con un valle entre ambos. Esto reafirma

el carácter bimodal de los sedimentos (sugiriendo al menos dos fuentes) de la Laguna del Viento; por otra parte, los sedimentos finos y gruesos tienden a mostrar una selección más pobre con respecto a las arenas finas (Inman, 1949; Folk y Ward, 1957; Folk, 1966).

Los valores de curtosis para el P10 a su vez se desplazan desde muy platicúrticos a mesocúrticos; esto implica una amplia gama de diámetros por los inicios del periodo, indicando una mejor selección en los extremos de la curva que en la parte central, para luego pasar a una distribución normal con una selección más o menos constante a lo largo de esta. Este comportamiento se vuelve a repetir hacia el final de la unidad II.

Por su parte la asimetría para el P10 indica un desplazamiento desde la fracción gruesa a fracción fina de forma oscilatoria, ubicándose mayormente en el área simétrica con una tendencia hacia la fracción fina, y por tanto, un aporte subordinado de gruesos hacia el final de este. Hacia la unidad II (Fig.53) la asimetría muestra una tendencia desde una “cola” de fracción gruesa hacia una “cola” de fracción fina, indicando un ligero desplazamiento hacia estos valores, aunque sigue siendo oscilante llegando a valores negativos (“cola” en fracción fina) en su inicio por los 2.800 cal yr B.P.

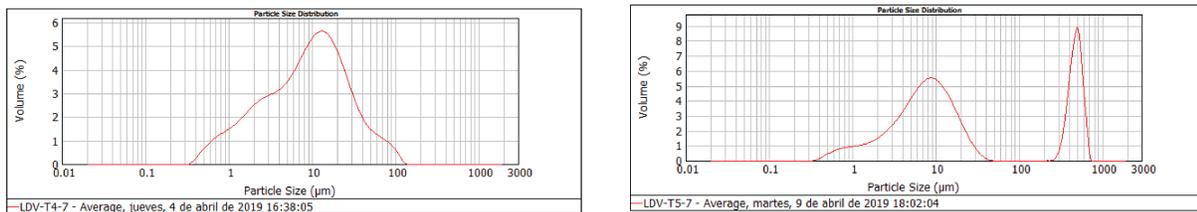


Figura 54: Curva de distribución de tamaño de grano medio representativas para las muestras a las profundidades de 40 y 51 cm (Unidad I).

Finalmente, los valores de materia orgánica muestran una importante baja de techo a base, llegando a valores menores al 10% hacia el fin de este periodo (P10), con un consecuente incremento en el material clástico hasta valores cercanos al 95%, una baja en el porcentaje de carbonatos (menos al 2%), un incremento de la densidad del sedimento en este tramo, así como un incremento en la tasa de sedimentación llegando a valores entre 0,7 y 4,8 gr/cc\*100yr (el máximo del testigo, Tabla 18).

Esto podría sugerir que la producción del lago bajó durante este periodo, o un aumento en la descomposición de la materia orgánica. Esto se podría deber a que la laguna luego de los inicios del P10 volvió a sus condiciones de sobreflujo por un incremento de deshielos a esta zona, o que el lago estaba estacionalmente bajo y fue disecado posteriormente (Abbott et al., 1997; Hodell et al., 1999). Lo primero se afirma en el incremento del *input* de material fino, que en este caso tendría que ser de origen fluvial/glaciar, produciendo el incremento en la tasa de acumulación y reduciendo la productividad del lago. El obstáculo está en determinar el origen del sedimento, ya que este se encuentra sujeto a procesos erosivos antes de llegar a su estadio final dentro de la laguna, pues los sedimentos muestran un comportamiento fluvial-lacustre (Fig.54). La segunda opción implica que el lago estaría estacionalmente bajo y/o disecado durante una temporada seca en el periodo. Si esto fuera cierto, se esperaría encontrar una baja en la tasa de acumulación debido a pérdida de sedimento por deflación cuando el lago estaba disecado, lo cual no se observa en este tramo para la Laguna del Viento, ocurriendo totalmente lo contrario (Abbott et al., 1997). La primera opción, que sería la más viable, implicaría una baja en las temperaturas (Saarse, 2015; Hodell et al., 1999).

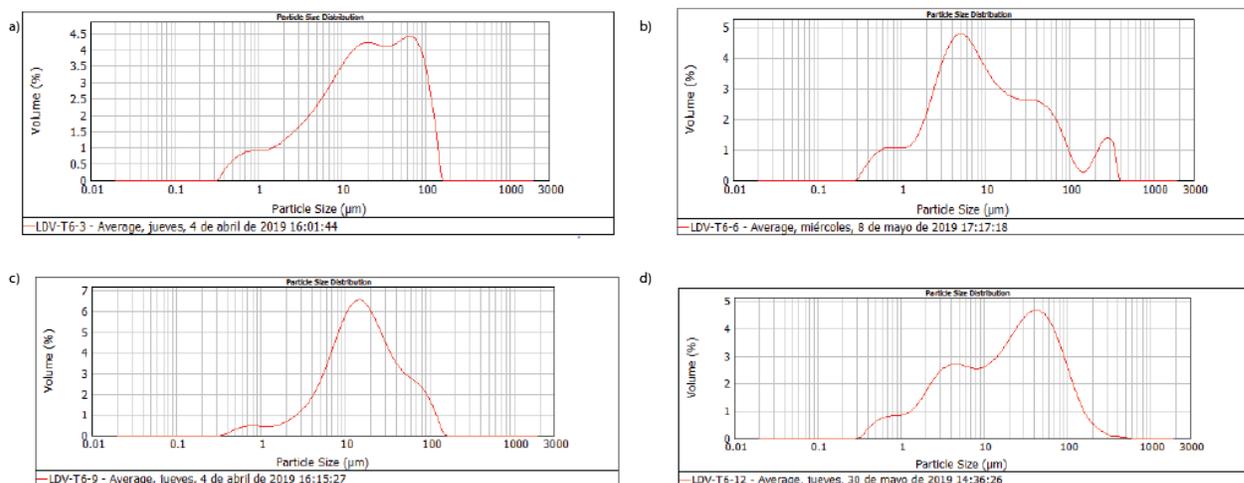


Figura 55: Curva de distribución de tamaño de grano representativas para las muestras a las profundidades de 61 (a); 64 cm (b); 67 cm (c) y 70 cm (d). Unidad II.

Entre los 2.300 y 1.700 cal yr B.P. (P9), el porcentaje de materia orgánica aumenta a valores altos y se produce una baja de material inorgánico, así como en la tasa de sedimentación de materia inorgánica que incrementa hacia el presente junto con un cambio de asimetría fina a simétrica y gruesa, indicando un aporte mayoritario de finos con gruesos subordinados, variaciones de bajas a altas en las condiciones energéticas y un aumento en la producción de materia orgánica, existiendo condiciones más húmedas. Los valores de curtosis son esencialmente meso a leptocúrticos indicando una concentración dirigida hacia variaciones de una a más poblaciones de sedimentos. La densidad del volumen total es relativamente baja y se observa laminación paralela lo que reafirma el ambiente calmo y más profundo.

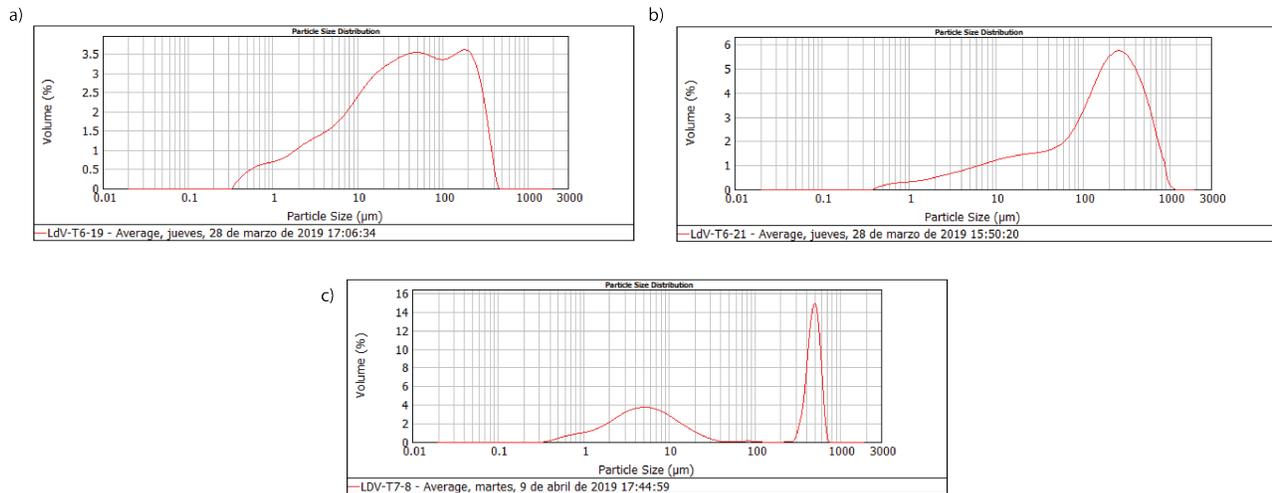


Figura 56: Curva de distribución de tamaño de grano representativas para las muestras a las profundidades de 77, 79 y 88 cm. Unidad II.

Las curvas de frecuencia de tamaño de grano muestran un comportamiento mixto presentando sedimentos lacustres y eólicos (Fig.55).

Probablemente este periodo refleja la transición desde el anterior que comenzó a los 2.700 cal yr B.P. al que vendría luego de los 1.700 cal yr B.P.

Anterior a esto, entre los 2.300 a 2.700 cal yr B.P. aproximadamente (P8), la materia orgánica vuelve a sufrir una baja así como un ligero aumento en la tasa de sedimentación, indicando condiciones de mayor escorrentía. Predomina la laminación y una densidad de volumen de sedimento menor recordando a los depósitos de varvas en los lagos, indicando un ambiente lacustre más bien profundo y calmo. Todo dentro de un tamaño de grano limo con algunos sectores de arena limosa. Al inicio del periodo, se observa una selección alcanza sus mejores valores estando cercanos a la selección moderada, a la vez que predomina una asimetría gruesa y una curtosis mesocúrtica a ligeramente leptocúrtica. A medida que se desarrolla este P8, existe un cambio hacia una selección pobre a muy pobre, una asimetría gruesa a simétrica-fina, una curtosis mesocúrtica a platicúrtica, así como un ligero aumento en la densidad del volumen. Además, la laminación pasa a ser inclusive milimétrica. Por otra parte, se detecta un aumento en la tasa de sedimentación que si bien no es de la misma magnitud que las tasas durante los tiempos más modernos es significativa (Tabla 18).

Este periodo podría corresponder a uno similar al ocurrido posteriormente durante el P10, pero a menor escala, dado que las curvas granulométricas tienen un comportamiento similar (Fig.54 y Fig.56), así como presentar escalas de energía similar (relativamente bajas) evidenciando lo que sería una baja en la escorrentía y eventuales bajas de temperatura. Cabe destacar que Warrier et al. (2016) asocia valores de asimetría fina a muy fina con selecciones pobres a muy pobres para el periodo correspondiente a la última glaciación en su estudio de sedimentos lacustres, por lo que inclusive podría haber existido un avance glaciario, aunque se necesitan más estudios para corroborar esto. La transición presente entre las asimetrías y curtosis entre estos periodos podría asociarse a los procesos erosivos que experimentan los sedimentos antes de llegar a la zona de captación.

Durante la edad aproximada de 2.700 cal yr B.P. hasta las cercanías de los 5.650 cal yr B.P. (P7), se observa un alza importante de materia orgánica y carbonatos, así como una baja en el material clástico, sin embargo, esta vez los carbonatos no presentan una relación clara con la materia orgánica como la que tenían anteriormente. A lo largo de este periodo de tiempo estos experimentan variaciones periódicas, mas no iguales en magnitud. Junto a esto un alza importante se identifica también en el tamaño de grano medio teniendo mayor aporte de arena fina y media entre el limo característico de este testigo.

Las estructuras en este tramo del testigo indican variaciones energéticas teniendo desde laminaciones a estratos masivos con estratificación convoluta.

Una baja en la densidad del volumen total también es característica de este periodo así como bajas tasas de sedimentación de material inorgánico (entre 0,3 a 0,5 gr/cc\*100yr) que incrementan hacia edades más tempranas. La selección oscila de pobre a muy pobre, así como una curtosis predominantemente mesocúrtica. Los valores de asimetría se concentran en el sector simétrico y fino. Este periodo representa uno en que el transporte de sedimento es llevado a cabo por agentes de mayor energía con respecto a los últimos, así como de mayor productividad primaria. La simetría simétrica y fina representa tamaños de grano variados y una fracción fina subordinada a material grueso en los sectores de asimetría fina, reafirmando lo observado en el tamaño de grano medio.

En resumen, la materia orgánica alta y variable indica una alta producción con variaciones durante este periodo, la tasa de sedimentación baja indica menor escorrentía y un probable incremento de las condiciones áridas para luego cambiar a mayor escorrentía y condiciones más húmedas y la selección variaciones energéticas de mayor escala (similar a lo visto en las estructuras) así como poblaciones de granos variadas por el resto de los parámetros granulométricos. Estos proxies indicarían un alza en las condiciones áridas con variaciones importantes que no se veían en las edades posteriores, a la vez de un aumento en la escorrentía esporádicamente, experimentando variaciones a lo largo de este tramo que indican que no es estática en el tiempo, teniendo periodos de mayor y menor escorrentía que se ven expresados en los cambios observados.

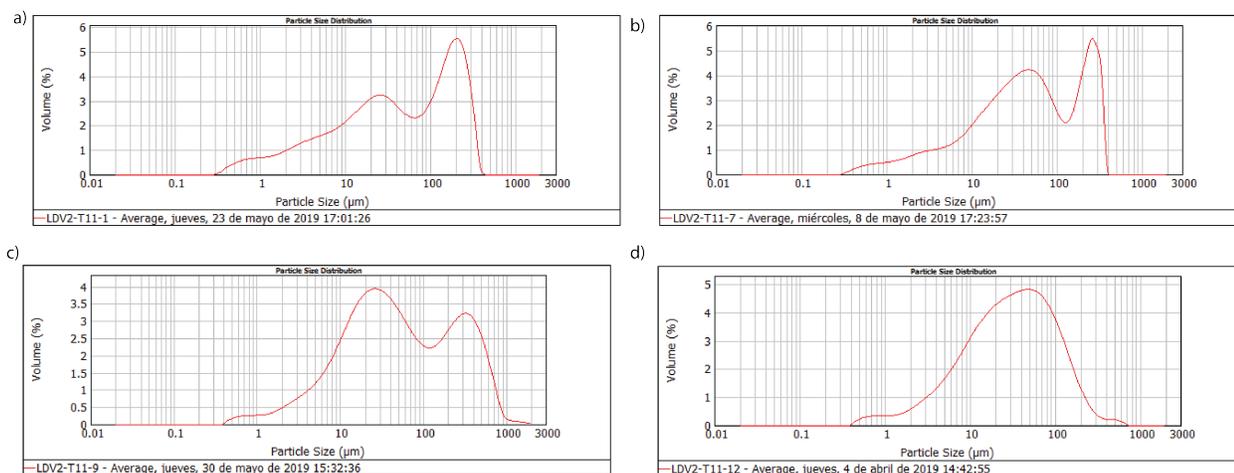


Figura 57: Curva de distribución de tamaño de grano representativas para las muestras a las profundidades de 149 cm (a); 155 cm (b); 157 cm (c) y 160 cm (d). Unidad III.

Patrones bimodales predominan en este tramo indicando al menos dos fuentes con algunos sectores bimodales a unimodales. En la Fig.57 se pueden apreciar las diversas modas. Especialmente se distingue lo que podría ser un componente eólico, que se caracteriza por poseer una marcada moda entre los 10 y 100  $\mu\text{m}$  como se puede apreciar en la recopilación de An et al. (2012; Fig.51), junto con curvas características de comportamiento fluvial (modas entre 1 a 100 y 100 y 1.000  $\mu\text{m}$ ). Estos sectores donde las curvas sugieren un marcado aporte eólico podrían corresponder a periodos predominantemente secos en los que este tipo de transporte tendría predominancia.

Por otra parte, la estratigrafía es masiva a difusa en este tramo, sustentando mayores variaciones energéticas así como contactos erosivos principalmente en los sectores donde la materia orgánica baja de forma significativa, lo que podría indicar cierta acción de tormentas. Hacia el final se observan sectores de laminación paralela dando testimonio de cambios composicionales de cortos periodos de vida.

#### 0.4.2.2. 5.650 cal yr B.P. - 11.600 cal yr B.P.

Desde la edad aproximada de 5.650 cal yr B.P. (cerca de los 180 cm) hasta el fin del testigo se observa una clara tendencia decreciente con la profundidad en cuanto a la materia orgánica, con un consecuente incremento de material clástico. Por otra parte, los carbonatos experimentan un aumento hasta los 350 cm luego de los cuales comienza a descender progresivamente.

Un comportamiento similar al observado entre las edades del P7 se observa entre los 5.650 y 7.400 cal yr B.P (P6) aproximadamente (250 cm de profundidad), con la diferencia que la cantidad de materia orgánica es menor indicando una menor producción, presentando las mismas variaciones periódicas de distinta y menor magnitud. Las variaciones cíclicas se dan cada 430 cal yr B.P. en promedio con muy bajas tasas de sedimentación (alrededor del 0,3 - 0,5 gr/cc\*100yr) lo que indicaría condiciones predominantes de aridez. A su vez se observa un ligero aumento en el porcentaje de carbonatos presentando variaciones similares con un cambio hacia los 6700 cal yr B.P aproximadamente, presentando una relación inversa con la materia orgánica. Este aumento paulatino de los carbonatos podría indicar un ligero aumento en las temperaturas ya de por si cálidas de acuerdo a lo descrito por Boggs (2006).

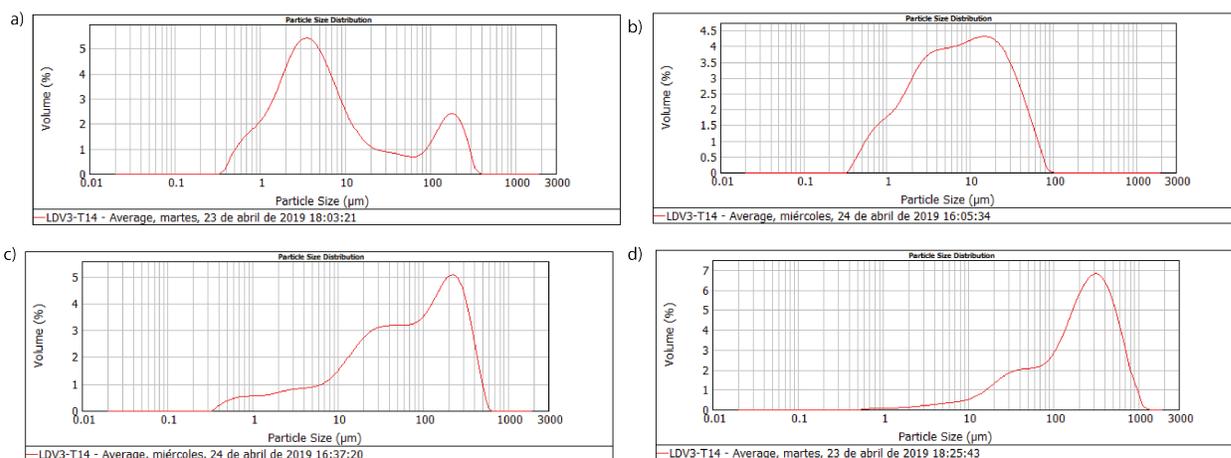


Figura 58: Curva de distribución de tamaño de grano representativas para las muestras a las profundidades de 194cm (a); 202 cm (b); 216 cm (c) y 226 cm (d). Unidad IV.

La densidad del sedimento incrementa durante este periodo de tiempo, siendo abundante las laminaciones de diversa densidad a lo largo de este, así como de baja potencia (milimétricas), indicando variaciones de temperatura y/o composicionales en cortos periodos de tiempo característicos de los lagos, siendo mayormente capas ricas en materia orgánica (oscuras) y pobres en esta (claras). El aporte clástico aumenta significativamente en algunas láminas, pudiéndose distinguir en la imagen de Rayos-X pequeños granos (milimétricos) en ciertas secciones del testigo. Como se mencionaba en la sección de resultados, estos se ven angulosos por lo que se infiere un periodo corto de transporte.

El tamaño de grano es ligeramente superior al periodo descrito anteriormente, predominando la arena fina y limo con algunos sectores aislados de arena media indicando cambios energéticos variables. La selección es muy pobre con algunas variaciones a pobre alcanzándose en este periodo la mayor acumulación de valores altos. La curtosis es mesocúrtica a leptocúrtica con una asimetría predominantemente fina con algunas variaciones gruesas y muy finas, predominando una fracción gruesa con una fracción fina subordinada. Los diámetros, correspondientes a los percentiles, crecen de forma conjunta excepto hacia los 7.400 cal yr

B.P. en los que la fracción gruesa predomina.

Por otra parte, en la Fig.58 se ven comportamientos variados de las curvas a lo largo de las intercalaciones, mostrando tanto aportes eólicos, fluviales (presencia de lentes, contactos erosivos), lacustres y glaciares.

Estos proxies en conjunto indican un periodo más cálido y árido reflejado en el alza de la materia orgánica, así como la baja en el material clástico y en las tasas de sedimentación. Los clastos reflejan un transporte corto, pero no del todo cercano por el grado de angulosidad y tamaño, probablemente de derretimientos de hielos de los circos circundantes. Se muestra un incremento en las condiciones energéticas a lo largo de los periodos, dadas por los ciclos donde el tamaño de grano aumenta significativamente, así como las pobres selecciones y asimetría fina. Junto con esto, lo delgado de las laminaciones refleja cortos periodos de escorrentía, así como podría ser un crecimiento esporádico en los niveles del lago. Por otra parte, el periodo cálido habría experimentado variaciones en la temperatura a lo largo de este espacio de tiempo, dado por las diferencias de densidad en las laminaciones.

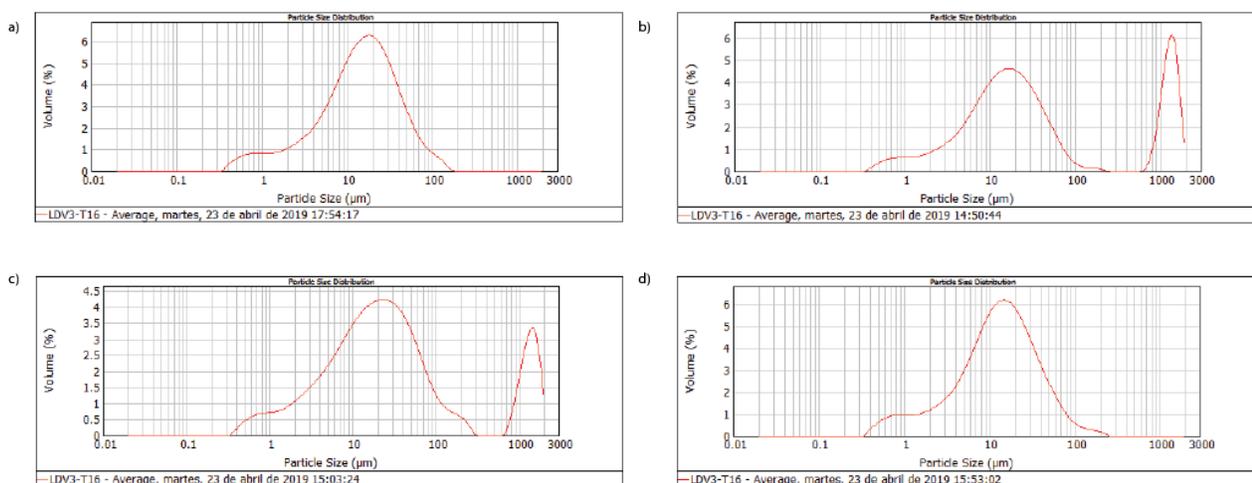


Figura 59: Curva de distribución de tamaño de grano representativas para las muestras a las profundidades de 251 cm (a); 259 cm (b); 261 cm (c) y 271 cm (d). Unidad IV.

Entre los 7.400 y 8.400 cal yr B.P. aproximadamente (P5) se observan variaciones en un rango de porcentajes relativamente bajos de materia orgánica, así como una baja en los carbonatos. Existe un incremento considerable en el material clástico reflejado en un clasto encontrado (Fig.60) y tasa de sedimentación de materia inorgánica (entre 0,6 a 1,0 gr/cc\*100yr progresivamente). La litología del clasto, a pesar de estar alterada de forma considerable, da luces de un protolito granitoide, similiar a la de los afloramientos descritos en esta zona.

Una reducción en el tamaño de grano en forma conjunta se observa en todos los percentiles

de forma similar. Selección pobre, simetría simétrica a fina y valores de curtosis mesocúrticos son predominantes en este periodo. Una mayor densidad de volumen total destaca entre estas edades, con un marcado paso de un estrato denso y masivo con estratificación convoluta a lo que sería el comienzo de las laminaciones en estratos menos densos que marcarían el P5. Algunos picos aislados en los valores de SPAN (probablemente asociados a clastos presentes en el testigo).

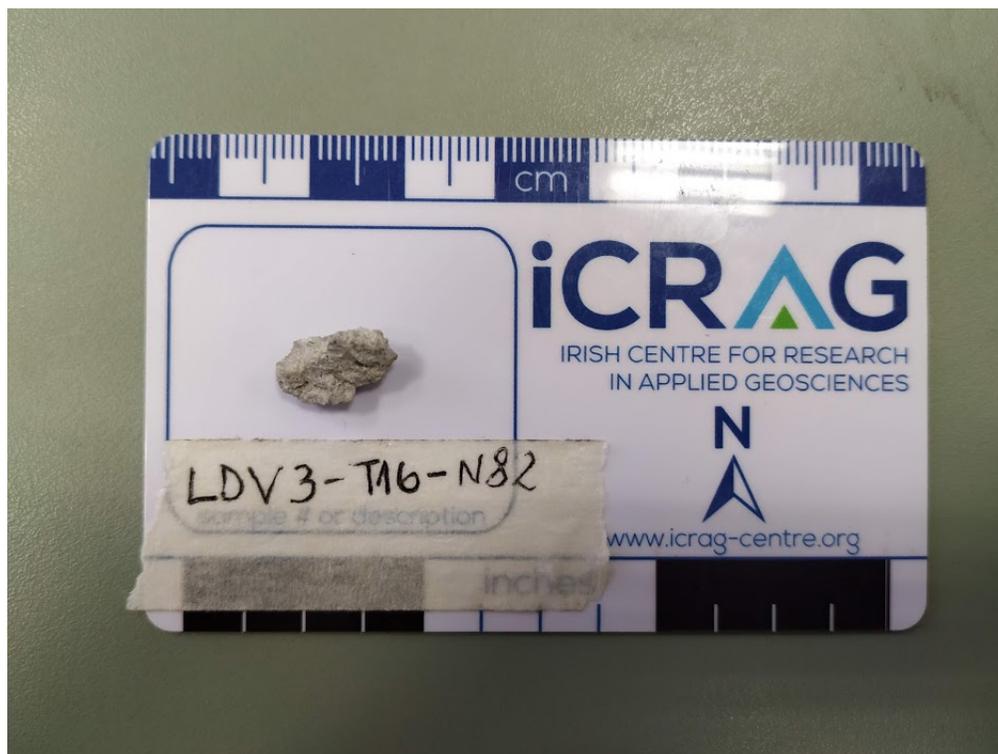


Figura 60: Fotografía de uno de los clastos encontrados en el centímetro 261 correspondiente a la muestra LDV3-16-82. Unidad IV.

Las curvas de distribución (Fig.59) muestran modas marcadas, sugiriendo tendencias en el aporte eólico, así como de aportes de mayor energía similares a las fluviales y de outwash, pero con un mayor tamaño en la fracción gruesa.

En resumen, los bajos porcentajes de materia inorgánica y carbonatos sugerirían una baja producción y condiciones más frías, una mayor tasa de sedimentación y aporte clástico indican mayor escorrentía y mayores condiciones energéticas. Clastos y estratificación convoluta a masiva también indican condiciones energéticas mayores, más no predominan en todo el periodo, dando paso a estratos densos y laminados que indicarían un cambio a condiciones calmas y de menos energía.

Estos proxies representarían eventos de mayor energía provocando un aumento en la escorrentía e intensidad de los vientos que probablemente dieron el paso a las condiciones

predominantes durante el P5 pasando a condiciones más cálidas. La estratificación convoluta puede ser causada por eventos de licuefacción causado por la diferencia de densidades durante el cambio de composición o flujos de naturaleza turbidítica, en respuesta a cambios en la presión de carga no asociadas a corrientes, y otras de origen incierto (Dzulynski y Smith, 1963).

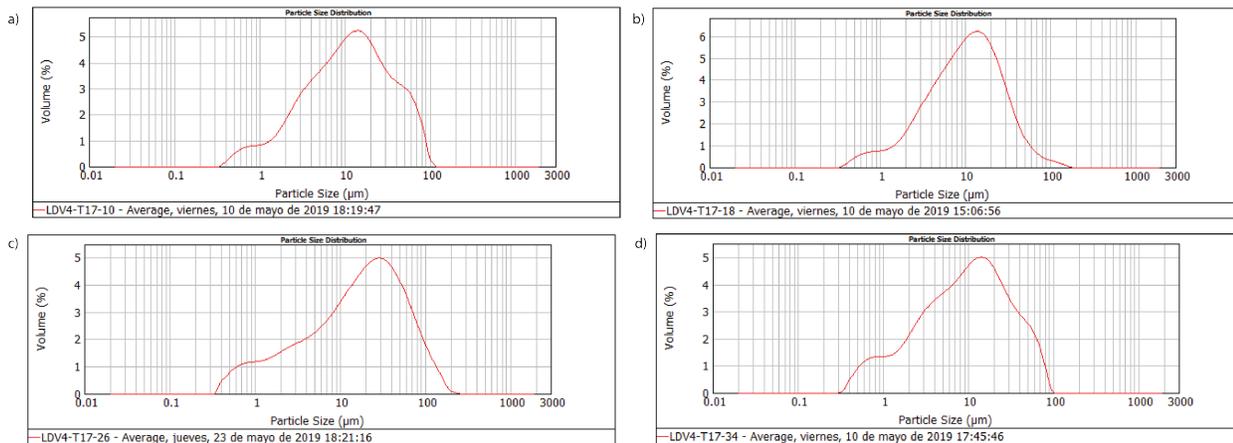


Figura 61: Curva de distribución de tamaño de grano representativas para las muestras a las profundidades de 289 cm (a); 299 cm (b); 307 cm (c) y 313 cm (d). Unidad V.

Entre los centímetros 280 y 345 se observa otro periodo (P4) que abarca desde los 8.400 cal yr B.P. a los 11.600 cal yr B.P. aproximadamente. Durante este periodo se muestra un aumento en la materia orgánica con respecto al evento posterior (P5), mostrando variaciones entre 20 y 40 % de forma periódica pero de distinta magnitud cada 356 cal yr. B.P. aproximadamente con una tendencia decreciente hacia la base, con un respectivo aumento en el material clástico. Los valores de tasa de sedimentación para la materia inorgánica están entre los 0,3 a 1,3 gr/cc\*100yr, los cuales aparte de ser oscilantes, poseen una ligera tendencia a la baja con la profundidad. Se observa material clástico al igual que el P5 pero en menor medida y confinado mayoritariamente a delgados estratos ocasionales, así como algunos clastos mayores aislados.

El sedimento consta de limo y limo arenoso en su extensión. Los valores de asimetría oscilan entorno a valores simétricos con algunos cercanos a gruesa y otros más marcados de asimetría fina, mientras que la curtosis es mayoritariamente mesocúrtica. La presencia de laminación como estratificación principal es característica, más se encuentra acotada a laminas de poca densidad y no tan definidas como lo son en la unidad VI, no llegando a indicar claramente un ambiente profundo.

En resumen, este periodo representaría un espacio de menor escorrentía y condiciones más calmas con respecto al periodo P5 que presenta características similares, al verse una baja en la materia orgánica así como una estratificación principalmente horizontal, y menos marcada

en algunos sectores que esta. Los sectores que demuestran periodos de mayor energía se encuentran más espaciados, siendo estos eventos más aislados. La reducción de tamaño de grano así como la estabilidad en la curtosis, y una selección relativamente estable en sus valores indica un ambiente lacustre más de profundidad media, o de un lago más bien somero pero sin grandes aportes sedimentarios. Sin embargo, para tener un periodo más árido tendría que existir un mayor porcentaje de arena o un componente eólico más marcado en las curvas de frecuencia. Los diversos cambios en la asimetría representan los diversos cambios energéticos, y por tanto en los medios de transporte del sedimento a lo largo del tiempo, variando entre eventos de mayor y menor energía. Finalmente se pueden ver las curvas de frecuencia de tamaño de grano para este periodo de tiempo en la Fig.61, las cuales comparten la forma característica de los sedimentos lacustres (Fig.51): ser unimodales en su mayoría y una moda principal en torno a los 10  $\mu\text{m}$ .

#### 0.4.2.3. 11.600 cal yr B.P. - >14.000 cal yr B.P.

Ya acercándose al final del testigo, entre los 11.600 cal yr B.P. y los 14.000 cal yr B.P. (P3) aproximadamente (desde los 345 a 375 cm), se observa una marcada tendencia decreciente oscilante que continuará hasta el final del tramo de materia orgánica (baja producción) con un consecutivo aumento del material clástico, así como un aumento de densidad del volumen total pero con tasas de sedimentación bajas. Este tramo representa una transición hacia el final del testigo donde la litología cambia drásticamente así como un marcado descenso en el tamaño de grano observable en todos los percentiles, por lo que las condiciones serían de menor escorrentía sin eventos que hayan aportado detritos como se ven en otros sectores. Laminaciones milimétricas indican algunos eventos cortos de sedimentación probablemente durante condiciones frías, aportados por fuentes mixtas reflejadas en el comportamiento unimodal/bimodal de las curvas, pudiendo ser lacustres/fluviales (Fig.62).

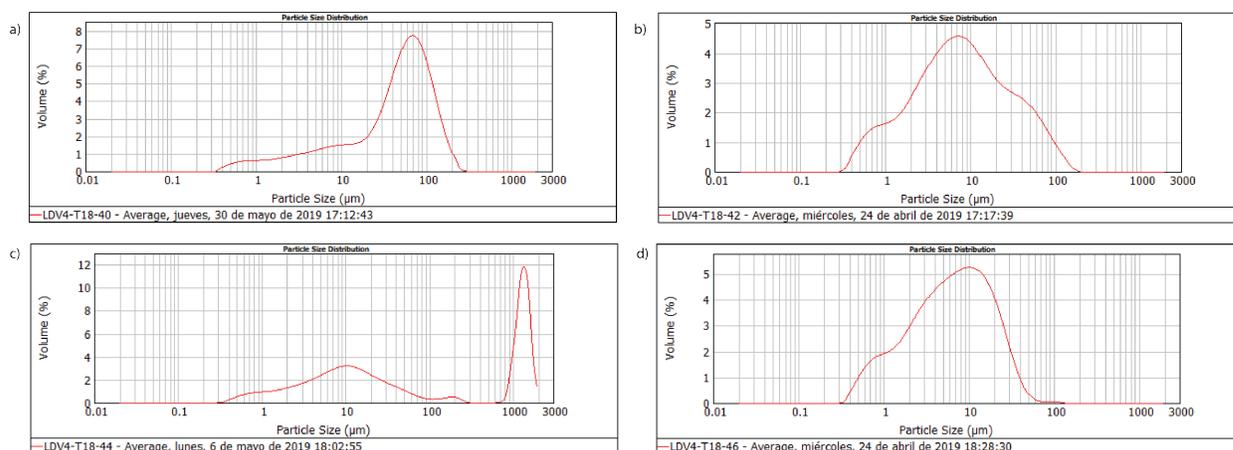


Figura 62: Curva de distribución de tamaño de grano representativas para las muestras a las profundidades de 363 cm (a); 365 cm (b); 367 cm (c) y 369 cm (d). Unidad V.

Este periodo se caracteriza por pasar a valores de asimetría fundamentalmente fina, así como una curtosis mesocúrtica y sedimento tamaño limo (baja energía) con una pobre selección, continuando más bien la tendencia observada durante el periodo posterior a los 11.600 cal yr B.P.

Entre el tramo aproximado de 13.200 cal yr B.P. y los 13.700 cal yr B.P (P2) un cambio significativo se observa en los parámetros granulométricos, con un cambio de la asimetría a valores simétricos, una curtosis platicúrtica a muy platicúrtica (selección unimodal predominante), valores de SPAN inusualmente altos (en comparación los valores promedio del testigo), una selección muy pobre y algunos sectores que bordean la arena fina, así como una ligera alza en la tasa de sedimentación (en torno a los 0,4 gr/cc\*100 yr). Este indicaría un corto cambio a condiciones energéticas mayores, así como un cambio a condiciones más cálidas.

Por otra parte, la estratificación se vuelve más difusa en este sector. Las curvas de distribución muestran un comportamiento mixto fluvial-lacustre con una componente de material muy grueso (Fig.62). Probablemente asociado a eventos aislados de mayor escorrentía. Las fuentes de sedimento provendrían de un área más proximal como laderas o depósitos glaciares para tener una selección especialmente pobre.

Para finalizar el testigo, se distingue el periodo más antiguo (P1), que estaría entre los 13.700 cal yr B.P y >14.700 cal yr B.P (desde los 372 cm) de forma aproximada, tiempo en el que finaliza el modelo cronológico. Este periodo se caracteriza por valores exigüos de materia orgánica (en torno al 10 %), tal como un aumento considerable de material clástico (cerca al 90 %) y un ligero descenso en el porcentaje de carbonatos.

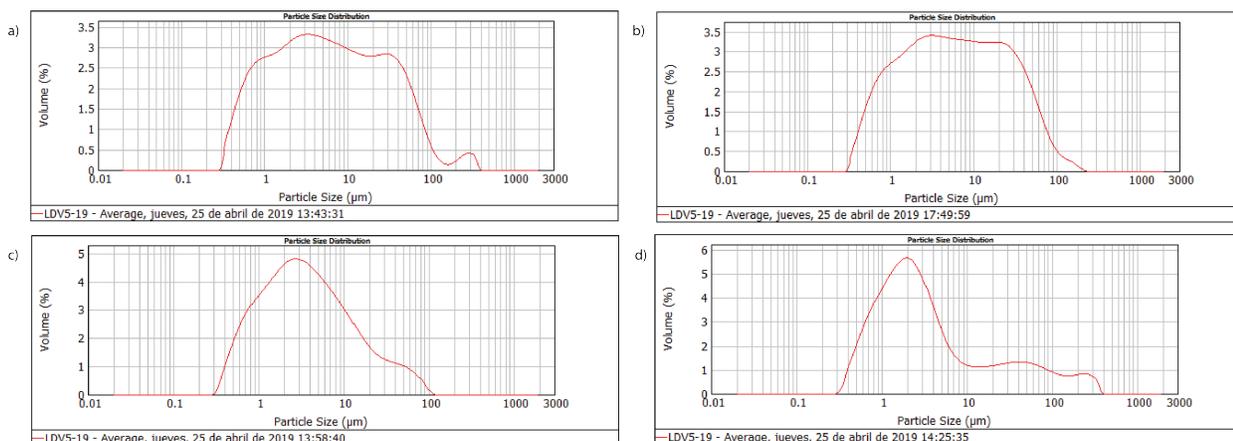


Figura 63: Curva de distribución de tamaño de grano representativas para las muestras a las profundidades de 388 cm (a); 406 cm (b); 416 cm (c) y 426 cm (d). Unidad VI.

Existe un cambio en los parámetros granulométricos. Los valores de asimetría son esencialmente simétricos no mostrando fracciones subordinadas a la mayor (las cuales, como se verá en unos párrafos más abajo, se encuentran disectadas en algunos sectores). La curtosis se mantiene en valores platicúrticos mostrando una selección unimodal. Esto reflejarían el descenso en la intensidad de los procesos erosivos en la zona de captación (Warrier et al., 2016).

Los valores de SPAN giran en torno al promedio del testigo, y presenta una selección mayoritariamente muy pobre, lo que sería un precedente. Los valores de los D10, D50 y D90 disminuyen de forma conjunta y se estabilizan en el tamaño de limo con algunos sectores de fango indicando condiciones de menor energía. En algunos sectores aumentan ligeramente, reflejando un cambio momentáneo a condiciones más cálidas. La estratificación es esencialmente laminar (de forma mucho más evidente que en el resto del testigo), con algunos sectores aislados masivos y estratificación convoluta al comienzo del periodo, que pertenecería al tramo de transición al periodo posterior a los 13.700 cal yr B.P. La densidad del testigo en este tramo es la mayor registrada hasta ahora con algunas variaciones.

El aporte clástico vuelve a ser sustantivo, pero esta vez confinado a ciertos estratos centimétricos y algunos clastos mayores aislados (que pueden llegar a 4 cm de ancho y 2 cm de alto, arena gruesa y grava gruesa en su mayoría de acuerdo a la escala del programa GRA-DISTRAT). Estos se ven más redondeados a subredondeados comparados con los vistos en periodos anteriores.

Las variadas laminaciones pueden llegar a ser milimétricas reflejando un comportamiento composicional y de condiciones de temperatura a lo largo de este periodo. La tasa de sedimentación está entre 1,3 y 2,6 gr/cc\*100yr, considerablemente alta en comparación al periodo venidero.

Este periodo refleja un aumento en la escorrentía importante en sectores puntuales, recibiendo aportes sedimentarios mayores, así como eventos de mayor energía y transporte intercalados con eventos de menor energía sucesivos y de corta duración (que a su vez son mayoría). De acuerdo a Reineck y Singh (1973), durante un periodo de retroceso glaciar los lagos glaciares recibirían su *input* de sedimento durante eventos de calentamiento cuando el hielo se derrite y las corrientes glaciales traen una gran carga sedimentaria; en la parte central, sólo sedimento fino en suspensión pasará a depositarse usualmente en forma de varvas (arena fina, limo y arcilla). Grava y arena gruesa se depositaría en la parte externa. La fracción gruesa (arena fina y limo grueso) depositan conjuntamente de forma rápida. La arcilla permanece en suspensión y deposita lentamente. Durante periodos fríos, cuando la carga sedimentaria es prácticamente nula, la arcilla es depositada sobre la capa de limo.

Por otra parte, Gustavson (1975) señala que si el agua proveniente de los deshielos posee una mayor carga sedimentaria en suspensión que la del mismo lago, está entraría en forma de *underflow* o flujo turbidítico continuo; si es menor la carga, entrará como *inflow*, reflejándose

en el testigo como sectores laminados para el *inflow* y sectores masivos, con estratificación cruzada a convoluta para el *underflow*.

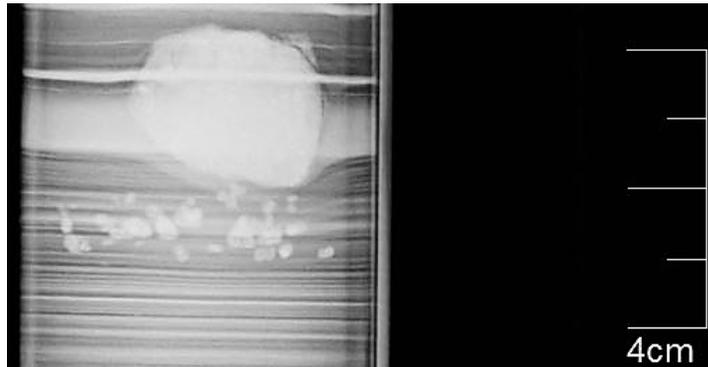


Figura 64: Clasto (*dropstone*) y gravas presentes a los 413 cm de profundidad en la imagen de Rayos-X.



Figura 65: Fotografía de uno de los clastos encontrados en el centímetro 426 correspondiente a la muestra LDV5-19-58 (izquierda), y en el centímetro 434 correspondiente a la muestra LDV5-19-66 (derecha). Unidad VI.

Las curvas de frecuencia de tamaño de grano (Fig.63) muestran lo pobre de la selección, abarcando una amplia gama de tamaños con curvas similares a las de depósitos tipo till en su fracción fina, pero sin las modas tan marcadas, así como de depósitos lacustres y un importante aporte eólico. Hay que considerar la fracción que queda fuera de los análisis del Mastersizer (que tiene una capacidad hasta 2 mm de diámetro) por lo que algunas de estas curvas se encuentran disectadas faltando una moda representativa. Probablemente adicionando esto, serían más parecidas a las de till (Fig.52).

Por otra parte, de acuerdo a lo descrito en los párrafos superiores, este periodo mostraría estadios de escorrentía mayor (y por tanto tasas de sedimentación mayores) generado por deshielos de veranos glaciares debido a la abundancia de este tipo de fuentes, generando los depósitos varvados que se observan en la estratigrafía (unidad VI). A su vez se distinguen tramos ricos en gravas y algunos clastos mayores (Fig.64, Fig.65) que representarían flujos de

mayor energía y de cierto tiempo de transporte (erosión) por la naturaleza subredondeada, probablemente de circos glaciares adyacentes.

El clasto de la imagen (Fig.64) se ve interrumpiendo una serie de laminaciones milimétricas formando un calco de carga. Probablemente este se dio durante periodos cálidos en que la temperatura subió, depositando rápidamente en forma de *dropstone* sobre la secuencia más delgada que habría depositado en invierno (menor aporte sedimentario). La selección, que es peor que la presente en los depósitos fluviales pero ligeramente mejor que los depósitos puramente glaciares, así como una alta cantidad de sedimento fino con gravas, por lo que la presencia de sedimentos tipo *outwash* es una posibilidad (Reineck y Singh, 1973).

La parte superior que presenta estratificación convoluta podría reflejar también estos *underflow* o flujos turbidíticos producto de un alto input sedimentario de la corriente entrante a la laguna.

### 0.4.3. Implicancias Paleoclimáticas

De acuerdo a la sedimentología y estratigrafía del testigo, en conjunto con la bibliografía consultada es posible integrar los análisis anteriores de manera que ciertos eventos climáticos identificados con anterioridad por diversos autores, puedan ser correlacionados con lo visto en este trabajo (Tabla 15).

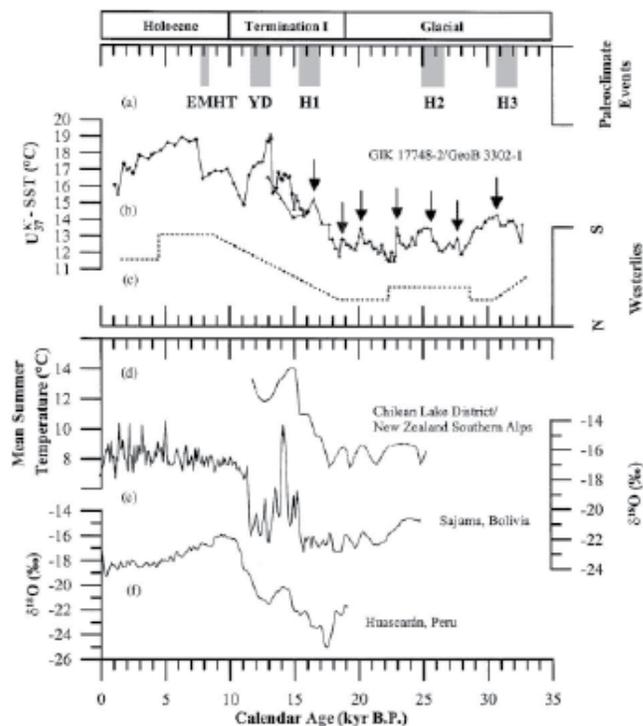


Figura 66: Comparación de los registros de Temperatura de la Superficie Océanica del Pacífico Sur-este realizada por Kim et al. (2002). De (b) a (a) corresponden a los eventos paleoclimáticos de corta duración: H3 (32.4 – 30.8 cal BP; Vidal et al., 1997), H2 (26.8 – 25 cal BP; Vidal et al., 1997), H1 (17 – 15.5 cal BP; Vidal et al., 1997), YD (13 – 11.5 cal BP; Rutter et al., 2000), y Early to mid-Holocene Climatic Transition (EMHT, 8.2 – 7.8 cal BP; Stager and Mayewski, 1997).

Los registros correspondientes al Último Máximo Glaciar (LGM por sus siglas en inglés) indican que la actividad registrada en Los Andes entre los 13.900 <sup>14</sup>C yr B.P. y 33.500 <sup>14</sup>C yr B.P. fueron condiciones frías y húmedas (Lowell et al., 1995) y en particular para Los Andes Subtropicales entre los 24.000 cal yr B.P. y 15.000 cal yr B.P. (Maldonado et al., 2005), siendo estas condiciones prevalecientes durante el Pleistoceno (Fig.66). A medida que avanza este periodo hacia el Holoceno y las condiciones contemporáneas, la temperatura aumentó paulatinamente con excepción de algunos eventos importantes. Además se caracteriza por una migración de los Vientos Oestes de norte a sur hasta los 9.000 cal yr B.P. aproximadamente, indicando un progresivo alejamiento de la mayor fuente de humedad de Chile Central (Lamy et al., 1999).

Posterior al último máximo glacial, un evento de enfriamiento global registrado como Younger Dryas (YD) ha sido descrito entre los 13.000 cal yr B.P. y 11.500 cal yr B.P. (Kim et al. (2002).

Periodo	Rango (cal yr B.P.)	Periodo Bibliográfico Relacionado
10	800 - 1.700	Paso a Condiciones Actuales (~500 - 2.200 cal yr B.P.)
9	1.700 - 2.300	Periodo de Transición (1.700 - 2.300 cal yr B.P.)
8	2.300 - 2.700	Cambios Climáticos Globales (~2.700 cal yr B.P.)
7	2.700 - 5.650	Periodo de Aridez (~2.200 - 5.650 cal yr B.P.)
6	5.650 - 7.400	Mayor Pulso Seco del Holoceno (5.700 - 7.800 cal yr B.P.)
5	7.400 - 8.400	Early to Mid Holocene Transition (7.400 - 8.400 cal yr B.P.)
4	8.400 - 11.600	Periodo de Aridez (< 11.000 cal yr B.P.)
3	11.600 - 14.000	Condiciones similares al Younger Dryas (11.500 - 13.000 cal yr B.P.)
2	13.200 - 13.700	Colapso Final Lóbulos de Hielo - Periodo Cálido (~ 13.000 cal yr B.P.)
1	13.700 - >14.000	Finalización Last Glacial Maximum (13.900 – 33.500 <sup>14</sup> C yr B.P.)

Tabla 15: Tabla resumen de los principales periodos bibliográficos relacionados con los periodos definidos en este trabajo.

Parte de estos eventos se podrían localizar en el testigo de la Laguna del Viento (Tabla 15). Un importante cambio en la tendencia general de los indicadores utilizados en este trabajo se observa desde los 14.700 cal yr B.P. - 13.700 cal yr B.P. (P1) en adelante, lo cual correspondería al periodo posterior al LGM. Posterior a este periodo, todos los parámetros sedimentológicos muestran un aumento en sus valores a medida que las edades se acercan a las contemporáneas indicando un cambio de las condiciones en los Andes Subtropicales (Fig.46), similar a lo encontrado por Warrier et al. (2016), quien identificó un cambio mayor en las condiciones climáticas desde el LGM al Holoceno, patente en un incremento de los parámetros mineralógicos y sedimentológicos, habiendo un incremento en la intensidad de los medios de transporte. La actividad de ENSO, que muestra variaciones en su intensidad relativamente alta en este periodo, probablemente aportó con una mayor tasa de precipitación la cual sería necesaria para mantener los cuerpos de hielo (Rein et al., 2005).

El P1, caracteriza por ser un ambiente somero y calmo con periodos cortos repetidos de escorrentía mayor posiblemente por deshielos y aportes de mayor energía glaciofluviales de los alrededores, reflejados en la naturaleza de clastos redondeados encontrados, estimándose un

periodo de condiciones más bien frías. De esta forma, condiciones tipo ENSO podrían ser las causantes de los eventos más energéticos y de mayor escorrentía reflejadas en el P1, así como eventuales deshielos producto del incremento en la intensidad de los medios de transporte. El calentamiento que provocó el fin del LGM, eventualmente habría sido gatillado por un desplazamiento hacia el sur de los Vientos Oestes, cambios en la circulación global oceánica y una amplificación del efecto debido a una cubierta oceánica reducida (Lamy et al., 1999; Lamy et al., 2010).

Si bien se reflejan la mayoría de las características distintivas del LGM en el P1, este periodo se caracteriza por una actividad fuerte de ENSO. Por tanto, se esperarían encontrar un mayor número de estructuras sedimentarias asociadas a estos eventos, tales como estratificación convoluta y difusa, irrumpiendo la estratificación calma, común de los periodos fríos. Esta ausencia podría deberse a las capas de hielo que se forman sobre los lagos durante periodos fríos, y los protegen de las condiciones externas (Reineck y Singh, 1973).

El periodo venidero (P2), se infiere que fue un ambiente de corta duración dentro del P3, que refleja un cambio a condiciones energéticas mayores y de mayor escorrentía, así como un posible periodo de mayor calidez. Es correspondiente al intervalo 13.700 cal yr B.P. y 13.200 cal yr. B.P., que representa un aumento en la temperatura, sería resultado del colapso final de los lóbulos de hielo marcando el final del LGM (Lowell et al., 1995), lo cual también se podría correlacionar con el evento de calentamiento en los 13.000 cal yr B.P. por Kim et al. (2002), lo que se vería en el testigo como las condiciones energéticas mayores y aumento en la escorrentía que caracteriza al P2. Esto podría haber sido causado por el aún continuo desplazamiento hacia los polos de los Vientos Oestes y un debilitamiento en la intensidad y variabilidad de condiciones tipo ENSO (Lamy et al., 1999; Lamy et al., 2010).

Un amplio periodo de un ambiente calmo y más profundo con eventos cortos de menor escorrentía caracteriza al P3. También sería un posible periodo de condiciones más frías. El registro entre los 14.000 cal yr B.P. y 11.600 cal yr B.P., podría asociarse con la presencia de condiciones similares a las observadas durante el YD, aunque la duración exacta y sus manifestaciones en las regiones del Sureste Pacífico, siguen en discusión a pesar de que algunas investigaciones han detectado re-avance glacial durante esta época (Ward et al., 2015), así como un descenso continuo en la temperatura (Kim et al., 2002) que explicaría lo visto durante el P3. A su vez, este periodo se ha asociado a un descenso en la humedad ambiental como se puede ver en el resumen de investigaciones (Fig.16) realizado por Méndez et al. (2014), así como variaciones en la actividad de ENSO, en la que destaca una baja importante entre la fuerte actividad que muestra desde los 16.000 cal yr B.P. entre estas edades, que justificarían las variaciones en escorrentía observadas, y la ausencia de material detrítico mayor.

El intervalo entre 8.400 cal yr B.P. y 11.600 cal yr B.P., P4, se ha caracterizado como un ambiente calmo y de profundidad intermedia, con menor escorrentía, sometido a eventos aislados de mayor energía y escorrentía, y poseedor de variados cambios estacionales. Se ha detectado una menor presencia de clastos. Este se ubica dentro lo que sería el Holoceno temprano, periodo para al que Jenny et al. (2002) atribuye una aridez pronunciada en Chile

Central, reflejada en un descenso del nivel de los lagos, y que señala, generalmente estos eventos ocurren cuando la influencia del Anticiclón del Pacífico es mayor y bloquea los Vientos Oestes desviándolos hacia el sur, estando estos en su posición máxima hacia el sur (Lamy et al., 1999). Por otra parte, Kim et al. (2002) señala que luego de los 11.000 cal yr B.P. las temperaturas incrementaron hasta las SST (Surface Sea Temperatures) promedio modernas del Pacífico Sureste, permaneciendo así por 2.000 años. Las condiciones de humedad serían relativas, así como la actividad de ENSO a lo largo de este periodo de acuerdo a lo visto en la recopilación de Méndez et al. (2014). Estos procesos cambiantes se podrían ver reflejados en el testigo, en los variados cambios estacionales y eventos asilados de mayor escorrentía del P4 asociándolos a condiciones tipo ENSO, así como presencia de clastos que hablaría de una ligera alza en las temperaturas. Sin embargo, la estratigrafía no es tan clara en reflejar un ambiente muy somero o condiciones energéticas mayores, pero tampoco profundo, demostrando lo que podría ser un descenso del nivel al final del periodo, caracterizándolo como un periodo más bien mixto.

El siguiente tramo temporal identificado en este trabajo va desde los 7.400 y 8.400 cal yr B.P (P5). Este refleja un periodo con mayor escorrentía y condiciones energéticas variables, demostradas en eventos de alta y baja energía, así como un aumento en la producción de materia orgánica hacia el final del periodo, evidenciando un cambio en el entorno de la laguna. Un evento de escala global llamado Early to mid-Holocene Climatic Transition (EMHT) ha sido descrito por Stager y Mayewski (1997) entre los 8.200 cal yr B.P. y 7.800 cal yr B.P., el cual sería consecuencia de un cambio abrupto en la circulación atmosférica durante la transición Holoceno Temprano y Medio, a las condiciones post-glaciales completas mediante registro en diatomeas en el Lago Victoria (este de África). Este se caracterizaría por un aumento brusco de las condiciones cálidas, un alto grado de mezcla de aguas gatillado por actividad eólica, y altos niveles en los lagos, producto de vientos monsonicos en los trópicos. A la vez indica un debilitamiento en la circulación meridional. Por su parte, Rein et al. (2005) registra un debilitamiento de ENSO desde los 8.200 cal yr B.P. aproximadamente llegando a una actividad casi nula. Estos factores podrían haber gatillado el ambiente variable que corresponde al P5, y la presencia de estructuras de mayor energía. Ahora, tomando en cuenta la casi nula actividad de ENSO registrada durante este periodo, es probable que los eventos cortos encontrados correspondan a acción de tormentas, mecanismo que ya ha sido sugerido por autores como Tiner et al. (2008), que describen, corresponderían a incursiones convectivas desde el este.

Esto habría sido causado por el calentamiento post-Pleistoceno y un debilitamiento en la circulación polar atmosférica, que sería causado por una reducción en las capas de hielo marinas y por tanto, un desplazamiento hacia los polos de las masas de aire (Kim et al., 2002). De acuerdo a Lamy et al. (1999), un posicionamiento esencialmente en el sur de los Vientos Oestes implicaría también condiciones más áridas (Fig.66).

El siguiente periodo corresponde al comprendido entre los 5.650 y 7.400 cal yr B.P. El P6 se ha interpretado como un ambiente variable entre crecimientos del lago y periodos más secos, en general de escorrentía corta reflejando variaciones de temperatura constantes, y

transporte de clastos con retrabajo probablemente de circos adyacentes en este estudio. A su vez, sería periodo de condiciones más áridas y cálidas. Kim et al. (2002) describe que este intervalo sería similar a lo ocurrido durante los 13.000 cal yr B.P., pero esta vez a mayor escala, existiendo un desplazamiento hacia los polos de los Vientos Oestes y un debilitamiento en las intensidad y variabilidad de ENSO, lo que tendría como resultado un calentamiento muy marcado con respecto a situaciones anteriores. De acuerdo a Lamy et al. (1999) este periodo tendría condiciones climáticas relativamente estables que se prolongarían hasta los 4.000 cal yr B.P., en la que las condiciones predominantes serían de aridez, lo que se explicaría, similar a Kim et al. (2002), por una baja influencia de los Vientos Oestes durante el Holoceno Medio. Este periodo coincide con el mayor pulso seco del Holoceno descrito por Méndez et al., (2014) entre los 7.800 y 5.700 cal yr B.P. Estas condiciones servirían para explicar el ambiente que posiblemente fuera árido y cálido durante el P6, teniendo periodos cortos de escorrentía que habría venido de deshielos alrededor de la Laguna, y que habrían perturbado la estratigrafía previa más bien calma.

Luego de este, entre los 2.700 cal yr B.P. hasta las cercanías de los 5.650 cal yr B.P. El P7 correspondería a un ambiente más bien somero, sometido a condiciones energéticas mayores y mayor descarga de forma periódica pero con escorrentía escasa. Posiblemente un ambiente seco con episodios más energéticos (tormentas) que habrían perturbado la estratigrafía. Evidencia pequeños clastos angulosos que hablarían de corto transporte. Rodbell et al. (1999) describe que la periodicidad de ENSO fue establecida a partir de 5.700 cal yr B.P. (y fue desarrollada totalmente alrededor de los 3.000 yr B.P.), así como un descenso en la SST durante el Holoceno Tardío asociado a un ligero re-desplazamiento hacia el norte de los Vientos Oestes. Durante este periodo la variabilidad e intensidad de ENSO habría incrementado (Rein et al., 2005). Tiner et al. (2018) describe los 4.100 cal yr B.P. y 2.200 cal yr B.P. como un periodo de aumento gradual en las condiciones áridas.

El periodo entre los 5.000 y 6.000 cal yr B.P. se ha descrito como un intervalo de grandes cambios en la humedad en Chile Central (Jenny et al., 2002), así como de una alta variabilidad en la meteorización continental, aporte de sedimentos y las condiciones paleo - ambientales por Lamy et al. (1999), probablemente asociada al ENSO. Para este periodo el testigo refleja muchas más características asociadas a condiciones energéticas mayores (principalmente en la estratigrafía), que reflejarían un ambiente más somero y una escorrentía baja pero periódica, pudiéndose encontrar condiciones de ENSO más marcadas. A su vez, se distinguen episodios muy energéticos que podrían deberse a acción de tormentas.

El periodo correspondiente a las edades de 2.300 a 2.700 cal yr B.P., P8, sería un ambiente más profundo y calmo, sometido a periodos cortos de mediana escorrentía que habrían perturbado la estratigrafía, así como un posible periodo de condiciones más frías. En la literatura se asocia a un periodo de bajas en las temperaturas que se puede ver en el trabajo (Fig.66) de Kim et al. (2002), así como un aumento en la humedad disponible. A su vez Jenny et al. (2002) registra un aumento en los niveles de la Laguna de Aculeo en Chile Central así como en las precipitaciones (Lamy et al., 2010). Por otra parte, van Geel et al. (2000) propone un evento de cambio climático a escala global alrededor de los 2.700 cal yr B.P., que habría sido

causado por un descenso en la radiación solar con un avance glaciar masivo en Los Andes Sur - Centrales, por lo que no se descarta que esto podría haber ocurrido en la Laguna del Viento aunque queda abierto a futuras discusiones. A su vez, los Vientos Oestes estarían en una posición fija hacia el sur (Lamy et al., 1999). En el testigo este periodo se ve como un ambiente más profundo y calmo, y posiblemente frío. Estos factores parecieran coincidir con la baja de las temperaturas mencionadas, más los eventos energéticos que habrían perturbado sectores de la estratigrafía del testigo no se hacen tan evidentes esta vez, pudiendo estar asociados a condiciones ENSO o de forma menos probable, acción de tormentas.

Entre los 2.300 y 1.700 cal yr B.P. el P9 se resume en un ambiente variable con predominancia de condiciones más bien calmas y profundas, menor escorrentía y aportes eólicos. Reflejaría condiciones más húmedas y sería un ambiente más bien transicional. Por tanto, se podría asociar a una transición desde las condiciones frías anteriores a las condiciones más actuales, ya que se detecta un alza en la tasa de sedimentación asociada a un aumento en las temperaturas y escorrentía, pero con una predominancia de estructuras de baja energía, y caracterizándose por ser un ambiente más bien profundo y calmo con menores aportes en escorrentía.

Un último periodo se identifica entre los 800 - 1.700 cal yr B.P. El P10 se ha descrito como un ambiente más profundo y calmo en este trabajo, con episodios de mayor energía y descarga. Posiblemente de condiciones más frías/de baja producción con otras de sobreflujo. Tiner et al. (2018) describe que luego de los 2.200 cal yr B.P. la humedad incrementó hasta los 500 cal yr B.P para luego decrecer nuevamente hasta el presente. Por otra parte, Jenny et al. (2002) identifica un aumento y estabilización en el nivel de los lagos, mientras que la actividad de ENSO mostraría importantes variaciones con un alza hacia el final de este periodo (Rein et al., 2005), provocando variaciones en la humedad así como de temperatura las cuales muestran un baja hacia el inicio de este periodo con un repunte hacia el presente (Kim et al., 2002). Esto se evidencia en los parámetros desde los 800 cal yr B.P. en adelante, donde los parámetros muestran condiciones energéticas mayores y más cálidas, así como en lo difuso de la estratificación y abundancia de estructuras erosivas que incrementan hacia el presente. Por tanto el ambiente que sugiere el testigo para este periodo, es uno más bien profundo y calmo, sometido a condiciones energéticas mayores y de mayor descarga, posiblemente con un nivel de la laguna alto, que podría estar ligado al aumento de la humedad descrita.

El ambiente hacia el presente se muestra más bien somero y sometido a condiciones energéticas mayores, pero posiblemente seco entre los episodios de alta escorrentía. Esto de cierta forma retrata lo descrito por Tiner et al. (2018), con respecto a la baja en la humedad hacia el presente. Por otra parte, los eventos de alta escorrentía registrados durante este periodo podrían corresponder a lluvias torrenciales.

## 0.5. Conclusiones

Un nuevo registro paleoclimático, identificado con proxies sedimentológicos y estratigráficos, y que abarca desde el Plistoceno tardío al Holoceno ha sido incorporado a los estudios existentes mediante el desarrollo de este trabajo. Existen muy pocos estudios puramente granulométricos a lagos, y más aún, enfocados a paleoclima existen publicados. En particular, el más detallado publicado está en japonés, correspondiente a una publicación sobre el lago Biwa, realizada por Atsuyuki Yamamoto y otros (Yamamoto et al., 1972) junto con posteriores (Yamamoto et al., 1985). Por tanto, este estudio representa un aporte a la investigación paleoclimática.

Los registros sedimentológicos y estratigráficos de la Laguna del Viento (33°S) muestran cambios paleoclimáticos importantes desde el Pleistoceno tardío hasta los tiempos modernos.

Seis unidades estratigráficas pudieron ser definidas para este testigo. Las unidades I, II y III registran el mayor número de estructuras asociadas a eventos de mayor energía, tales como estratificación masiva, convoluta y contactos erosivos, así como un mayor porcentaje de materia orgánica. Aportes considerables de material clástico se identifican en las unidades IV, V y VI así como un mayor número de laminaciones y menor cantidad de materia orgánica.

Con respecto a sus implicancias paleoclimáticas, cambios claramente observables tanto en la litología como en la sedimentología y estratigrafía de la Laguna del Viento evidencian el paso del Pleistoceno al Holoceno.

Diez periodos paleoclimáticos fueron reconocidos en el testigo de la Laguna del Viento. Identificándose posibles ambientes tanto profundos como someros, episodios de mayor y menor escorrentía, así como de variable intensidad energética. También se infiere la presencia de eventos menor frecuencia, como tormentas o lluvias torrenciales.

Los parámetros sedimentológicos asociados a la granulometría (tamaño de grano medio, selección, asimetría, curtosis, D10, D50, D90 y SPAN) indican que los sedimentos habrían sido depositados tanto por agentes eólicos como glacio-fluviales.

Las distintas distribuciones modales encontradas en las curvas de distribución (unimodal, bimodales y en menor medida trimodales) sugieren distintos tipos de aportes.

Los resultados sugieren la presencia de importantes eventos globales aparte del fin del LGM, tales como similitudes con el Younger Dryas (13.000 - 11.500 cal yr B.P.), el Early to mid- Holocene Climatic Transition (EMHT, 8.200 - 7.800 cal yr B.P.) y el pulso más seco del Holoceno identificado por Méndez et al. (2014) entre los 7.800 y 5.700 cal yr B.P. entre otros.

Una tendencia a condiciones más cálidas se observa desde el LGM hacia las condiciones modernas con algunas excepciones, así como un aumento en los eventos secos, por otra parte, un incremento en las condiciones húmedas se observa hacia el Holoceno Medio y Temprano sujetas a condiciones variables (principalmente ENSO). Sin embargo, estas variaciones se han observado anteriormente (con un respectivo desplazamiento hacia el norte de los Vientos Oestes), por lo que no resulta evidente la relación entre el alza continua de las temperaturas y bajas de las precipitaciones de hoy en día, dejando en evidencia que el factor antropogénico tiene un protagonismo mayor que vale la pena seguir estudiando.

Se identifica una relación entre la intensidad de las condiciones húmedas y áridas con el sincronismo del fenómeno climatológico de ENSO (El Niño Southern Oscillation), y rasgos de la circulación general como lo son los Vientos Oestes y Anticiclón del Pacífico. Comparando con los registros de Jenny et al. (2002), Kim et al. (2002) y Mendez et al. (2014), eventos de mayor humedad estarían relacionados con una posición de los Vientos Oestes hacia el norte más que el sur, con un debilitamiento en el Anticiclón del Pacífico. Como se vería más claramente luego de los 5.000 cal yr B.P., también un fortalecimiento en la intensidad de ENSO estaría relacionado con un debilitamiento del Anticiclón.

Eventuales registros de avances glaciares podrían existir durante el Holoceno tardío. Daticiones a las morrenas circundantes a la laguna serían de gran aporte en la identificación de antecedentes de eventos de este tipo, en particular entre los 2.300 a 2.700 cal yr B.P.

El procedimiento de laboratorio propuesto para el tratamiento de muestras lacustres con alto contenido orgánico basado en el propuesto por Vaasma (2008) ha resultado ser efectivo para las muestras de la Laguna de Viento.

Por último, se reconocen limitaciones utilizando sólo los proxies sedimentológicos y estratigráficos presentes en este trabajo, por lo que se recomienda complementarlo para mejorar su precisión con estudios de polen, diatomeas, quirinómidos, SEM, susceptibilidad magnética, isótopos de oxígeno y tasas de carbono - nitrógeno.

## 0.6. Recomendaciones

Si bien este estudio abarca una gran cantidad de proxies, de ser estos complementados con otros estudios la precisión en la identificación de eventos paleoclimáticos mejoraría de forma significativa. En particular, el no uso de proxies específicos de paleotemperatura restringió considerablemente la investigación.

El estudio de polen es actualmente la forma más usada para investigar los registros paleoclimáticos y ha sido usada por variados autores (Heusser, 1990; Jenny et al., 2002; Maldonado y Villagrán, 2006; Martel-Cea et al., 2016, por mencionar algunos). Conocer las variaciones en las condiciones de humedad y especies asociadas a ciertas condiciones climáticas sería una buena impronta para mejorar el alcance de este estudio.

Considerar el uso de diatomeas también sería prudente, ya que han demostrado ser buenos indicadores de pH y cambios climatológicos (así como en menor medida de temperatura), considerando la abundancia de estas en los lagos (Stager y Mayewski, 1997; Anderson, 2000; Bigler y Hall, 2002). Una parte menos explorada, pero que está siendo incursionada, es el uso de fósiles de quirinómidos como indicadores de paleotemperatura. Su identificación y distribución en los sedimentos de lagos permiten generar modelos numéricos para inferir rangos de temperatura, que servirían de complemento para la investigación realizada, así como para los métodos sugeridos en esta sección (Larocque et al., 2001; Massaferrero et al., 2014).

Por otra parte, la susceptibilidad magnética (MS por sus siglas en inglés) representan un excelente proxy para estudiar el aporte detrítico a los lagos. Un aumento en la intensidad de las precipitaciones o actividad glaciaria va a incrementar la erosión y por tanto incrementar la deposición de material mineral magnético, pudiéndose detectar cambios climáticos a lo largo del testigo (Jiang y Ding, 2010; Da Silva et al., 2014).

Para conocer con mayor certeza el origen de los sedimentos presentes, un estudio de SEM (Scanning Electron Microscope) sería atingente en este caso. De esta forma, se podrían estudiar las microtexturas presentes en los granos de cuarzo perteneciente a los sedimentos, para identificar los diversos ambientes, formas de transporte y procesos de meteorización, y así tener un discriminador de las fuentes de origen, como lo sería por ejemplo, distinguir los sedimentos de naturaleza eólica (An et al., 2012; Warrier et al., 2016).

Estudios en lagos han demostrado la utilidad del uso del isótopo 18 de oxígeno dada su relación con el isótopo 16, y la dependencia que tiene esta tasa con la temperatura. De esta forma, cambios importantes que se habrían producido en las temperaturas de las aguas a lo largo del tiempo serían un buen discriminador climático (Ruddiman, 1971; Hodell et al., 1999; Warrier et al., 2016).

Finalmente, los porcentajes de materia orgánica representan un proxy importante en este trabajo, sin embargo, detectar su fuente representa un nivel mucho más avanzado en la identificación de aportes extra-lacustres en el registro estratigráfico. Conocer si la producción de materia orgánica (carbono orgánico de carbono inorgánico) pertenece al lago o es de una fuente externa, ayudaría en la identificación de eventos producidos en la cuenca. Para estos, estudiar las concentraciones de nitrógeno y carbono en los sedimentos es un paso más que puede darse en este estudio. Por ejemplo, eventos de mayor humedad en lagos resultan en mayor producción interna de algas, debido a un mayor *input* de nutrientes viéndose reflejado en una baja tasa de C/N y altos niveles de carbono orgánico (Hodell et al., 1999; Meyers y Lallier-vergés, 1999).

## 0.7. Bibliografía

Abbott, M., Seltzer, G., Kelts, K., y Southon, J. (1997). Holocene paleohydrology of the tropical Andes from lake records. *Quaternary Research*, 47(1), 70-80.

Abraham, E., del Valle, H., Roig, F., Torres, L., Ares, J., Coronato, F., y Godagnone, R. (2009). Overview of the geography of the Monte Desert biome (Argentina). *Journal of Arid Environments*, 73, 144-153. doi:10.1016/j.jaridenv.2008.09.028

Álvarez-Garretón, C., Mendoza, P., Boisier, J., Addor, N., Galleguillos, M., Zambrano-Bigiarini, M., . . . Ayala, A. (2018). The CAMELS-CL dataset: catchment attributes and meteorology for large sample studies – Chile dataset. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 22, 5817-5846. doi:10.5194/hess-22-5817-2018

An, F., Ma, H., Wei, H., y Lai, Z. (2012). Distinguishing aeolian signature from lacustrine sediments of the Qaidam Basin in northeastern Qinghai-Tibetan Plateau and its paleoclimatic implications. *Aeolian Research*, 4, 17-30.

Anderson, N. (2000). Diatoms, temperature and climatic change. *European Journal of Phycology*, 35(4), 307-314.

Anderson, D., Maasch, K., y Sandweiss, D. (2007). *Climate Change and Cultural Dynamics*. A global perspective on Mid-Holocene Transitions. San Diego: Academic Press.

Awasthi, D., y Agarwal, M. (1970). An enumeration of lichens from the tropical and subtropical regions of Darjeeling district, India. *Indian Bot. Soc.*, 49(1-4), 122-136.

AZO Materials. (2015). How Quality by Design (Qbd) Can Inform Analytical Instrumentation Design and Manufacture. Obtenido de <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=12176>

Bell, F. (1996). Lime stabilization of clay minerals and soils. *Engineering Geology*, 42(4), 223-237. doi:10.1016/0013-7952(96)00028-2

Bigler, C. Hall, R.I. *Journal of Paleolimnology* (2002) 27: 97. <https://doi.org/10.1023/A:1013562325326>

Blaauw, M., y Christen, J. (2011). Flexible paleoclimate age-depth models using an autoregressive gamma process. *Bayesian analysis*, 6(3), 457-474.

Blott, S., y Pye, K. (2001). GRADISTAT: A grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. *Earth Surface Processes and Landforms*, 26, 1237-1348.

Blott, S. J., Croft, D. J., Pye, K., Saye, S. E., Wilson, H. E. (2004). Particle size analysis by laser diffraction. *Geological Society, London, Special Publications*, 232(1), 63–73. doi:10.1144/gsl.sp.2004.232.01.08

Boggs, S. (2006). *Principles of sedimentology and stratigraphy*. Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall. Boisier, J., Rondanelli, R., Garreaud, R., y Muñoz, F. (2015). Anthropogenic and natural contributions to the Southeast Pacific precipitation decline and recent megadrought in central Chile. *Geophys. Res. Lett.*, 43. doi:10.1002/2015GL067265

Boisier, J. P., R. Rondanelli, R. D. Garreaud, and F. Muñoz (2016), Anthropogenic and natural contributions to the Southeast Pacific precipitation decline and recent megadrought in central Chile, *Geophys. Res. Lett.*, 43, doi:10.1002/2015GL067265

Capitanelli, R. (1972). Geomorfología y clima de la provincia de Mendoza. En Instituto de Investigaciones de las Zonas Áridas y Semiáridas de la Provincia de Mendoza (Ed.), *Geología, geomorfología, climatología, fitogeografía y zoogeografía de la provincia de Mendoza*. Mendoza: Ministerio de Economía.

Caspers, H. (1978). H.-E. Reineck I. B. Singh: Depositional Sedimentary Environments. With Reference to Terrigenous Clastics. *Int. Revue ges. Hydrobiol. Hydrogr.*, 63, 130-131. Clare, T. (2013). *Grain-size analysis of loess and glacial sediments at Stony Brook University*. Stony Brook University.

Da Silva, A., Whalen, M., Hladil, J., Koptikova, L., Chen, D., Spassov, S., . . . Devleeschouwer, X. (2014). Application of magnetic susceptibility as a paleoclimatic proxy on Paleozoic sedimentary rocks and characterization of the magnetic signal-IGCP-580 projects and events. *Episodes*, 37(2), 87-95.

Diamond, S., y Kinter, E. (1965). Mechanisms of Soil-Lime Stabilization: an interpretive review. *Highway Research Record*, 92, 83-102.

Dias, K.A. (2014). High-Resolution Methodology for Particle Size Analysis of Naturally Occurring Sand Size Sediment Through Laser Diffractometry WITH Application to Sediment Cores: Kismet, Fire Island, New York.

Dzulynski, S., y Smith, A. (1963). Convolute lamination, its origin, preservation, and directional significance. *Journal of Sedimentary Petrology*, 33, 616-627.

Folk, R. (1966). A review of grain-size parameters. *Sedimentology*, 6(2), 73-93.

———. (1980/1968). *Petrology of Sedimentary Rocks*. Austin: Hemphill Publishing Company.

Folk, R., y Ward, W. (1957). Brazos River bar [Texas]; a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Research*, 27(1), 3-26.

Foster, I., Albon, A., Bardell, K., Fletcher, J., Jardine, T., Mothers, R., . . . Turner, S. (1991). High energy coastal sedimentary deposits; an evaluation of depositional processes in Southwest England. *Earth Surface Processes and Landforms*, 16(4), 341-356.

Fock, A., (2005). *Cronología y Tectónica de la exhumación en el Neógeno de Los Andes de Chile Central entre los 33°y 34°S*. Memoria para optar al Título de Geólogo. Departamento de Geología, Universidad de Chile.

Foster, I., Oldfield, F., Flower, R., y Keatings, K. (2008). Mineral magnetic signatures in a long core from Lake Qarun, Middle Egypt. *Journal of Paleolimnology*, 40(3), 835-849.

Friedman, G. (1961). Distinction between dune, beach, and river sands from their textural characteristics. *Journal of Sedimentary Research*, 31(4), 514-529.

Garreaud, R. (2009). The Andes climate and weather. *Adv. Geosci.*, 22, 3-11. doi:10.5194/adgeo-22-3-2009

Garreaud, R. D., Alvarez-Garretón, C., Barichivich, J., Boisier, J. P., Christie, D., Galleguillos, M., LeQuesne, C., McPhee, J., and Zambrano-Bigiarini, M. (2017). The 2010–2015 megadrought in central Chile: impacts on regional hydroclimate and vegetation. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 21, 6307-6327. doi:10.5194/hess-21-6307-2017

Gu, B., Mehlhorn, T., Liang, L., y McCarthy, J. (1996). Competitive adsorption, displacement, and transport of organic matter on iron oxide: I. Competitive adsorption. *Geochimica et cosmochimica acta*, 60(11), 1943-1950.

Gustavson, T. (1975). Sedimentation and physical limnology in proglacial Malaspina Lake Southeastern Alaska. En A. Jopling y B. McDonald (Eds.), *Glaciofluvial and Glaciolacustrine sedimentation* (pp. 246-263). Tulsa: Society of Economic Paleontologists and Mineralogists.

Hallema, D., Moussa, R., Sun, G., y McNulty, S. (2016). Surface storm flow prediction on hillslopes based on topography and hydrologic connectivity. *Ecological Processes*, 5(1), 13. doi: 10.1186/s13717-016-0057-1

Hartley, A. (2003). Andean uplift and climate change. *Journal of the Geological Society*, 160(1), 7. doi:10.1144/0016-764902-083

Heusser, C. (1990). Ice age vegetation and climate of subtropical Chile. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 80(2), 107-127. doi:10.1016/0031-0182(90)90124-P

Hodell, D., Brenner, M., Kanfoush, S., Curtis, J., Stoner, J., Xueliang, S., . . . Whitmore, T. (1999). Paleoclimate of southwestern records. *Quaternary Research*, 52(3), 369-380.

Inman, D. (1949). Sorting of sediments in the light of fluid mechanics. *Journal of Sedimentary Research*, 19(2), 51-70.

IPCC. (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Génova: IPCC. Obtenido de: [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/SYR\\_AR5\\_FINAL\\_full\\_wcover.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/SYR_AR5_FINAL_full_wcover.pdf)

Jencso, K., y McGlynn, B. (2011). Hierarchical controls on runoff generation: Topographically driven hydrologic connectivity, geology, and vegetation. *Water Resources Research*, 47(11). doi:10.1029/2011WR010666

Jenny, B., Valero-Garcés, B., Villa-Martínez, R., Urrutia, R., Geyh, M., y Veit, H. (2002). Early to mid-Holocene aridity in central Chile and the southern Westerlies: The Laguna Aculeo record (34°S). *Quaternary Research*, 58(2), 160-170. doi:10.1006/qres.2002.2370

Jiang, H., y Ding, Z. (2010). Eolian grain-size signature of the Sikouzi lacustrine sediments (Chinese Loess Plateau): Implications for Neogene evolution of the East Asian winter monsoon. *Bulletin*, 122(5-6), 843-854.

Kim, J.-H., Schneider, R., Hebbeln, D., Müller, P., y Wefer, G. (2002). Last deglacial sea-surface temperature evolution in the Southeast Pacific compared to climate changes on the South American continent. *Quaternary Science Reviews*, 21(18-19), 2085-2097. doi:10.1016/S0277-3791(02)00012-4

Kim, J.-W., Furukawa, Y., Dong, H., y Newell, S. (2005). The effect of microbial Fe(III)-reduction on smectite flocculation. *Clays and Clay Minerals*, 53(6), 572-579. doi:10.1346/CCMN.005.0530603

Konert, M., y Vandenberghe, J. (1997). Comparison of laser grain size analysis with pipette and sieve analysis: a solution for the underestimation of the clay fraction. *Sedimentology*, 44(3), 523-535.

Krumbein, W., y Pettjohn, F. (1938). *Manual of Sedimentary Petrography*. New York: Appleton-Century-Crofts.

Lamy, F., Hebbeln, D., y Wefer, G. (1999). High-Resolution Marine Record of Climatic Change in Mid-latitude Chile during the Last 28,000 Years Based on Terrigenous Sediment Parameters. *Quaternary Research*, 51(1), 83-93. doi:10.1006/qres.1998.2010

Lamy, F., Kilian, R., Arz, H. W., Francois, J.-P., Kaiser, J., Prange, M., Steinke, T. (2010). Holocene changes in the position and intensity of the southern westerly wind belt. *Nature Geoscience*, 3(10), 695–699. <https://doi.org/10.1038/ngeo959>

Larocque, I., Hall, R. Grahn, E. *Journal of Paleolimnology* (2001) 26: 307. <https://doi.org/10.1023/A:1017524101783>

Lowell, T., Heusser, C., Andersen, B., Moreno, P., Hauser, A., Heusser, L., . . . Denton, G. (1995). Interhemispheric correlation of late Pleistocene glacial events. *Science*, 269(5230), 1541-1549.

Maldonado, A., y Villagrán, C. (2002). Paleoenvironmental Changes in the Semiarid Coast of Chile (32°S) during the Last 6200 cal Years Inferred from a Swamp–Forest Pollen Record. *Quaternary Research*, 58(2), 130-138. doi:10.1006/qres.2002.2353

Maldonado, A., Betancourt, J. L., Latorre, C. and Villagran, C. (2005). Pollen analyses from a 50000-yr rodent midden series in the southern Atacama Desert (25° 30 S). *J. Quaternary Sci.*, Vol. 20 pp. 493–507. ISSN 0267-8179.

Maldonado, A., y Villagrán, C. (2006). Climate variability over the last 9900 cal yr BP from a swamp forest pollen record along the semiarid coast of Chile. *Quaternary Research*, 66(2), 246-258. doi:10.1016/j.yqres.2006.04.003

Malvern Instruments Ltd. (2007). *User manual Mastersizer 2000*. Worcestershire: Malvern Instruments Ltd.

Martel-Cea, A., Maldonado, A., Grosjean, M., Alvial, I., de Jong, R., Fritz, S., y von Gunten, L. (2016). Late Holocene environmental changes as recorded in the sediments of high Andean Laguna Chepical, Central Chile (32°S; 3050masl). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 461, 44-54.

Massaferro, J., Larocque-Tobler, I., Brooks, S. J., Vandergoes, M., Dieffenbacher-Krall, A., Moreno, P. (2014). Quantifying climate change in Huelmo mire (Chile, Northwestern Patagonia) during the Last Glacial Termination using a newly developed chironomid-based temperature model. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 399, 214-224. doi:10.1016/j.palaeo.2014.01.013

Mason, C., y Folk, R. (1958). Differentiation of beach, dune, and aeolian flat environments by size analysis, Mustang Island, Texas. *Journal of Sedimentary Research*, 28(2), 211-226.

McCammon, R. (1962). Efficiencies of percentile measures for describing the mean size and sorting of sedimentary particles. *Journal of Geology*, 70, 453-465.

Méndez, C., Gil, A., Neme, G., Nuevo, A., Cortegoso, V., Huidobro, C., . . . Maldonado, A. (2014). Mid Holocene radiocarbon ages in the Subtropical Andes ( 29° -35°S), climatic change and implications for human space organization. *Quaternary International*, 356, 15-26. doi:10.1016/j.quaint.2014.06.059

Meyers, P., y Lallier-Vergès, E. (1999). Lacustrine sedimentary organic matter records of Late Quaternary Paleoclimates. *Journal of Paleolimnology*, 21, 345-372. doi:10.1023/A:1008073732192

Mikutta, R., Kleber, M., Kaiser, K., y Jahn, R. (2005). Organic matter removal from soils using hydrogen peroxide, sodium hypochlorite, and disodium peroxodisulfate. *Soil Science Society of American Journal*, 69(1), 120-135.

Montecinos, A., y Aceituno, P. (2003). Seasonality of the ENSO-related rainfall variability in central Chile and associated circulation anomalies. *Journal of Climate*, 16(2), 281-296.

Munsell Color. (1994). *Munsell Soil Color Charts*. New Windsor: Macbeth Division of Kollmorgen Instruments Corporation.

Neme, G., y Gil, A. (2009). Human Occupation and Increasing Mid-Holocene Aridity: Southern Andean Perspectives. *Current Anthropology*, 50(1), 149-163. doi:10.1086/596199

Rein, B., Lückge, A., Reinhardt, L., Sirocko, F., Wolf, A., y Dullo, W. (2005). El Niño variability off Peru during the last 20,000 years. *Paleoceanography*, 20(4).

Rhein, A. (2016). *Informe sobre la pasantía en el Laboratorio de la Paleoecología/Paleoclima*, CEAZA, La Serena, Chile. La Serena: Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas.

Rodbell, D., Seltzer, G., Anderson, D., Abbott, M., Enfield, D., y Newman, J. (1999). A 15,000-year record of El Niño-driven alluviation in southwestern Ecuador. *Science*, 283(5401), 516-520.

Ruddiman, W. (1997). Sea surface temperature reconstruction from sediment core K708-007 (specmap.038). *PANGAEA*. doi:10.1594/PANGAEA.52224

Rutllant, J. (2004). Aspectos de la circulación atmosférica de gran escala asociada al ciclo ENOS 1997-1999 y sus consecuencias en el régimen de precipitación en Chile central. En S. Avaria, J. Carrasco, J. Rutllant, y E. Yáñez (Eds.), *El Niño-La Niña 1997-2000*. Sus Efectos en Chile (pp. 61-76). Valparaíso: CONA.

Rutllant, J., y Fuenzalida, H. (1991). Synoptic aspects of the Central Chile rainfall variability associated with the southern oscillation. *International Journal of Climatology*, 11(1), 63-76. doi:10.1002/joc.3370110105

Ryzak, M., y Bieganowski, A. (2011). Methodological aspects of determining soil particle-size distribution using the laser diffraction method. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 174(4), 624-633.

Saarse, L. (2015). Cyclic sedimentation pattern in Lake Veetka, southeast Estonia: A case study. *Geólogos*, 21(1), 59-69.

Sandweiss, D., y Quilter, J. (2012). Collation, Correlation, and Causation in the Prehistory of Coastal Peru. En J. Cooper y P. Sheets (Eds.), *Surviving Sudden Environmental Change: Answers From Archaeology* (pp. 117-142). Boulder: University Press of Colorado.

SERNAGEOMIN. (2003). Mapa Geológico de Chile: versión digital. *Publicación Geológica Digital* [CD-ROM versión 1.0, 2003]. Santiago: Servicio Nacional de Geología y Minería.

Shimadzu. (s/f). Shimadzu, Excellence in Science. Obtenido de <https://www.shimadzu.co.jp/>

Sperazza, M., Moore, J., y Hendrix, M. (2004). High-resolution particle size analysis of naturally occurring very fine-grained sediment through lase diffractometry. *Journal of Sedimentary Research*, 74(5), 736-743.

Stager, J., y Mayewski, P. (1997). Abrupt early to mid-Holocene climatic transition registered at the equator and the poles. *Science*, 276(5320), 1834-1836.

Terasmaa, J., Puusepp, L., Vandell, E., Marzecova, A., Koff, T., Vaasma, T., y Kangur, M. (2016). Main drivers affecting the Holocene sedimentary record-implications from small lake in Latvia. *Baltica*, 29(1).

Tiner, R., Negrini, R., Antinao, J., McDonald, E., y Maldonado, A. (2018). Geophysical and geochemical constraints on the age and paleoclimate implications of Holocene lacustrine cores from the Andes of central Chile. *Journal of Quaternary Science*, 33(2), 150-165. doi:10.1002/jqs.3012

van Geel, B., Heusser, C. J., Renssen, H., Schuurmans, C. J. E. (2000). Climatic change in Chile at around 2700 BP and global evidence for solar forcing: a hypothesis. *The Holocene*, 10(5), 659-664. <https://doi.org/10.1191/09596830094908>

Vaasma, T. (2008). Grain-size analysis of lacustrine sediments: A comparison of pre-treatment methods. *Estonian Journal of Ecology*, 57(4), 231-243. doi:10.3176/eco.2008.4.01

Valero-Garcés, B., Jenny, B., Rondanelli, R., Delgado-Huerta, A., Burns, S., Veit, H., y Moreno, A. (2005). Palaeohydrology of Laguna de Tagua Tagua (34° 30 S) and moisture fluctuations in Central Chile for the last 46000yr. *Journal of Quaternary Science*, 20(7-8), 625-641. doi:10.1002/jqs.988

Van Rijn, L. (1993). *Principles of sediment transport in rivers, estuaries and coastal seas*. Amsterdam: Aqua Publications.

Veit, H. (1996). Southern Westerlies during the Holocene deduced from geomorphological and pedological studies in the Norte Chico, Northern Chile (27–33°S). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 123(1-4), 107-119. doi:10.1016/0031-0182(95)00118-2

Vidal, L., Labeyrie, L., Cortijo, E., Arnold, M., Duplessy, J.C., Michel, E., Becque, S., Van Weering, T.C.E., (1997). Evidence for changes in the North Atlantic deep water linked to meltwater surges during Heinrich events. *Earth Planetary Science Letters* 146, 13–27.

Villagrán, C., y Varela, J. (1990). Palynological Evidence for Increased Aridity on the Central Chilean Coast during the Holocene. *Quaternary Research*, 34(2), 198-207. doi:10.1016/0033-5894(90)90031-F

Ward, D., Cesta, J., Galewsky, J., y Sagredo, E. (2015). Late Pleistocene glaciations of the arid subtropical Andes and new results from the Chajnantor Plateau, northern Chile. *Quaternary Science Reviews*, 128, 98-116.

Warrier, A., Pednekar, H., Mahesh, B., Mohan, R., y Gazi, S. (2016). Sediment grain size and surface textural observations of quartz grains in late quaternary lacustrine sediments from Schirmacher Oasis, East Antarctica: Paleoenvironmental significance. *Polar Science*, 10(1), 89.

Yamamoto, Atsuyuki Kanari, Seiichi Fukuo, Yoshiaki. (1973). Grain Size Analysis of Sediments and their Consolidation in a Core from Lake Biwa-ko. *Japanese Journal of Limnology (Rikusuigaku Zasshi)*. 34. 63-74. 10.3739/rikusui.34.63.

Yamamoto, Atsuyuki Kashiwaya, Kenji Fukuyama, Kaoru. (1985). Periodic variations of grain size in Pleistocene sediments in Lake Biwa and Earth-orbital cycles. *Geophysical Research Letters - GEOPHYS RES LETT*. 12. 585-588. 10.1029/GL012i009p00585.

Yuanda, Y., Hai, X., Jianghu, L., Dongna, Y., Kang, Z., Huixian, W., . . . Bin, L. (2018). Sedimentary grain size at Lake Chenghai, Yunnan Province: Indicator for water depth. *Quaternary Sciences*, 38(4), 1007-1016.

Zárate, M., Neme, G., y Gil, A. (2005). Mid-Holocene Paleoenvironments and human occupation in Southern South America. *Quaternary International*, 132(1), 1-3. doi:10.1016/j.quaint.2004.07.009

## 0.8. Anexos

**Protocolo para Preparación de Muestras Lacustres Basado en T. Vaasma (2008) “Grain-size analysis of lacustrine sediments: A comparison of pre-treatment methods”.**

**Objetivo:** Preparar las muestras lacustres con alto contenido orgánico para un posterior análisis granulométrico de manera de dejar la mayor cantidad de contenido lítico alóctono.

**Materiales:** Tubos Falcon, Base para tubos, Solución de HCl, Solución de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, Solución de KOH, Solución de (NaPO<sub>3</sub>)<sub>6</sub>, Agua Destilada, Agitador, Ultrasonido, Centrifugadora.

### **Procedimiento:**

#### I. Eliminación de carbonatos

1) Preparar una solución de HCl al 10 % con agua destilada (por ejemplo por un litro de agua destilada adicionar 100 ml de HCl).

2) Preparar una solución de (NaPO<sub>3</sub>)<sub>6</sub> al 1 % con agua destilada..

3) Poner 2 ml de solución de (NaPO<sub>3</sub>)<sub>6</sub> en cada tubo.

4) Adicionar 15 ml de la solución de HCl a cada muestra.

5) Colocar las muestras en agua por 5 hrs a 80°C.

6) Adicionar 20 ml de agua destilada a las muestras y centrifugar a 3500 rpm por 8 min. Dejar decantar y eliminar sobrenadante.

## II. Eliminación de Materia Orgánica

- 1) Preparar una solución de  $\text{H}_2\text{O}_2$  al 30 % con agua destilada.
- 2) Preparar una solución de  $(\text{NaPO}_3)_6$  al 1 % con agua destilada.
- 3) Adicionar 2 ml de la solución de  $(\text{NaPO}_3)_6$  a cada muestra.
- 4) Adicionar a cada tubo la solución de  $\text{H}_2\text{O}_2$  hasta que se vuelva color blanco.
- 5) Lavar cada muestra con agua destilada en la centrifugadora hasta lograr un medio neutro a 3.500 rpm por 8 min. Dejar decantar y eliminar sobrenadante.

### III. Eliminación de Diatomeas (restos biogénicos)

- 1) Preparar una solución al 10 % de KOH con agua destilada.
- 2) Preparar una solución de  $(\text{NaPO}_3)_6$  al 1 % con agua destilada.
- 3) Adicionar 2 ml de la solución de  $(\text{NaPO}_3)_6$  a cada muestra.
- 4) Adicionar 15 ml de la solución de KOH a cada muestra.
- 5) Colocar las muestras en agua por 30 min a  $80^\circ\text{C}$  o hasta que termine la reacción (deje de burbujear).
- 6) Lavar cada muestra con agua destilada en la centrifugadora hasta lograr un medio neutro a 3500 rpm por 8 min. Dejar decantar y eliminar sobrenadante.

Finalmente, dejar la muestra final con al menos 1 ml de solución de  $(\text{NaPO}_3)_6$  cubriendo la muestra. Revolver y dejar reposar por al menos 24 hrs antes del análisis granulometría.

## Obscuración Adecuada

La obscuración es una medida de la cantidad de luz del láser perdida al añadir muestra en el haz analizador estando directamente relacionada con la concentración y volumen de la muestra. Tomando en cuenta que las muestras de la laguna poseen una gran cantidad de materia orgánica y que a la vez, la cantidad de materia disponible a analizar es limitada, algunas de las concentraciones durante las pruebas y posterior tratamiento alcanzaban valores entre 1 a 3%. Un ideal recomendado por el fabricante del granulómetro es entre 3% y 20% como rango general, sin embargo, este rango es demasiado amplio.

Un valor de obscuración demasiado alto, como por ejemplo 30%, implica que este porcentaje del haz analizador está siendo perdido ya sea por dispersión o absorción. Aquí se puede apreciar lo importante que es que las partículas tengan un pre-tratamiento adecuado, de manera que no exista una concentración inestable al momento de añadir la muestra, tales como floculación, que podrían afectar las medidas de dispersión. Así, si la obscuración es demasiado alta, un gran número de dispersión se alcanzará pudiéndose generar interferencia entre las señales, por otro lado, si la obscuración es demasiado baja, la señal detectada podría ser demasiado débil perdiendo precisión en la medición (Malvern Instruments, 2007). A continuación en la Tabla 16 se pueden ver los valores recomendados por el fabricante dependiendo del tamaño de grano en la muestra:

Material	Obscuración
Muy Fino $>3$ o $4 \mu\text{m}$	10 %
Medio $>50 \mu\text{m}$	15 %
Grueso o con un amplio rango	20 %

Tabla 16: Tabla de osbcurationes recomendadas por el fabricantes de acuerdo al tipo de material para el Mastersizer (Malvern Instruments, 2007).

Un punto importante a considerar, es que también sugiere que la obscuración requerida puede ser determinada experimentalmente midiendo una misma muestra múltiples veces con diferentes obscuraciones, de manera de obtener el rango en el cual las medidas sean confiables y reproducibles. Sin embargo, existe una cantidad reducida de trabajos que han hecho estudios en sedimentos finos (arcillas y limo) como los que fueron analizados en este trabajo (Blott et al., 2004; Sperazza et al., 2004), para poder validar el uso de un porcentaje de obscuración tan bajo como el que se obtuvo en algunas de las muestras.

Autores como Sperazza et al. (2004) han encontrado, mediante experimentos a muestras que incluyen sedimentos lacustres finos, que a valores de obscuración menores a 5% la precisión es muy baja y se generan tendencias impredecibles. A su vez, a valores de obscuración altos la mediana del tamaño de grano decrecía lentamente, así como a medida que bajaban los valores de obscuración la mediana incrementaba.

Por otra parte, Blott et al. (2004) indica que resultados obtenidos con un 3 % son suficientes para obtener representatividad en la muestra, y que incluso con un 1 % pueden ser útiles aún (siendo la fracción menor a 500  $\mu\text{m}$  la que posee mayor reproducibilidad).

Para esto se realizaron múltiples pruebas entre las muestras tratadas que presentaban un volumen suficiente (ver Anexos Fig.68, Fig.69, Fig.70, Fig.70 para mayor detalle). En la Tabla 17, se pueden ver 6 análisis para una misma muestra. A partir de éstas se observó que globalmente tienden a conservar los parámetros estadísticos representativos, tales como el SPAN (índice de selección), uniformidad, mediana y promedio; sin embargo, para porcentajes menores a 3 % muestran un aumento o disminución, ya sea en la porción fina o más gruesa del sedimento, así como algunos valores aislados que también se dan a otros porcentajes que pueden deberse a factores aleatorios, como lo son presencia de burbujas y/o algún sedimento atrapado en el lente, esto se encuentra ejemplificado para la muestra LDV5-19-30 en la Fig.67 y Tabla 17:

Luego de las pruebas realizadas, se llegó a refinar el proceso de comparación llegando a la conclusión de que la máquina influía en gran medida en los resultados obtenidos. Si se realizaban múltiples pruebas seguidas sin alinear el eje del láser, una componente modal era distinta con respecto al ciclo anterior, esto probablemente asociado a una falta de mantenimiento y/o edad de la máquina. Si las pruebas se hacían de forma individual con ciclos con una alineación corregida, los resultados muestran distribuciones similares entre ellos (Fig.68, Fig.69, Fig.70, Fig.71), quedando validado el uso de bajas obscuraciones (4 % o menor) para sedimentos finos tratados con el protocolo usado en este trabajo.

Para complementar este estudio, se seleccionaron para todas las muestras que presentaron un porcentaje de obscuración menor a 4 %, la porción correspondiente al cm inmediatamente antes o después ellas, de esta forma se podría complementar la granulometría de la muestra para reforzar los parámetros del tramo.

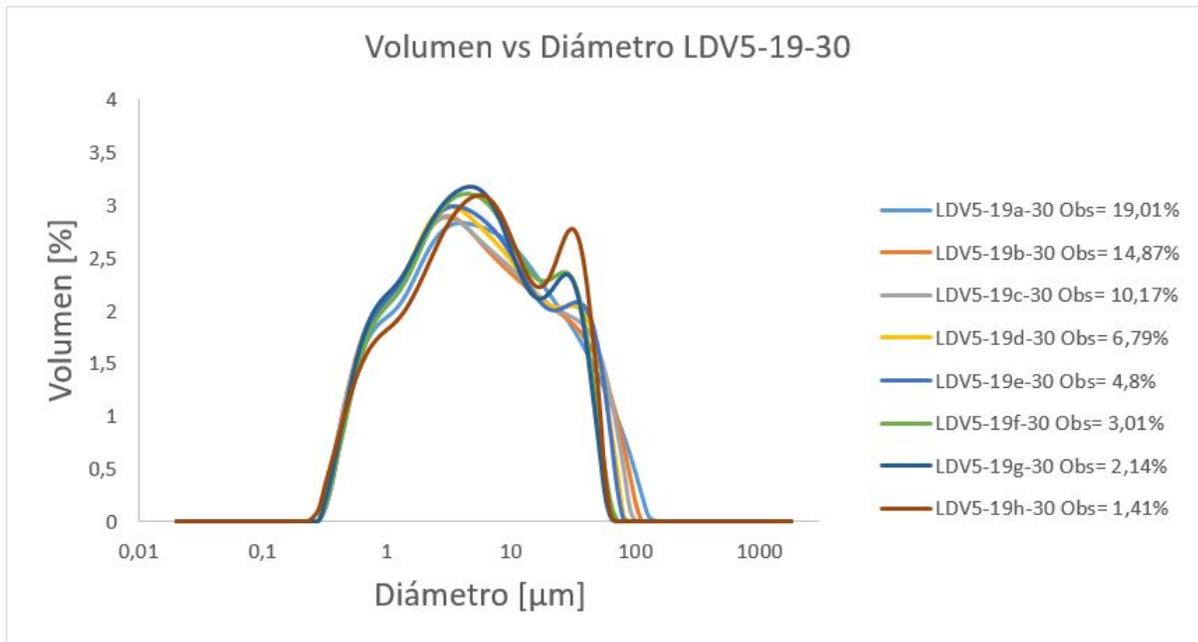
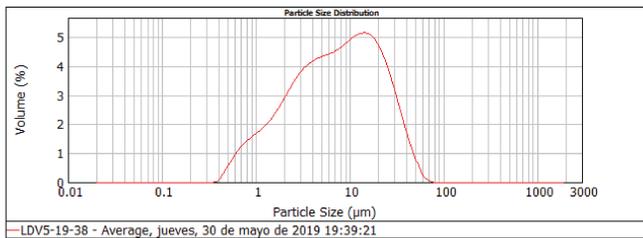
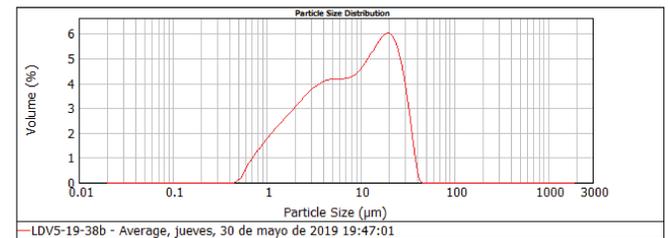


Figura 67: Gráfico Volumen vs Diámetro para la muestra LDV5-19-30. Se puede apreciar un comportamiento relativamente similar a distintos porcentajes con pequeñas variaciones en los porcentajes más bajos (líneas roja oscura y rojo claro).

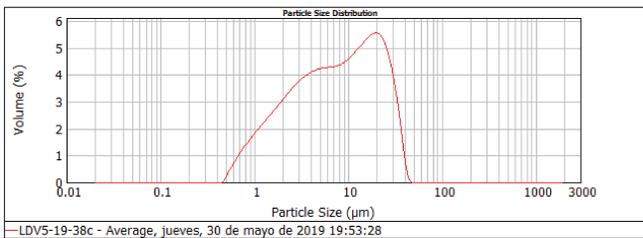
a) Obscuración = 2,98 %



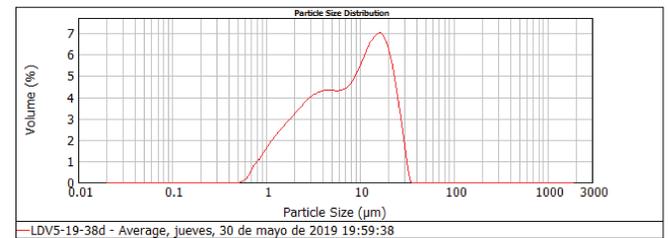
b) Obscuración = 1,10 %



c) Obscuración = 1,50 %



d) Obscuración = 0,53 %



e) Obscuración = 9,29 %

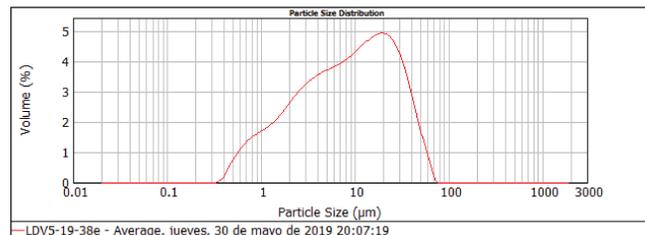
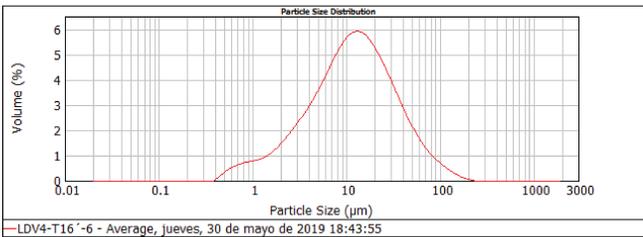
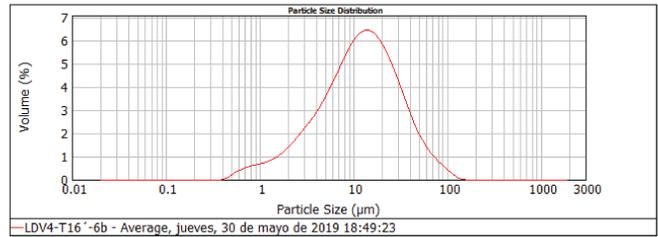


Figura 68: Pruebas de obscuración para la muestra LDV5-19-38 a los porcentajes de a) 2,98; b) 1,10; c) 1,50; d) 0,53; e) 9,29. En la imagen se puede ver que las modas se conservan incluso en porcentajes muy bajos como lo son los de la imagen d).

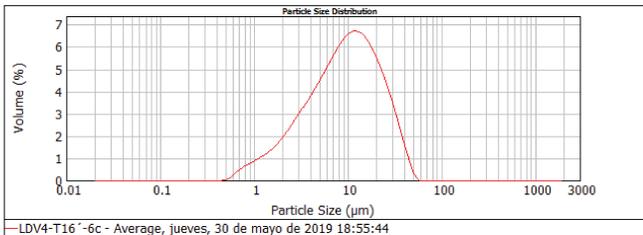
a) Obscuración = 10,47 %



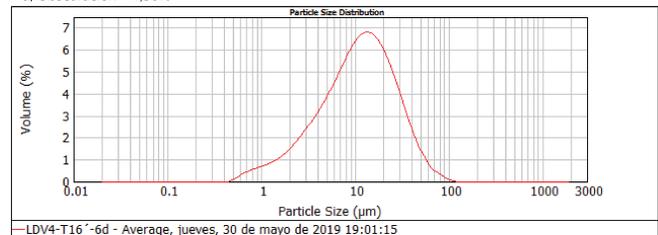
b) Obscuración = 3,03%



c) Obscuración = 0,78 %



d) Obscuración = 1,30%



e) Obscuración = 2,28%

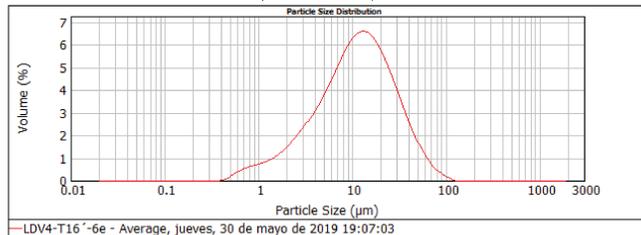
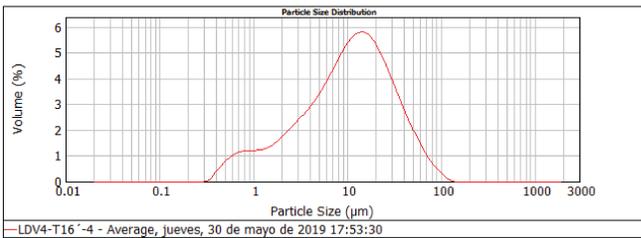
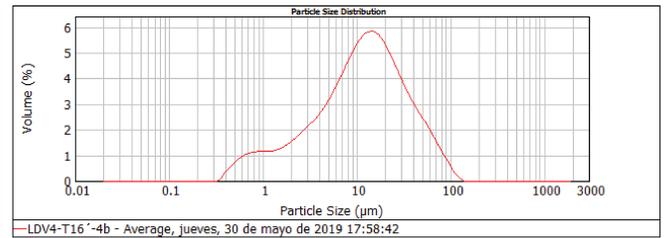


Figura 69: Pruebas de obscuración para la muestra LDV4-16'-6 a los porcentajes de a) 10,47; b) 3,03; c) 0,78; d) 1,30; e) 2,28. En la imagen se puede ver que las modas se conservan incluso en porcentajes muy bajos como lo son los de la imagen c) con respecto a una de alta concentración como a).

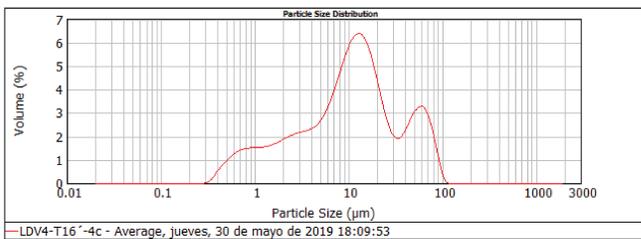
a) Obscuración = 9,14%



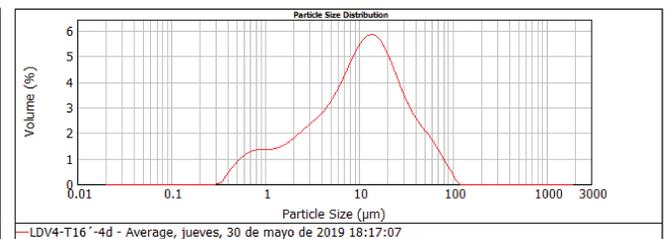
b) Obscuración = 3,89%



c) Obscuración = 0,68 %



d) Obscuración = 2,20%



e) Obscuración = 1,18%

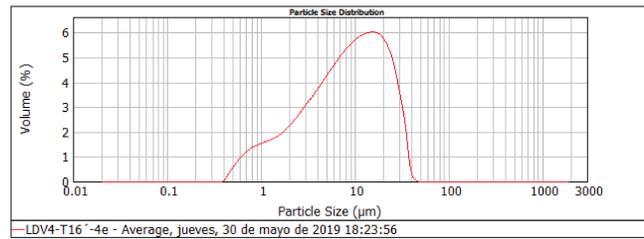
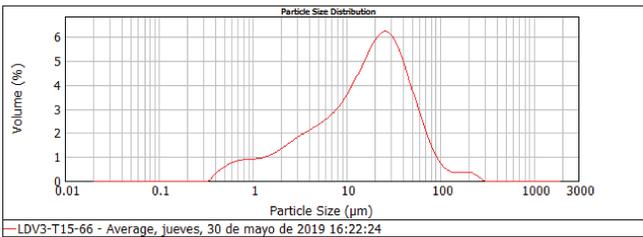
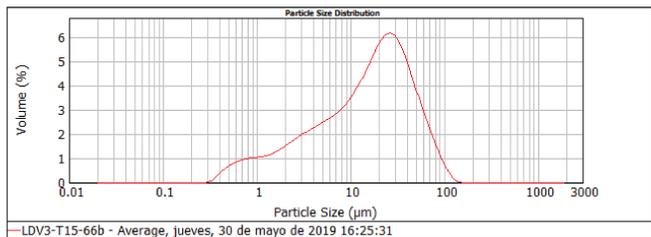


Figura 70: Pruebas de obscuración para la muestra LDV4-16'-4 a los porcentajes de a) 9,14; b) 3,89; c) 0,68; d) 2,20; e) 1,18.

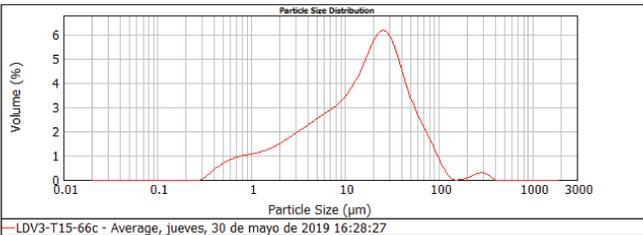
a) Obscuración = 4,85%



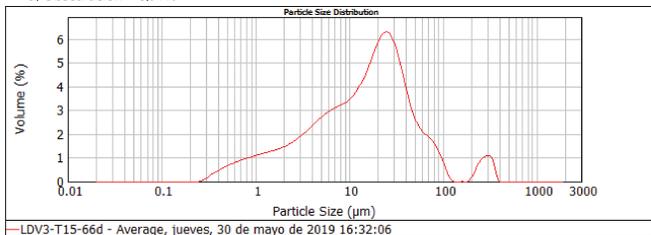
b) Obscuración = 2,79%



c) Obscuración = 1,46%



d) Obscuración = 0,91%



e) Obscuración = 0,64%

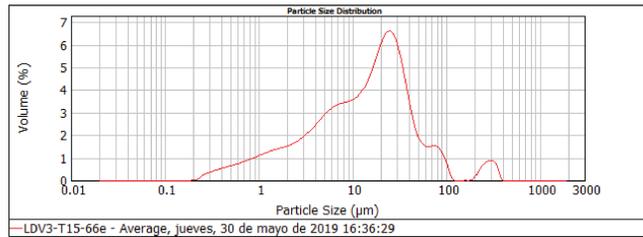


Figura 71: Pruebas de obscuración para la muestra LDV4-15 -66 a los porcentajes de a)4,85; b) 2,79; c) 1,46; d) 0,91; e) 0,64.

<b>Muestra</b>	<b>Obscuración [%]</b>	<b>Promedio [<math>\mu\text{m}</math>]</b>	<b>d (0.1)[<math>\mu\text{m}</math>]</b>	<b>d (0.5)[<math>\mu\text{m}</math>]</b>	<b>d (0.9)[<math>\mu\text{m}</math>]</b>
LDV5-19a-30	19,01	14,09	0,87	5,65	40,00
LDV5-19b-30	14,87	13,20	0,83	5,01	39,11
LDV5-19c-30	10,17	12,76	0,83	5,04	38,17
LDV5-19d-30	6,79	11,88	0,86	4,99	35,40
LDV5-19e-30	4,80	11,87	0,89	5,12	35,47
LDV5-19f-30	3,01	10,66	0,90	5,18	30,34
LDV5-19g-30	2,14	10,01	0,85	4,82	29,04
LDV5-19h-30	1,41	11,62	0,87	5,78	33,30

Tabla 17: Tabla resumen de los parámetros estadísticos generales para la muestra LDV5-19-30.

Prof. (cm)	Eddad Prom. (cal yr B.P.)	M. Inorg. (gr/cc)	T. S. (gr/cc*100 +/- 30 yr)
0	-71,30	0,13	
1	-49,30	0,12	
2	-27,30	0,15	
3	-5,30	0,13	
4	16,80	0,16	
5	38,80	0,20	0,90
6	75,30	0,16	
7	111,70	0,31	0,47
8	148,20	0,30	
9	184,70	0,24	
10	221,20	0,29	0,83
11	245,10	0,32	
12	268,90	0,28	
13	292,60	0,21	
14	316,40	0,28	1,09
15	340,30	0,11	
16	362,40	0,11	
17	384,80	0,20	
18	407,20	0,24	0,65
19	429,00	0,25	
20	450,70	0,16	
21	474,40	0,15	
22	498,20	0,10	0,66
23	522,00	0,13	
24	545,90	0,14	
25	569,60	0,19	
26	592,20	0,18	0,63
27	615,00	0,17	
28	637,70	0,20	
29	660,70	0,15	

Prof. (cm)	Edad Prom. (cal yr B.P.)	M. Inorg. (gr/cc)	T. S. (gr/cc*100 +/- 30 yr)
30	683,60	0,17	
31	712,00	0,17	0,86
32	740,30	0,23	
33	768,60	0,20	
34	796,50	0,22	0,64
35	824,50	0,14	
36	851,60	0,10	
37	878,50	0,13	
38	905,80	0,22	0,59
39	933,00	0,17	
40	959,90	0,22	
41	986,20	0,14	
42	1012,30	0,20	0,73
43	1039,00	0,21	
44	1065,60	0,36	
45	1092,10	0,36	0,93
46	1134,80	0,55	
47	1178,50	0,67	
48	1221,80	0,66	1,87
49	1264,70	1,00	
50	1307,50	1,24	2,23
51	1352,00	1,21	
52	1396,80	1,02	2,23
53	1441,60	1,42	
54	1486,70	1,82	
55	1532,20	1,56	4,80
56	1575,00	1,68	
57	1618,20	1,33	3,02
58	1662,10	0,46	
59	1705,90	0,19	0,65

Prof. (cm)	Edad Prom. (cal yr B.P.)	M. Inorg. (gr/cc)	T. S. (gr/cc*100 +/- 30 yr)
60	1748,80	0,36	
61	1783,40	0,19	
62	1818,10	0,11	0,66
63	1852,70	0,08	
64	1887,10	0,11	
65	1920,80	0,07	0,26
66	1954,50	0,05	
67	1988,10	0,09	
68	2021,40	0,12	0,26
69	2054,90	0,10	
70	2088,00	0,11	
71	2120,40	0,10	0,31
72	2153,40	0,13	
73	2186,80	0,17	
74	2220,00	0,16	0,46
75	2253,30	0,14	
76	2289,00	0,15	
77	2324,80	0,18	0,48
78	2361,00	0,16	
79	2397,50	0,16	
80	2433,80	0,26	0,58
81	2481,10	1,21	
82	2527,60	0,69	1,90
83	2574,10	0,38	
84	2620,50	0,36	0,74
85	2666,60	0,24	
86	2710,80	0,14	0,38
87	2755,20	0,23	
88	2799,60	0,69	0,93
89	2843,70	0,21	

Prof. (cm)	Edad Prom. (cal yr B.P.)	M. Inorg. (gr/cc)	T. S. (gr/cc*100 +/- 30 yr)
90	2887,70	0,14	0,35
91	2932,80	0,25	
92	2978,20	0,27	0,52
93	3023,70	0,29	
94	3069,40	0,21	0,50
95	3114,60	0,13	
96	3158,80	0,08	
97	3202,70	0,05	0,26
98	3246,60	0,05	
99	3290,80	0,05	0,10
100	3334,60	0,09	
101	3377,90	0,14	0,23
102	3422,10	0,11	
103	3466,70	0,07	0,18
104	3510,50	0,05	
105	3554,50	0,05	0,10
106	3599,00	0,03	
107	3644,10	0,05	0,08
108	3688,70	0,09	
109	3733,80	0,09	0,18
110	3778,60	0,13	
111	3824,20	0,13	0,26
112	3870,40	0,11	
113	3917,20	0,08	0,20
114	3963,20	0,10	
115	4009,80	0,12	0,22
116	4056,00	0,10	
117	4102,40	0,12	0,22
118	4149,50	0,09	
119	4196,60	0,06	0,15

Prof. (cm)	Edad Prom. (cal yr B.P.)	M. Inorg. (gr/cc)	T. S. (gr/cc*100 +/- 30 yr)
120	4243,80	0,06	
121	4279,80	0,05	0,11
122	4316,00	0,06	
123	4352,50	0,07	
124	4389,20	0,07	0,19
125	4425,60	0,10	
126	4445,40	0,11	
127	4465,10	0,11	
128	4484,80	0,06	0,37
129	4503,80	0,12	
130	4522,10	0,09	
131	4541,70	0,06	
132	4561,20	0,06	
133	4580,60	0,07	0,39
134	4599,90	0,08	
135	4619,60	0,09	
136	4638,40	0,10	
137	4657,00	0,11	
138	4675,70	0,07	0,45
139	4694,20	0,08	
140	4712,80	0,09	
141	4732,20	0,09	
142	4752,10	0,04	
143	4772,00	0,02	0,32
144	4791,50	0,05	
145	4811,20	0,07	
146	4829,70	0,08	
147	4848,60	0,05	
148	4867,50	0,10	0,35
149	4886,50	0,08	

Prof. (cm)	Edad Prom. (cal yr B.P.)	M. Inorg. (gr/cc)	T. S. (gr/cc*100 +/- 30 yr)
150	4905,60	0,07	
151	4924,70	0,09	
152	4944,50	0,09	
153	4964,30	0,09	
154	4984,30	0,12	0,54
155	5004,00	0,09	
156	5026,90	0,13	
157	5049,60	0,11	
158	5072,50	0,12	
159	5095,90	0,16	0,62
160	5118,90	0,13	
161	5143,40	0,14	
162	5167,80	0,08	
163	5192,50	0,07	0,41
164	5217,00	0,10	
165	5241,80	0,08	
166	5267,80	0,05	
167	5294,10	0,07	0,30
168	5320,20	0,06	
169	5346,40	0,12	
170	5372,40	0,08	
171	5397,90	0,06	0,32
172	5422,90	0,08	
173	5447,90	0,09	
174	5473,10	0,10	
175	5498,20	0,07	0,33
176	5523,70	0,05	
177	5549,10	0,06	
178	5574,60	0,06	
179	5600,10	0,08	0,25

Prof. (cm)	Edad Prom. (cal yr B.P.)	M. Inorg. (gr/cc)	T. S. (gr/cc*100 +/- 30 yr)
180	5625,00	0,10	
181	5649,90	0,10	
182	5675,00	0,06	
183	5700,20	0,07	0,32
184	5725,60	0,08	
185	5750,80	0,11	
186	5776,20	0,10	
187	5801,60	0,11	0,40
188	5826,80	0,09	
189	5852,10	0,09	
190	5877,70	0,08	
191	5903,20	0,09	0,35
192	5928,90	0,10	
193	5954,30	0,10	
194	5980,50	0,20	
195	6006,20	0,27	0,67
196	6032,00	0,19	
197	6057,30	0,39	
198	6083,20	0,36	
199	6108,70	0,13	1,07
200	6133,80	0,17	
201	6159,10	0,19	
202	6184,40	0,09	
203	6210,00	0,12	0,57
204	6235,30	0,13	
205	6260,70	0,14	
206	6286,70	0,17	
207	6312,50	0,17	0,62
208	6338,60	0,12	
209	6364,10	0,15	

Prof. (cm)	Edad Prom. (cal yr B.P.)	M. Inorg. (gr/cc)	T. S. (gr/cc*100 +/- 30 yr)
210	6389,90	0,17	
211	6416,00	0,22	0,66
212	6442,10	0,22	
213	6468,30	0,23	
214	6493,90	0,21	
215	6519,70	0,20	0,87
216	6545,00	0,19	
217	6570,40	0,29	
218	6596,20	0,21	
219	6621,60	0,09	0,78
220	6647,40	0,17	
221	6673,10	0,20	
222	6698,80	0,18	
223	6724,40	0,24	0,79
224	6750,20	0,19	
225	6775,60	0,11	
226	6801,80	0,17	
227	6827,30	0,14	0,62
228	6853,20	0,16	
229	6878,60	0,16	
230	6904,20	0,10	
231	6929,10	0,08	0,51
232	6954,80	0,09	
233	6979,90	0,16	
234	7005,10	0,09	
235	7030,60	0,09	0,43
236	7056,20	0,07	
237	7081,40	0,10	
238	7106,60	0,10	
239	7132,70	0,10	0,37

Prof. (cm)	Edad Prom. (cal yr B.P.)	M. Inorg. (gr/cc)	T. S. (gr/cc*100 +/- 30 yr)
240	7158,30	0,09	
241	7182,30	0,20	
242	7206,70	0,27	
243	7231,10	0,19	0,74
244	7256,10	0,20	
245	7280,90	0,26	
246	7306,40	0,43	
247	7332,10	0,12	1,01
248	7357,70	0,11	
249	7383,70	0,09	
250	7409,40	0,15	
251	7434,00	0,11	0,47
252	7458,70	0,16	
253	7484,40	0,10	
254	7510,40	0,10	
255	7536,80	0,16	0,52
256	7566,50	0,15	
257	7596,10	0,17	
258	7626,40	0,27	0,59
259	7656,90	0,27	
260	7687,10	0,21	
261	7725,10	0,19	0,67
262	7763,00	0,20	
263	7800,50	0,24	
264	7838,10	0,18	0,62
265	7873,70	0,19	
266	7911,40	0,26	
267	7949,00	0,30	0,74
268	7986,40	0,22	
269	8023,90	0,20	

Prof. (cm)	Edad Prom. (cal yr B.P.)	M. Inorg. (gr/cc)	T. S. (gr/cc*100 +/- 30 yr)
270	8060,90	0,22	0,63
271	8097,10	0,19	
272	8133,50	0,23	
273	8169,80	0,19	0,61
274	8206,30	0,28	
275	8242,30	0,29	
276	8279,90	0,21	0,79
277	8317,40	0,30	
278	8355,00	0,30	
279	8391,80	0,30	0,90
280	8428,70	0,28	
281	8465,90	0,32	
282	8503,30	0,30	0,90
283	8540,70	0,36	
284	8577,90	0,34	
285	8615,60	0,30	1,00
286	8653,90	0,33	
287	8692,10	0,63	
288	8730,20	0,37	1,33
289	8768,80	0,21	
290	8806,80	0,23	
291	8845,00	0,22	0,66
292	8883,20	0,24	
293	8920,70	0,24	
294	8959,20	0,14	0,62
295	8997,50	0,19	
296	9035,40	0,17	0,37
297	9074,00	0,15	
298	9112,20	0,18	
299	9150,60	0,19	0,52

Prof. (cm)	Edad Prom. (cal yr B.P.)	M. Inorg. (gr/cc)	T. S. (gr/cc*100 +/- 30 yr)
300	9189,20	0,24	
301	9226,90	0,25	
302	9264,50	0,22	0,71
303	9302,40	0,16	
304	9340,10	0,16	
305	9377,70	0,11	0,43
306	9415,10	0,19	
307	9452,40	0,20	0,39
308	9489,80	0,21	
309	9526,60	0,19	
310	9563,80	0,23	0,62
311	9598,90	0,15	
312	9635,20	0,19	0,34
313	9671,70	0,22	
314	9708,00	0,19	
315	9744,70	0,35	0,76
316	9782,10	0,49	
317	9820,40	0,25	
318	9858,30	0,28	1,02
319	9895,90	0,15	
320	9932,20	0,15	
321	9967,60	0,21	0,52
322	10003,10	0,15	
323	10038,90	0,18	
324	10074,50	0,19	0,51
325	10111,50	0,22	
326	10178,60	0,28	0,50
327	10246,20	0,22	
328	10314,60	0,14	
329	10382,20	0,22	0,58

Prof. (cm)	Edad Prom. (cal yr B.P.)	M. Inorg. (gr/cc)	T. S. (gr/cc*100 +/- 30 yr)
330	10448,90	0,31	
331	10526,00	0,23	0,53
332	10602,90	0,23	0,23
333	10679,60	0,19	0,19
334	10757,30	0,18	0,18
335	10834,30	0,16	0,16
336	10913,50	0,22	0,22
337	10992,80	0,19	0,19
338	11072,30	0,22	0,22
339	11151,20	0,24	0,24
340	11229,10	0,30	0,30
341	11310,20	0,29	0,29
342	11390,70	0,31	0,31
343	11470,90	0,29	0,29
344	11551,40	0,30	0,30
345	11631,60	0,31	0,31
346	11709,70	0,27	0,27
347	11788,20	0,32	0,32
348	11865,60	0,28	0,28
349	11943,70	0,34	0,34
350	12020,20	0,28	0,28
351	12100,00	0,30	0,30
352	12180,60	0,30	0,30
353	12260,20	0,41	0,41
354	12339,90	0,34	0,34
355	12419,50	0,34	0,34
356	12500,70	0,32	0,32
357	12582,30	0,29	0,29
358	12662,90	0,24	0,24
359	12744,10	0,28	0,28

Prof. (cm)	Edad Prom. (cal yr B.P.)	M. Inorg. (gr/cc)	T. S. (gr/cc*100 +/- 30 yr)
360	12825,00	0,33	0,33
361	12902,50	0,30	0,30
362	12980,10	0,29	0,29
363	13057,90	0,28	0,28
364	13136,00	0,33	0,33
365	13213,30	0,37	0,37
366	13288,50	0,36	0,36
367	13365,30	0,33	0,33
368	13441,10	0,41	0,41
369	13518,30	0,48	0,48
370	13594,10	0,32	0,32
371	13670,80	0,32	0,32
372	13746,70	0,29	0,29
373	13823,20	0,37	0,37
374	13899,70	0,42	0,42
375	13975,00	0,48	0,48
376	14013,40	0,57	
377	14052,40	0,52	
378	14090,80	0,56	1,65
379	14129,20	0,82	
380	14167,10	0,67	
381	14193,90	0,41	1,90
382	14220,90	0,51	
383	14247,30	0,49	
384	14274,80	0,53	
385	14301,10	0,46	1,99
386	14327,70	0,45	
387	14355,40	0,51	
388	14381,30	0,98	
389	14408,30	0,67	2,62

Prof. (cm)	Edad Prom. (cal yr B.P.)	M. Inorg. (gr/cc)	T. S. (gr/cc*100 +/- 30 yr)
390	14435,90	0,63	
391	14462,20	0,55	
392	14488,80	0,54	
393	14515,40	0,50	2,22
394	14541,60	0,58	
395	14568,10	0,67	
396	14595,00	0,50	
397	14621,50	0,51	2,27
398	14648,70	0,58	
399	14675,40	0,63	
400	14701,50	0,06	1,27

Tabla 18: Tasa de sedimentación cada 100 cal yr B.P. con un rango de error de 30 cal yr B.P. antes o después de materia inorgánica en la Laguna del Viento a partir del modelo cronológico del CEAZA. El rango de error se debe a la naturaleza no lineal del modelo cronológico. De izquierda a derecha se muestra la profundidad, edad promedio, materia inorgánica y tasa de sedimentación.

Sample	D10 (um)	D50 (um)	D90 (mm)	Profundidad [cm]
LdV-T1-2	24,93	263,86	598,71	1,00
LdV-T1-3	14,60	189,41	509,76	2,00
LdV-T1-4	30,37	260,40	610,90	3,00
LDV-T1-5	24,93	263,86	598,71	4,00
LDV-T1-6	13,45	416,05	1673,91	5,00
LDV-T1-7	1,844	20,69	186,3	7,00
LdV-T2-2	2,15	24,69	225,35	8,00
LdV-T2-4	1,37	9,65	60,99	10,00
LdV-T2-6	1,56	11,00	48,49	12,00
LdV-T2-8	1,44	9,12	55,55	14,00
LDV-T2-10	3,67	58,26	270,78	16,00
LDV-T2-12	1,24	14,29	70,39	18,00
LDV-T3-1	1,95	11,79	47,58	19,50
LDV-T3-2	11,61	101,82	367,20	21,00
LDV-T3-3	6,77	66,07	178,98	22,00
LDV-T3-5	9,80	125,37	305,80	24,00
LDV-T3-6	1,81	23,20	111,81	25,00
LDV-T3-7	2,03	15,60	71,21	26,00
LDV-T3-9	2,29	19,59	100,75	28,00
LDV-T3-11	3,58	17,80	97,42	30,00
LDV-T3-13	2,12	17,51	194,00	32,00
LDV-T4-1	1,88	11,30	61,59	34,00
LDV-T4-2	1,49	5,88	40,06	35,00
LDV-T4-3	5,39	85,74	258,16	36,00
LDV-T4-5	3,16	17,16	75,79	38,00
LDV-T4-7	1,63	10,60	39,57	40,00
LDV-T4-9	1,08	7,98	32,47	42,00
LDV-T4-11	1,160	6,450	22,76	43,00
LDV-T5-1	1,39	8,41	29,15	44,50
LDV-T5-3	1,22	22,45	644,68	47,00

Sample	D10 (µm)	D50 (µm)	D90 (mm)	Profundidad [cm]
LDV-T5-5	1,77	6,07	619,69	49,00
LDV-T5-7	2,53	12,36	596,49	51,00
LDV-T5-9e	2,11	12,43	30,35	53,00
LdV-T5-11c	2,44	13,63	32,18	55,00
LDV-T5-13	3,15	20,34	626,09	57,00
LDV-T6-1	2,08	13,34	62,66	58,50
LDV-T6-3	2,53	22,41	95,53	61,00
LDV-T6-5	9,98	88,18	262,14	63,00
LDV-T6-6	1,83	9,31	80,30	64,00
LDV-T6-7	3,59	29,34	121,12	65,00
LDV-T6-8	2,15	28,72	185,59	66,00
LDV-T6-9	4,71	17,73	68,58	67,00
LDV-T6-11	2,31	16,76	81,56	69,00
LdV-T6-13	19,24	151,74	472,70	71,00
LDV-T6-15	1,31	12,78	49,56	73,00
LDV-T6-17	2,82	14,47	52,25	75,00
LdV-T6-19	3,30	41,69	241,54	77,00
LdV-T6-21	8,91	180,38	572,67	79,00
LDV-T7-2	1,37	5,29	15,84	82,00
LdV7-T7-4b	1,74	8,48	25,08	84,00
LDV-T7-6	1,36	25,49	328,66	86,00
LDV-T7-8b	1,91	10,83	620,17	88,00
LDV-T8-1	7,66	118,55	328,89	90,00
LDV-T8-2	1,440	9,638	39,60	91,00
LDV-T8-3	2,86	15,16	74,28	92,00
LDV2-T9-1	10,15	150,67	672,21	93,50
LDV2-T9-2	1,36	6,68	68,87	94,00
LDV2-T9-3	16,89	107,91	556,75	95,00
LDV2-T9-5	2,55	20,09	103,24	97,00
LDV2-T9-6	1,63	15,66	83,49	98,00

Sample	D10 (um)	D50 (um)	D90 (mm)	Profundidad [cm]
LDV2-T9-7	4,45	61,11	335,20	99,00
LDV2-T9-8	1,19	6,67	50,12	100,00
LDV2-T9-9	2,75	40,66	1233,11	101,00
LDV2-T10-1	1,63	14,11	62,62	103,00
LDV2-T10-2	3,28	29,02	141,41	104,00
LDV2-T10-3	1,62	10,69	53,70	105,00
LDV2-T10-4	2,45	17,44	57,75	106,00
LDV2-T10-5	1,66	15,11	68,69	107,00
LDV2-T10-6	3,94	36,22	124,50	108,00
LDV2-T10-8	2,84	17,21	63,95	110,00
LDV2-T10-9	3,48	20,15	92,62	111,00
LdV2-T10-10	6,99	24,27	80,58	112,00
LDV2-T10-11	1,73	12,68	68,30	113,00
LdV2-T10-12	14,72	171,66	612,54	114,00
LDV2-T10-13	1,84	14,79	59,27	115,00
LDV2-T10-14	7,69	63,70	279,07	116,00
LDV2-T10-15	1,95	17,05	84,11	117,00
LDV2-T10-16	3,60	40,83	271,69	118,00
LDV2-T10-17	1,58	10,72	58,03	119,00
LDV2-T10-18	13,71	512,97	666,10	120,00
LDV2-T10-19	1,77	15,74	125,37	121,00
LDV2-T10-20	4,13	30,70	105,27	122,00
LDV2-T10-21	2,05	16,49	64,25	123,00
LDV2-T10-22	10,12	90,39	488,35	124,00
LDV2-T10-23	1,83	12,96	42,80	125,00
LDV2-T10-24	2,28	16,13	72,12	126,00
LDV2-T10-25	1,47	12,14	56,04	127,00
LDV2-T10-26	3,74	27,27	96,49	128,00
LDV2-T10-27	1,94	22,38	556,90	129,00
LDV2-T10-28	3,84	21,54	68,00	130,00

Sample	D10 (µm)	D50 (µm)	D90 (mm)	Profundidad [cm]
LDV2-T10-29	1,41	21,07	330,72	131,00
LDV2-T10-30	10,23	94,69	487,31	132,00
LDV2-T10-31	2,20	19,87	86,41	133,00
LDV2-T10-32	3,60	16,82	57,68	134,00
LDV2-T10-33	1,53	14,04	78,10	135,00
LDV2-T10-34	3,72	24,07	132,76	136,00
LDV2-T10-36	8,44	73,49	469,89	138,00
LDV2-T10-38	16,33	173,95	510,89	140,00
LdV2-T10-40	9,22	42,53	282,55	142,00
LDV2-T10-41	1,88	12,71	64,25	143,00
LDV2-T10-42	4,56	19,07	82,61	144,00
LDV2-T10-44	21,88	1101,31	1695,70	146,00
LDV2-T10-45	2,00	16,91	81,66	147,00
LDV2-T10-46	3,90	26,05	167,12	148,00
LDV2-T11-1	3,35	47,29	269,07	149,00
LDV-T11-2	2,47	16,15	102,00	150,00
LDV2-T11-3	1,42	12,83	261,01	151,00
LDV2-T11-4	4,68	895,05	1682,91	152,00
LDV2-T11-5	1,62	12,13	60,20	153,00
LDV2-T11-6	3,77	22,70	253,81	154,00
LDV2-T11-7	4,88	51,05	298,30	155,00
LDV2-T11-8	9,39	67,83	297,77	156,00
LDV2-T11-9	7,44	50,39	457,32	157,00
LDV2-T11-10	17,74	145,97	509,75	158,00
LDV2-T11-12	5,78	35,08	140,82	160,00
LDV2-T11-14	16,36	210,44	558,08	162,00
LDV2-T11-15	2,00	19,06	83,02	163,00
LDV2-T11-16	8,25	77,80	372,53	164,00
LDV2-T11-17	6,84	41,73	130,84	165,00
LDV2-T11-19	3,28	23,97	163,27	167,00

Sample	D10 (um)	D50 (um)	D90 (mm)	Profundidad [cm]
LDV2-T11-20	3,82	22,57	72,51	168,00
LDV2-T11-21	4,87	41,48	331,96	169,00
LDV2-T11-23	9,64	168,02	1451,26	171,00
LDV2-T11-24	3,92	23,41	94,83	172,00
LDV2-T11-25	2,87	24,52	103,66	173,00
LDV2-T12-2	6,83	55,37	232,73	176,00
LDV2-T12-3	1,39	7,54	49,15	177,00
LDV2-T12-5	1,93	18,10	65,62	179,00
LDV2-T12-6	2,22	16,98	72,16	180,00
LDV3-T13 -2	19,91	129,10	471,43	181,00
LDV3-T13 -4	23,61	209,77	640,70	183,00
LDV3-T13-6	1,32	11,24	46,31	185,00
LDV3-T14-8	1,47	10,04	105,69	188,00
LDV3-T14-10	2,30	37,77	159,66	190,00
LDV3-T14-11a	1,315	6,907	27,31	191,00
LDV3-T14-13a	1,477	6,661	28,25	193,00
LDV3-T14-14	1,30	5,31	163,41	194,00
LDV3-T14-16	4,82	61,81	311,19	196,00
LDV3-T14-18	23,45	290,67	912,21	198,00
LDV3-T14-20	5,12	38,10	397,43	200,00
LDV3-T14-22	1,62	9,69	43,79	202,00
LDV3-T14-24	7,46	131,89	547,26	204,00
LDV3-T14-26	1,14	7,48	67,80	206,00
LDV3-T14-28	1,89	12,18	44,46	208,00
LDV3-T14-30	3,45	55,13	365,68	210,00
LDV3-T14-32	1,44	5,04	15,57	212,00
LDV3-T14-34	39,16	1206,48	1760,00	214,00
LDV3-T14-36	5,42	79,05	340,56	216,00
LDV3-T14-38	2,46	38,91	356,19	218,00
LDV3-T14-40	2,91	42,80	327,90	220,00

Sample	D10 (µm)	D50 (µm)	D90 (mm)	Profundidad [cm]
LDV3-T14-42	3,60	19,64	84,82	222,00
LDV3-T14-44	3,87	64,66	336,22	224,00
LDV3-T14-46	29,31	242,07	644,63	226,00
LDV3-T14-48	1,86	23,00	105,57	228,00
LDV3-T14-50	2,73	30,81	95,74	230,00
LDV3-T15-52	16,00	97,13	412,48	232,00
LDV3-T15-54	7,96	112,05	322,02	234,00
LDV3-T15-56	2,45	36,95	206,53	236,00
LDV3-T15-58	1,45	13,04	56,77	238,00
LDV3-T15-60	3,21	27,95	169,72	240,00
LDV3-T15-62	2,73	36,31	136,31	242,00
LDV3-T15-64	2,26	30,73	129,20	244,00
LDV3-T15-66	2,44	20,01	61,70	246,00
LDV3-T15-68	1,64	11,65	49,91	248,00
LDV3-T15-70	11,18	69,04	249,85	250,00
LDV3-T16-72	2,90	24,44	99,60	251,50
LDV3-T16-74	1,97	29,55	97,12	253,00
LDV3-T16-76	2,84	16,89	54,14	255,00
LDV3-T16-78	1,72	18,57	64,03	257,00
LDV3-T16-80	3,80	23,77	1548,32	259,00
LDV3-T16-82	3,19	25,17	1303,91	261,00
LDV3-T16-84	2,98	17,09	56,73	263,00
LDV3-T16-86	1,91	16,07	52,93	265,00
LDV3-T16-88	1,65	17,00	58,55	267,00
LDV3-T16-90	1,33	11,33	44,53	269,00
LDV3-T16-92	2,46	14,86	50,27	271,00
LDV3-T16-94	2,60	30,82	291,42	273,00
LDV-T16'-2	4,26	85,42	1762,61	274,00
LDV-T16'-4	1,82	12,36	42,43	276,00
LDV-T16'-6	2,78	13,42	48,70	278,00

Sample	D10 (um)	D50 (um)	D90 (mm)	Profundidad [cm]
LDV4-T16'-8	1,39	6,41	29,35	280,00
LDV4-T17-2	2,34	24,41	110,14	283,00
LDV4-T17-4	1,51	11,48	42,21	285,00
LDV4-T17-6	2,66	16,85	62,52	287,00
LDV4-T17-8	1,95	18,20	66,14	289,00
LDV4-T17-10	2,45	13,14	54,65	291,00
LDV4-T17-12	3,38	27,36	170,29	293,00
LDV4-T17-14	2,52	19,56	68,99	295,00
LDV4-T17-16	2,65	21,09	88,70	297,00
LDV4-T17-18	2,65	11,87	37,18	299,00
LDV4-T17-20	2,37	11,96	35,92	301,00
LDV4-T17-22	2,08	18,32	84,12	303,00
LDV4-T17-24	2,07	16,51	57,36	305,00
LDV4-T17-26	1,87	20,05	78,63	307,00
LDV4-T17-28	2,10	13,36	52,87	309,00
LDV4-T17-30b	1,78	9,84	39,98	311,00
LDV4-T17-32	2,35	13,67	50,39	312,00
LDV4-T17-34	1,60	11,11	46,59	313,00
LDV4-T17-36	2,94	22,65	96,17	315,00
LDV4-T17-38	1,86	11,00	35,53	317,00
LDV4-T17-40	1,89	14,61	67,07	319,00
LDV4-T17-42	2,10	13,73	103,35	321,00
LDV4-T17-44	4,42	29,87	110,95	323,00
LDV2-T18-1	1,94	19,04	95,53	325,00
LDV4-T18-2	3,17	18,72	61,85	326,00
LDV4-T18-4	3,06	26,99	81,90	327,00
LDV4-T18-6	3,85	26,88	1635,68	329,00
LDV4-T18-8	4,06	16,70	61,78	331,00
LDV4-T18-10	2,38	15,60	60,48	333,00
LDV4-T18-12	2,78	42,40	144,65	335,00

Sample	D10 (µm)	D50 (µm)	D90 (mm)	Profundidad [cm]
LDV4-T18-14	2,86	15,03	47,83	337,00
LDV4-T18-16	1,61	12,88	53,72	339,00
LDV4-T18-18	1,59	13,99	55,00	341,00
LDV4-T18-20	1,21	7,56	43,76	343,00
LDV4-T18-22	2,32	19,80	73,77	345,00
LDV4-T18-24	1,54	17,37	66,77	347,00
LDV4-T18-26	2,56	21,83	85,11	349,00
LDV4-T18-28	3,85	23,53	65,38	351,00
LDV4-T18-30	2,62	24,40	67,59	353,00
LDV4-T18-32	3,00	20,19	69,59	355,00
LDV4-T18-34	1,66	11,65	45,65	357,00
LDV4-T18-35	2,03	12,33	45,41	359,00
LDV4-T18-36	1,63	10,90	38,24	360,00
LDV4-T18-38	3,47	20,76	69,66	361,00
LDV4-T18-40	4,28	56,99	137,76	363,00
LDV4-T18-42	1,38	8,64	53,11	365,00
LDV4-T18-44	2,41	28,94	1677,15	367,00
LDV4-T18-46	1,29	7,23	25,29	369,00
LDV4-T18-48	2,41	28,94	1677,15	371,00
LDV5-18' -2	1,674	33,08	105,3	372,00
LDV5-18' -4	1,210	7,956	49,15	374,00
LDV5-18' -6	0,987	14,19	81,11	376,00
LDV5-19 - 8	1,256	7,292	25,47	378,00
LDV5-19 - 10	0,856	4,381	41,55	380,00
LDV5-19 - 12	0,997	6,274	43,40	382,00
LDV5-19 - 14	0,986	8,127	51,70	384,00
LDV5-19 - 16	0,826	4,610	50,69	386,00
LDV5-19 - 18	0,871	6,418	54,17	388,00
LDV5-19 - 20	0,850	5,251	58,79	390,00
LDV5-19 -22	0,852	5,652	55,39	392,00

Sample	D10 (um)	D50 (um)	D90 (mm)	Profundidad [cm]
LDV5-19 - 24	0,921	5,884	44,89	394,00
LDV5-19 - 26	1,061	11,01	90,35	396,00
LDV5-19 - 28	1,118	6,961	32,73	398,00
LDV5-19 - 30	0,927	5,620	43,90	400,00
LDV5-19 - 32	1,190	10,83	59,59	402,00
LDV5-19 - 34	0,991	10,27	40,89	404,00
LDV5-19 - 36	0,954	6,669	46,21	406,00
LDV5-19 - 38	1,629	10,37	42,38	408,00
LDV5-19 - 40	0,900	4,323	56,79	410,00
LDV5-19 - 42	0,828	3,660	23,01	412,00
LDV5-19 - 44	1,142	6,219	24,42	414,00
LDV5-19 - 46	0,868	3,728	22,80	416,00
LDV5-19 - 48	1,237	5,184	17,25	418,00
LDV5-19 - 50	1,012	5,079	21,00	420,00
LDV5-19 - 54	1,028	4,908	20,09	422,00
LDV5-19 - 56	1,081	5,313	24,55	424,00
LDV5-19 - 58	0,833	2,887	67,99	426,00
LDV5-19 - 60	1,943	16,68	48,05	428,00
LDV5-19 - 62	1,633	17,31	53,85	430,00
LDV5-19 - 64	1,862	20,71	77,23	432,00
LDV5-19 - 66	1,070	10,21	382,2	434,00
LDV5-19 - 68	0,985	4,712	19,91	436,00

Tabla 19: Tabla con las muestras utilizadas en este trabajo y sus respectivos parámetros de: D10; D50; D90; ; y Profundidad.

Sample	MEAN (um)	S (um)	SK (um)	K (um)	SPAN (um)	Prof. [cm]
LdV-T1-2	176,64	3,89	-1,71	5,82	2,17	1,00
LdV-T1-3	120,86	4,42	-1,36	4,55	2,61	2,00
LdV-T1-4	184,29	3,58	-1,64	5,89	2,23	3,00
LDV-T1-5	16,46	5,91	0,18	2,20	2,17	4,00
LDV-T1-6	225,23	7,88	-1,08	3,31	3,99	5,00
LDV-T1-7	19,92	5,551	-0,127	2,175	8,92	7,00
LdV-T2-2	23,17	5,45	-0,22	2,25	9,04	8,00
LdV-T2-4	9,72	4,20	0,13	2,73	6,18	10,00
LdV-T2-6	9,82	3,50	-0,35	2,58	4,27	12,00
LdV-T2-8	9,37	4,06	0,15	2,68	5,93	14,00
LDV-T2-10	43,24	5,03	-0,77	2,86	4,58	16,00
LDV-T2-12	12,19	4,94	-0,01	2,51	4,84	18,00
LDV-T3-1	10,42	3,23	-0,29	2,23	3,87	19,50
LDV-T3-2	78,15	4,13	-1,12	4,26	3,49	21,00
LDV-T3-3	46,81	3,76	-1,20	4,11	2,61	22,00
LDV-T3-5	78,33	4,14	-1,30	4,27	2,36	24,00
LDV-T3-6	17,50	4,75	-0,41	2,12	4,74	25,00
LDV-T3-7	13,65	3,88	-0,29	2,56	4,44	26,00
LDV-T3-9	17,03	4,21	-0,26	2,53	5,03	28,00
LDV-T3-11	17,63	3,61	-0,20	3,18	5,27	30,00
LDV-T3-13	17,51	4,86	0,00	2,51	10,96	32,00
LDV-T4-1	12,72	5,53	1,12	4,80	5,29	34,00
LDV-T4-2	6,61	3,34	0,38	2,90	6,57	35,00
LDV-T4-3	56,33	4,46	-1,10	3,57	2,95	36,00
LDV-T4-5	15,96	3,36	-0,45	3,09	4,23	38,00
LDV-T4-7	9,16	3,33	-0,28	2,53	3,58	40,00
LDV-T4-9	7,06	3,85	0,12	2,91	3,93	42,00
LDV-T4-11	5,770	3,021	-0,242	2,335	3,35	43,00
LDV-T5-1	7,08	1,65	0,29	2,63	3,30	44,50
LDV-T5-3	4,78	3,75	0,10	1,35	28,67	47,00

Sample	MEAN (um)	S (um)	SK (um)	K (um)	SPAN (um)	Prof. [cm]
LDV-T5-5	5,56	3,57	-0,46	1,45	101,73	49,00
LDV-T5-7	5,38	3,02	-0,52	1,96	48,06	51,00
LDV-T5-9e	6,65	1,47	0,89	3,27	2,27	53,00
LdV-T5-11c	6,52	1,44	0,97	3,51	2,18	55,00
LDV-T5-13	5,26	2,60	-0,43	2,69	30,63	57,00
LDV-T6-1	6,28	1,95	-0,01	3,15	4,54	58,50
LDV-T6-3	5,75	1,97	0,63	2,72	4,15	61,00
LDV-T6-5	3,96	1,95	1,18	4,28	2,86	63,00
LDV-T6-6	6,49	2,16	-0,26	2,71	8,43	64,00
LDV-T6-7	5,36	1,94	0,73	3,13	4,01	65,00
LDV-T6-8	5,46	2,35	0,35	2,38	6,39	66,00
LDV-T6-9	5,86	1,54	0,51	3,54	3,60	67,00
LDV-T6-11	6,09	1,96	0,34	2,32	4,73	69,00
LdV-T6-13	3,14	1,93	1,20	4,59	2,99	71,00
LDV-T6-15	6,60	1,99	0,25	2,67	3,78	73,00
LDV-T6-17	6,25	1,66	0,55	3,36	3,42	75,00
LdV-T6-19	4,87	2,31	0,55	2,58	5,71	77,00
LdV-T6-21	3,18	2,34	1,08	3,51	3,13	79,00
LDV-T7-2	4,99	2,52	-0,24	2,65	2,73	82,00
LdV7-T7-4b	7,56	2,79	-0,41	2,99	2,75	84,00
LDV-T7-6	23,79	8,02	-0,14	1,67	12,84	86,00
LDV-T7-8b	31,00	11,58	0,17	1,34	57,10	88,00
LDV-T8-1	73,85	4,51	-1,13	3,71	2,71	90,00
LDV-T8-2	8,594	3,466	-0,201	2,525	3,96	91,00
LDV-T8-3	14,81	3,60	-0,10	3,21	4,71	92,00
LDV2-T9-1	124,94	5,55	-0,98	3,29	4,39	93,50
LDV2-T9-2	8,16	4,13	0,24	2,25	10,10	94,00
LDV2-T9-3	95,64	4,38	-0,50	3,60	5,00	95,00
LDV2-T9-5	18,48	4,20	-0,13	3,06	5,01	97,00
LDV2-T9-6	13,34	4,41	-0,13	2,50	5,23	98,00

Sample	MEAN (um)	S (um)	SK (um)	K (um)	SPAN (um)	Prof. [cm]
LDV2-T9-7	50,67	5,87	-0,38	2,92	5,41	99,00
LDV2-T9-8	7,52	4,21	0,30	2,47	7,34	100,00
LDV2-T9-9	41,50	7,60	0,02	2,48	30,26	101,00
LDV2-T10-1	12,37	4,30	0,03	2,72	4,32	103,00
LDV2-T10-2	25,17	4,02	-0,65	3,24	4,76	104,00
LDV2-T10-3	9,92	3,74	-0,20	2,02	4,87	105,00
LDV2-T10-4	14,42	3,38	-0,64	3,08	3,17	106,00
LDV2-T10-5	12,57	3,96	-0,39	2,30	4,44	107,00
LDV2-T10-6	28,43	3,80	-0,90	3,63	3,33	108,00
LDV2-T10-8	14,74	3,44	-0,40	2,65	3,55	110,00
LDV2-T10-9	18,77	3,58	-0,21	2,89	4,42	111,00
LdV2-T10-10	23,06	2,79	-0,76	4,04	3,03	112,00
LDV2-T10-11	12,09	4,24	0,08	2,66	5,25	113,00
LdV2-T10-12	119,33	4,32	-0,74	2,89	3,48	114,00
LDV2-T10-13	12,02	3,78	-0,43	2,47	3,88	115,00
LDV2-T10-14	52,64	4,14	-0,83	3,45	4,26	116,00
LDV2-T10-15	14,39	4,15	-0,28	2,29	4,82	117,00
LDV2-T10-16	37,04	4,98	-0,51	2,84	6,57	118,00
LDV2-T10-17	10,06	3,88	-0,13	2,09	5,27	119,00
LDV2-T10-18	219,70	5,61	-1,69	4,80	1,27	120,00
LDV2-T10-19	14,87	5,16	0,09	2,37	7,85	121,00
LDV2-T10-20	25,38	3,52	-0,95	3,63	3,29	122,00
LDV2-T10-21	13,70	3,82	-0,31	2,86	3,77	123,00
LDV2-T10-22	79,18	4,90	-0,70	2,95	5,29	124,00
LDV2-T10-23	10,43	3,36	-0,46	2,58	3,16	125,00
LDV2-T10-24	14,66	3,94	-0,12	2,96	4,33	126,00
LDV2-T10-25	10,40	3,81	-0,35	2,26	4,49	127,00
LDV2-T10-26	23,00	3,46	-0,89	3,52	3,40	128,00
LDV2-T10-27	24,83	6,81	0,16	2,33	24,80	129,00
LDV2-T10-28	18,35	3,13	-0,67	3,40	2,98	130,00

Sample	MEAN (um)	S (um)	SK (um)	K (um)	SPAN (um)	Prof. [cm]
LDV2-T10-29	21,32	7,49	-0,06	1,87	15,63	131,00
LDV2-T10-30	76,90	4,81	-0,66	2,93	5,04	132,00
LDV2-T10-31	16,83	4,10	-0,30	2,92	4,24	133,00
LDV2-T10-32	15,12	2,99	-0,70	3,61	3,22	134,00
LDV2-T10-33	12,38	4,50	-0,05	2,55	5,45	135,00
LDV2-T10-34	23,10	3,87	-0,36	3,27	5,36	136,00
LDV2-T10-36	67,34	4,96	-0,58	2,80	6,28	138,00
LDV2-T10-38	118,43	4,12	-1,00	3,57	2,84	140,00
LdV2-T10-40	45,70	3,90	-0,28	2,67	6,43	142,00
LDV2-T10-41	12,18	4,32	0,13	2,76	4,91	143,00
LDV2-T10-42	18,83	3,16	-0,30	3,32	4,09	144,00
LDV2-T10-44	317,38	7,08	-1,15	3,48	1,52	146,00
LDV2-T10-45	14,95	4,24	-0,04	3,04	4,71	147,00
LDV2-T10-46	25,53	4,04	-0,40	2,84	6,26	148,00
LDV2-T11-1	39,06	5,36	-0,62	2,51	5,62	149,00
LDV-T11-2	15,67	4,08	-0,08	3,14	6,16	150,00
LDV2-T11-3	13,55	6,09	0,59	3,22	20,24	151,00
LDV2-T11-4	134,20	12,37	-0,43	1,73	1,88	152,00
LDV2-T11-5	10,80	3,82	-0,29	2,32	4,83	153,00
LDV2-T11-6	26,72	4,85	-0,07	2,47	11,02	154,00
LDV2-T11-7	44,32	4,73	-0,66	2,95	5,75	155,00
LDV2-T11-8	57,99	3,90	-0,62	3,06	4,25	156,00
LDV2-T11-9	54,79	4,90	-0,23	2,53	8,93	157,00
LDV2-T11-10	112,36	3,92	-0,75	3,57	3,37	158,00
LDV2-T11-12	31,03	3,56	-0,52	3,20	3,85	160,00
LDV2-T11-14	130,46	4,34	-1,17	3,95	2,57	162,00
LDV2-T11-15	15,54	3,94	-0,54	2,88	4,25	163,00
LDV2-T11-16	60,31	4,62	-0,67	3,03	4,68	164,00
LDV2-T11-17	34,12	3,34	-1,04	4,05	2,97	165,00
LDV2-T11-19	22,29	4,11	-0,22	3,16	6,67	167,00

Sample	MEAN (um)	S (um)	SK (um)	K (um)	SPAN (um)	Prof. [cm]
LDV2-T11-20	19,01	3,18	-0,76	3,51	3,04	168,00
LDV2-T11-21	38,90	4,74	-0,28	2,76	7,89	169,00
LDV2-T11-23	108,91	7,14	-0,50	2,56	8,58	171,00
LDV2-T11-24	20,91	3,41	-0,50	3,18	3,88	172,00
LDV2-T11-25	20,84	4,00	-0,44	3,00	4,11	173,00
LDV2-T12-2	46,01	4,07	-0,83	3,37	4,08	176,00
LDV2-T12-3	7,96	3,75	0,02	2,27	6,34	177,00
LDV2-T12-5	13,84	3,80	-0,55	2,47	3,52	179,00
LDV2-T12-6	14,20	3,88	-0,23	2,59	4,12	180,00
LDV3-T13 -2	106,79	3,61	-0,96	4,09	3,50	181,00
LDV3-T13 -4	153,16	3,76	-1,00	3,84	2,94	183,00
LDV3-T13-6	9,40	3,73	-0,37	2,34	4,00	185,00
LDV3-T14-8	11,62	4,92	0,03	1,87	10,38	188,00
LDV3-T14-10	27,62	4,85	-0,75	2,67	4,17	190,00
LDV3-T14-11a	6,425	3,135	-0,120	2,275	3,76	191,00
LDV3-T14-13a	6,557	3,008	-0,120	2,355	4,02	193,00
LDV3-T14-14	8,12	5,35	0,75	2,61	30,54	194,00
LDV3-T14-16	49,57	4,89	-0,71	2,96	4,96	196,00
LDV3-T14-18	194,49	4,57	-1,31	4,68	3,06	198,00
LDV3-T14-20	42,89	5,67	-0,04	2,61	10,30	200,00
LDV3-T14-22	9,01	3,40	-0,21	2,21	4,35	202,00
LDV3-T14-24	84,11	5,64	-0,82	2,96	4,09	204,00
LDV3-T14-26	8,35	4,46	0,19	2,35	8,91	206,00
LDV3-T14-28	10,60	3,40	-0,26	2,73	3,50	208,00
LDV3-T14-30	44,93	5,77	-0,51	2,39	6,57	210,00
LDV3-T14-32	4,91	2,48	-0,12	2,76	2,80	212,00
LDV3-T14-34	360,94	6,64	-1,32	4,22	1,43	214,00
LDV3-T14-36	57,94	5,01	-0,87	3,19	4,24	216,00
LDV3-T14-38	34,82	6,23	-0,35	2,23	9,09	218,00
LDV3-T14-40	36,88	5,67	-0,48	2,60	7,59	220,00

Sample	MEAN (um)	S (um)	SK (um)	K (um)	SPAN (um)	Prof. [cm]
LDV3-T14-42	18,52	3,52	-0,27	3,39	4,14	222,00
LDV3-T14-44	49,41	5,23	-0,70	2,79	5,14	224,00
LDV3-T14-46	175,35	3,50	-1,17	4,37	2,54	226,00
LDV3-T14-48	17,53	4,48	-0,43	2,37	4,51	228,00
LDV3-T14-50	21,83	3,90	-0,89	3,14	3,02	230,00
LDV3-T15-52	85,39	3,85	-0,95	4,16	4,08	232,00
LDV3-T15-54	73,68	4,30	-1,12	3,70	2,80	234,00
LDV3-T15-56	28,77	5,17	-0,55	2,46	5,52	236,00
LDV3-T15-58	10,72	3,99	-0,29	2,31	4,24	238,00
LDV3-T15-60	25,13	4,50	-0,39	2,49	5,96	240,00
LDV3-T15-62	26,07	4,37	-0,75	2,86	3,68	242,00
LDV3-T15-64	22,60	4,59	-0,56	2,66	4,13	244,00
LDV3-T15-66	15,56	3,52	-0,66	3,05	2,96	246,00
LDV3-T15-68	10,10	3,57	-0,33	2,32	4,14	248,00
LDV3-T15-70	57,80	3,57	-0,92	4,01	3,46	250,00
LDV3-T16-72	20,36	3,89	-0,51	2,93	3,96	251,50
LDV3-T16-74	19,36	4,36	-0,72	2,53	3,22	253,00
LDV3-T16-76	14,40	3,19	-0,70	3,39	3,04	255,00
LDV3-T16-78	13,90	3,85	-0,62	2,61	3,36	257,00
LDV3-T16-80	36,94	9,09	0,53	2,36	64,97	259,00
LDV3-T16-82	28,56	7,06	0,51	2,99	51,68	261,00
LDV3-T16-84	14,74	3,15	-0,63	3,24	3,14	263,00
LDV3-T16-86	12,86	3,51	-0,61	2,93	3,18	265,00
LDV3-T16-88	12,68	3,82	-0,57	2,47	3,35	267,00
LDV3-T16-90	9,33	3,68	-0,39	2,34	3,81	269,00
LDV3-T16-92	12,96	3,23	-0,57	3,27	3,22	271,00
LDV3-T16-94	30,59	5,69	-0,31	2,38	9,37	273,00
LDV-T16'-2	98,89	14,08	-0,20	1,51	20,58	274,00
LDV-T16'-4	10,41	3,27	-0,54	2,81	3,29	276,00
LDV-T16'-6	12,42	3,04	-0,34	2,99	3,42	278,00

Sample	MEAN (um)	S (um)	SK (um)	K (um)	SPAN (um)	Prof. [cm]
LDV4-T16-8	6,41	3,11	0,03	2,54	4,36	280,00
LDV4-T17-2	19,72	4,28	-0,51	2,59	4,42	283,00
LDV4-T17-4	9,46	3,46	-0,41	2,42	3,54	285,00
LDV4-T17-6	14,74	3,50	-0,38	3,08	3,55	287,00
LDV4-T17-8	14,39	3,71	-0,65	2,74	3,53	289,00
LDV4-T17-10	11,95	3,24	-0,39	2,67	3,97	291,00
LDV4-T17-12	25,75	4,27	-0,44	2,70	6,10	293,00
LDV4-T17-14	15,87	3,55	-0,67	2,91	3,40	295,00
LDV4-T17-16	17,93	3,80	-0,56	2,91	4,08	297,00
LDV4-T17-18	10,70	2,87	-0,43	3,11	2,91	299,00
LDV4-T17-20	10,37	2,91	-0,51	3,01	2,81	301,00
LDV4-T17-22	16,93	5,12	0,49	4,22	4,48	303,00
LDV4-T17-24	13,24	3,56	-0,51	2,72	3,35	305,00
LDV4-T17-26	15,58	4,01	-0,58	2,62	3,83	307,00
LDV4-T17-28	11,77	3,53	-0,28	2,71	3,80	309,00
LDV4-T17-30b	9,06	3,28	-0,23	2,55	3,88	311,00
LDV4-T17-32	12,19	3,33	-0,36	3,05	3,52	312,00
LDV4-T17-34	9,66	3,47	-0,39	2,49	4,05	313,00
LDV4-T17-36	19,37	3,72	-0,61	2,85	4,12	315,00
LDV4-T17-38	9,29	3,08	-0,50	2,59	3,06	317,00
LDV4-T17-40	12,57	3,69	-0,44	2,57	4,46	319,00
LDV4-T17-42	13,97	4,24	-0,05	2,48	7,37	321,00
LDV4-T17-44	25,26	3,52	-0,79	3,32	3,57	323,00
LDV2-T18-1	16,01	4,12	-0,47	2,55	4,91	325,00
LDV4-T18-2	16,11	3,25	-0,58	3,37	3,13	326,00
LDV4-T18-4	21,10	3,79	-0,66	3,63	2,92	327,00
LDV4-T18-6	48,57	10,57	0,33	1,96	60,71	329,00
LDV4-T18-8	15,76	3,13	-0,53	3,76	3,46	331,00
LDV4-T18-10	13,64	3,39	-0,55	3,08	3,72	333,00
LDV4-T18-12	28,85	4,47	-0,86	2,95	3,35	335,00

Sample	MEAN (um)	S (um)	SK (um)	K (um)	SPAN (um)	Prof. [cm]
LDV4-T18-14	13,17	3,06	-0,68	3,55	2,99	337,00
LDV4-T18-16	11,15	3,64	-0,45	2,81	4,05	339,00
LDV4-T18-18	11,55	3,73	-0,48	2,72	3,82	341,00
LDV4-T18-20	7,52	3,77	-0,01	2,28	5,63	343,00
LDV4-T18-22	16,04	3,70	-0,67	2,98	3,61	345,00
LDV4-T18-24	13,22	4,04	-0,56	2,50	3,75	347,00
LDV4-T18-26	17,75	3,82	-0,71	2,89	3,78	349,00
LDV4-T18-28	18,79	3,22	-0,95	3,84	2,61	351,00
LDV4-T18-30	17,92	3,58	-0,95	3,45	2,66	353,00
LDV4-T18-32	16,85	3,50	-0,70	3,28	3,30	355,00
LDV4-T18-34	10,21	3,40	-0,46	2,80	3,77	357,00
LDV4-T18-35	10,95	3,25	-0,54	3,05	3,52	359,00
LDV4-T18-36	9,40	3,25	-0,46	2,79	3,36	360,00
LDV4-T18-38	17,53	3,25	-0,80	3,38	3,19	361,00
LDV4-T18-40	37,10	3,92	-1,26	3,94	2,34	363,00
LDV4-T18-42	8,66	3,78	-0,05	2,39	5,99	365,00
LDV4-T18-44	57,25	14,50	0,09	1,52	57,88	367,00
LDV4-T18-46	6,48	3,01	-0,32	2,42	3,32	369,00
LDV4-T18-48	57,25	14,50	0,09	1,52	57,88	371,00
LDV5-18' -2	20,93	4,667	-0,806	2,737	3,13	372,00
LDV5-18' -4	7,845	3,881	0,054	2,416	6,03	374,00
LDV5-18' -6	11,21	5,336	-0,134	2,152	5,65	376,00
LDV5-19 - 8	6,435	3,037	-0,343	2,322	3,32	378,00
LDV5-19 - 10	5,275	4,237	0,363	2,341	9,29	380,00
LDV5-19 - 12	6,578	4,039	0,007	1,959	6,76	382,00
LDV5-19 - 14	7,772	4,397	-0,062	2,022	6,24	384,00
LDV5-19 - 16	5,686	4,595	0,325	2,216	10,82	386,00
LDV5-19 - 18	6,863	4,698	0,169	2,211	8,31	388,00
LDV5-19 - 20	6,446	4,882	0,276	2,154	11,03	390,00
LDV5-19 -22	6,518	4,766	0,193	2,056	9,65	392,00

Sample	MEAN (um)	S (um)	SK (um)	K (um)	SPAN (um)	Prof. [cm]
LDV5-19 - 24	6,296	4,230	0,168	2,240	7,47	394,00
LDV5-19 - 26	10,63	5,015	-0,070	2,117	8,11	396,00
LDV5-19 -28	6,445	3,416	-0,133	2,237	4,54	398,00
LDV5-19 - 30	6,057	4,054	0,102	2,062	7,65	400,00
LDV5-19 - 32	9,422	4,200	-0,216	2,028	5,39	402,00
LDV5-19 - 34	8,218	4,045	-0,184	2,690	3,89	404,00
LDV5-19 - 36	6,755	4,203	0,036	2,064	6,79	406,00
LDV5-19 - 38	9,226	3,380	-0,303	2,319	3,93	408,00
LDV5-19 - 40	5,864	5,173	0,897	3,479	12,93	410,00
LDV5-19 -42	4,036	3,429	0,339	2,490	6,06	412,00
LDV5-19 -44	5,790	3,101	-0,163	2,347	3,74	414,00
LDV5-19 -46	4,128	3,413	0,402	2,627	5,88	416,00
LDV5-19 -48	4,918	2,664	-0,197	2,452	3,09	418,00
LDV5-19 -50	4,912	3,098	-0,021	2,400	3,94	420,00
LDV5-19 -54	4,766	2,995	-0,044	2,364	3,88	422,00
LDV5-19 -56	5,336	3,251	0,145	2,602	4,42	424,00
LDV5-19 -58	4,620	5,154	0,958	3,036	23,26	426,00
LDV5-19 -60	12,84	3,320	-0,848	3,114	2,76	428,00
LDV5-19 -62	12,89	3,628	-0,765	2,825	3,02	430,00
LDV5-19 -64	15,92	3,961	-0,666	2,794	3,64	432,00
LDV5-19 -66	14,69	8,065	0,306	1,960	37,31	434,00
LDV5-19 -68	4,674	3,142	0,163	2,675	4,02	436,00

Tabla 20: Tabla con las muestras utilizadas en este trabajo y sus respectivos parámetros: tamaño promedio de grano (MEAN); S: Selección; Asimetría (SK); Curtosis (K); SPAN; y Profundidad.