



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

ESTUDIO DE EVENTOS ALUVIALES DURANTE EL
HOLOCENO EN EL VALLE DEL ELQUI, A PARTIR DE LA
SECUENCIA SEDIMENTARIA DE GUANTA, VICUÑA, REGIÓN
DE COQUIMBO

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE GEÓLOGO
CRISTIAN EDUARDO CALDERÓN LEITON

PROFESORA GUIA:
VALENTINA FLORES AQUEVEQUE

MIEMBROS DE LA COMISIÓN
ANTONIO MALDONADO CASTRO
MARISOL LARA CASTILLO
TANIA VILLASEÑOR JORQUERA

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

SANTIAGO DE CHILE
2021

**RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR AL
TITULO DE: GEÓLOGO**

POR: Cristian Eduardo Calderón Leiton

FECHA: 2021

PROFESORA GUIA: Valentina Flores Aqueveque

**ESTUDIO DE EVENTOS ALUVIALES DURANTE EL HOLOCENO EN EL VALLE DEL
ELQUI, A PARTIR DE LA SECUENCIA SEDIMENTARIA DE HUANTA, VICUÑA,
REGIÓN DE COQUIMBO**

La identificación de diferentes estratos de sedimento en terreno y los diferentes análisis de laboratorio complementarios permite realizar un catastro importante del origen o génesis de los sedimentos y así poder obtener información sobre los posibles ambientes a los que se vieron afectados. Esto es muy importante a la hora de poder hacer una reconstrucción de los hechos del pasado y mas un de hecho relativamente cercano. Y a su vez nos permite incorporar mayores antecedentes ante una reconstrucción paleo climática. También nos permite ver hechos del pasado que se pueden repetir ahora en el presenten y nos advierten de sus peligros.

El objetivo general de este trabajo es determinar el origen de la secuencia estratigráfica del sector de Guanta y el potencial de peligro geológico asociado a aluviones en el área. Para ello se necesita analizar la estratigrafía de la secuencia y su cronología para obtener un orden entre los diferentes eventos, determinar posibles fuentes de aporte sedimentario para la secuencia estratigráfica de Guanta y establecer el peligro geológico asociado a la zona, asociado a aluviones.

De acuerdo con la información obtenida en terreno se es capaz de realizar un análisis al completo de la secuencia de la quebrada el Culebrón, obteniendo granulometrías, geoquímica, edades radiométricas y observaciones que permitan un desarrollo veras de este trabajo. Como también la aplicación de diferentes softwares que permiten obtener datos específicos de una zona.

Esto permite concluir que los diferentes ambientes involucrados en la secuencia y establecer diferencias entre diferentes periodos de tiempo marcando un cambio en el clima de la época. También permiten obtener información sobre la proveniencia de ciertos depósitos marcando dos grandes fuentes de origen. Y esto sumado a la información que se obtiene al registro histórico de eventos aluvionales permite establecer ciertos criterios de peligrosidad en la zona.

*Dedicada a un alma libre,
Gracias por todo Mami*

Agradecimientos

En esta etapa de mi vida, es decir el final de mi carrera, me encantaría agradecer a cada persona que fue parte e hicieron de este periodo y estadía en la universidad menos difícil y sobrellevar cada uno de los problemas.

En primer lugar, agradecer a mi familia y en especial a mi abuelita que han estado siempre apoyándome en todo este proceso de diferentes formas. A mi papá por estar ahí cuando más lo necesitaba, haciéndome la vida más fácil y que solo me preocupase por estudiar y que nada me faltase. A mi mamá por ser el sostén del hogar, por preocuparse que nada me hiciera falta, por apoyarme en todo, por preocuparse muchas veces de hacerme almuerzo y de todos los detalles que ha tenido conmigo en la vida. Y a mi Mamí (abuelita) por ser la inspiración y la luz en cada momento de mi vida, por estar donde sea que estes apoyándome en cada momento y no dejarme solo hasta el día hoy. A mi hermano por todo lo que ha hecho por mi tanto en la Universidad, en apoyarme y comprenderme cuando todo estaba mal. En ser el sostén muchas veces de mis problemas mas bien académicos. Y estar pendiente de que nada haga falta nunca.

A mis mejores amigos, mi familia adoptada, Camilo y Camilo, que han acompañado no tan solo en la universidad si no en la vida. Siendo esos psicólogos, oyentes de cada uno de mis problemas tanto con la tesis, mi vida y mi día a día. Les agradezco por sacarme muchas veces de un ambiente en que no me sentía cómodo y que ustedes lo hicieran.

Agradecer a un amigo que me dio la universidad, Pancho, y que hasta ahora lo debo tener verde por todas las noches que nos pasamos hablando y jugando al CSGO, al Overwatch y a cualquier juego que se nos ocurriera. Muchas gracias por estar ahí cuando mas lo necesite, aunque tu no lo supieras.

A mis dos personas especiales que están muy lejos, Jesus (Sugus) y Patri (Patt), pero que ha sido un pilar fundamental en este proceso, teniendo que aguantarme en los momentos de mas estrés. Han hecho que todo esto fuera más fácil y que pudiera encontrar paz cuando todo se veía negro. Gracias por todas las noches de vicio al Valorant que me han dado.

A cada uno de mis compañeros de universidad, Kevin, David, Andres, Cami, Tobal, Yorch y Mati. Muchas gracias por cada risa que nos pegamos juntos, trabajos y conversaciones que tuvimos. A muchos otros compañeros que fui conociendo con los años y que la lista seria interminable si los nombro les estoy muy agradecido por haber participado en este proceso.

Agradecer a mis profesores, Valentina, Tania, Antonio y Marisol por todo este proceso y haber sido participe. Y en especial a la profe Valentina que me ha ayudado tanto, que sin que ella le supiese le estoy muy agradecido con todo. Por darme la oportunidad de hacer algo que a mi mas me gusta enseñar y hacerme participe en un proyecto tan importante como este.

Y para finalizar agradecer a Blanca que fue un pilar fundamental en toda mi carrera y la que me ayudo en los peores momentos de mi vida. Agradecer a cada una de las personas que conocí en este periodo, estén o no. Porque sin ellos mi vida no seria la que hoy.

Tabla de Contenido

1. Introducción	1
1.1. Fundamentación y estado del Arte	1
1.2. Objetivos	3
1.3. Ubicación y vías de acceso	3
2. Antecedente Generales de la Zona de Estudio	5
2.1. Marco Geológico Regional	5
2.2. Geomorfología	9
2.3. Clima	12
3. Metodología de trabajo	14
3.1. Metodología de Terreno	14
3.2. Metodología de Laboratorio	14
3.2.1. Análisis Sedimentarios	14
3.2.2. Análisis Geoquímicos	15
3.2.3. Dataciones	15
3.2. Peligros Geológicos	16
4. Resultados	17
4.1. Descripciones generales de la zona de estudio	17
4.2. Estratigrafía de la secuencia	18
4.3. Análisis granulométrico	35
4.4. Análisis Geoquímico	37
4.5. Dataciones	39
4.6. Mapa de Peligro Geológico	41
5. Discusión	45
5.1. Ambientes deposicionales	45
5.2. Geoquímica	50
5.3. Potencial de peligro Geológico	51
5.4. Edades	54
6. Conclusión	55
7. Bibliografía	57
8. Anexos	59

Índice de Figuras

1.	Mapa de ubicación y acceso a la zona de estudio	4
2.	Extracto de Carta Geológica N°67 Hoja Guanta.....	6
3.	Extracto del mapa de la Carta Geológica de Chile N°192-193 Geología de las áreas Guanta-Los Cuartitos y Paso de Vacas Heladas.....	7
4.	Principales unidades morfoestructurales a lo largo de los Andes Centrales chilenos.....	9
5.	Principales unidades morfoestructurales de la cuenca del valle del Río Elqui y sus afluentes. El rectángulo negro encierra parte de la zona de estudio	10
6.	Mapa Geomorfológico del Valle del río Turbio, donde se identifican ciertas morfologías de tipo fluvial, aluvial y coluvial.	11
7.	Foto panorámica desde la carretera de la parte este del abanico aluvial de la Quebrada El Cementerio.....	17
8.	Mapa en planta en escala 1:2000 de las ubicaciones de cada una de las columnas descritas	18
9.	Foto de la primera parte de la columna 1.	20
10.	Columna 1A	21
11.	Columna 1B.....	22
12.	Columna 1C.....	23
13.	Imágenes tomadas en terreno de la Columna 1A.....	24
14.	Continuación Columna 1A	28
15.	Imágenes obtenidas para la Columna 2.....	29
16.	Columna 2.....	30
17.	Columna 3.....	31
18.	Fotos tomadas de la Columna 3	32
19.	Fotos tomadas de la Columna 3	33
20.	Gráfico resumen de la granulometría de cada una de las muestras	35

21.	Gráficos de las diferentes pruebas realizadas a una muestra para comprobar opciones de cómo se deben realizar el análisis granulométrico.....	36
22.	Resultado del análisis geoquímico de las muestras	38
23.	Resultados obtenidos desde el programa OxCal v4.4.....	39
24.	Mapa de peligros geológicos en base a investigación de eventos recientes y geomorfología.....	41
25.	Mapa de pendientes del sector.....	43
26.	Resumen de las granulometrías luego de clasificarla según Udden-Wentworth.....	46
27.	Gráfico extraído de Warren (2016) donde se muestra la relación del contenido orgánico y el ambiente para la generación de cristales de yeso y de su hábito.....	47
28.	Correlación entre las columnas	49
29.	Imágenes obtenidas de los informes del SERNAGEOMIN sobre los eventos ocurridos en 2015.....	52
30.	Imágenes obtenidas de los informes del SERNAGEOMIN sobre los eventos ocurridos en 2015.....	52
31.	Imágenes obtenidas de los informes del SERNAGEOMIN sobre los eventos ocurridos en 2015 y 2017.....	53
32.	Extraído de Riquelme et. al. (2017) , Infografía relacionada con la ubicación relativa de las muestras y sus respectivas edades, a través de la geomorfología.....	54

Índice de Tablas

1. Resultados de las calibraciones	40
2. Tabla resumen de precipitaciones para las estaciones meteorológicas disponibles.....	42
3. Criterios de caracterización	44

1. Introducción

1.1. Fundamentación y estado del Arte

La identificación de diferentes estratos de sedimento en terreno y los diferentes análisis de laboratorio complementarios permite realizar un catastro importante del origen o génesis de los sedimentos y así poder obtener información sobre los posibles ambientes a los que se vieron afectados. Para el caso el objetivo será analizar y descifrar la estratigrafía de la zona, las diferentes fuentes de aporte sedimentario de las secuencias sedimentarias ubicada cerca de la localidad de Huanta, en el valle del Elqui (valle del Río Turbio), en la Región de Coquimbo.

Esto parte de una necesidad de hacer una revisión de diversos eventos de carácter aluvial para comprender su ocurrencia y recurrencia en los Andes Subtropicales entre los 30°-34°S, es decir, entre el Valle del Elqui y el Valle del Aconcagua, asociado actualmente al proyecto Fondecyt N°1180413: *Climate change and landslides occurrence in the subtropical Andes since the Late Pleistocene*, dirigido por el Dr. Antonio Maldonado. Y así, a través de estos eventos comprender el ambiente en que se generaron y depositaron estos sedimentos.

En zona cercana perteneciente a lo abarcado por este estudio se han generado diversos informes, estudios y material bibliográfico que ha sido revisado para generar un buen aporte desde diferentes puntos de vista.

Desde lo más general a lo particular es posible encontrar estudios de carácter regional que permiten obtener una visión más amplia de la geología que presenta el valle, especialmente rodeado de rocas de carácter intrusivo de edad Pérmico – Triásico que actualmente son el aporte sedimentario mayor de la zona y dependiendo de lo demostrado en este estudio podrían haber sido los aportes principales hace unos miles de años atrás. Esto se complementa con estudios de geoquímica de estas rocas presentes en la zona de estudio. Estos estudios están principalmente basados en lo descrito por Masi & Moscoso (1986) en la Carta Geológica de Guanta y posteriormente en lo presentado por Murillo & Velásquez (2017) en la Carta Geológica de nombre, Geología de la Áreas Guanta-Los Cuartitos y Paso Vacas Heladas. Y también en estudios de geoquímica derivados de esta carta.

Así como existen estudios sobre la geología y geoquímica de las rocas presentes en el valle, también existe un catastro sobre la geoquímica y proveniencia de sedimentos que se pueden recoger de los distintos afluentes del valle del río Turbio. Específicamente se puede explorar los estudios realizados por Oyarzun en los años 2004, 2005 y 2008 y lo realizado por Miralles (2013), donde se hace un catastro de las aguas y un muestreo muy cercano en la zona de estudio. En estos se destaca la

proveniencia de algunos elementos como el Mg, Al, Mn, Zn, Cu y As. También se habla se zonificaciones de sectores que tienen muchos datos en común.

En esta zona se han realizado recientemente estudios de sedimentos de diversos tipos (aluviales, fluviales, lacustres y glaciales) en los cuales es posible encontrar contenido de carácter orgánicos del cual se ha podido realizar dataciones. Entre ellos se destaca lo realizado en Riquelme et. al.,2011 y en Antinao et. al., 2015. En Riquelme (2011) se ocupa la misma metodología que en este trabajo, es decir, recolección de muestras en niveles que tengan un alto contenido orgánico o de carbón. Diferencia notable en Antinao (2015) donde se ocupa luminiscencia in-situ.

Se analiza también el registro histórico reciente de eventos aluvionales, tanto en los sectores más bajos del valle como en sectores más altos y encajonados de este. En el caso de estudio, la zona se encuentra prácticamente en la zona más alta del valle. Han ocurrido 2 eventos en los últimos 10 años que se han podido registrar y describir físicamente. Estos están resumidos en los informes que se analizaran posteriormente. Igualmente, en estos informes se mencionan ciertos eventos en el pasado y algunos peligros que están asociado a estos eventos de remoción en masa.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Determinar el origen de la secuencia estratigráfica del sector de Guanta y el potencial de peligro geológico asociado a aluviones en el área.

1.2.2. Objetivos Específicos

Analizar la estratigrafía de la secuencia y su cronología para obtener un orden entre los diferentes eventos.

Determinar posibles fuentes de aporte sedimentario para la secuencia estratigráfica de Guanta.

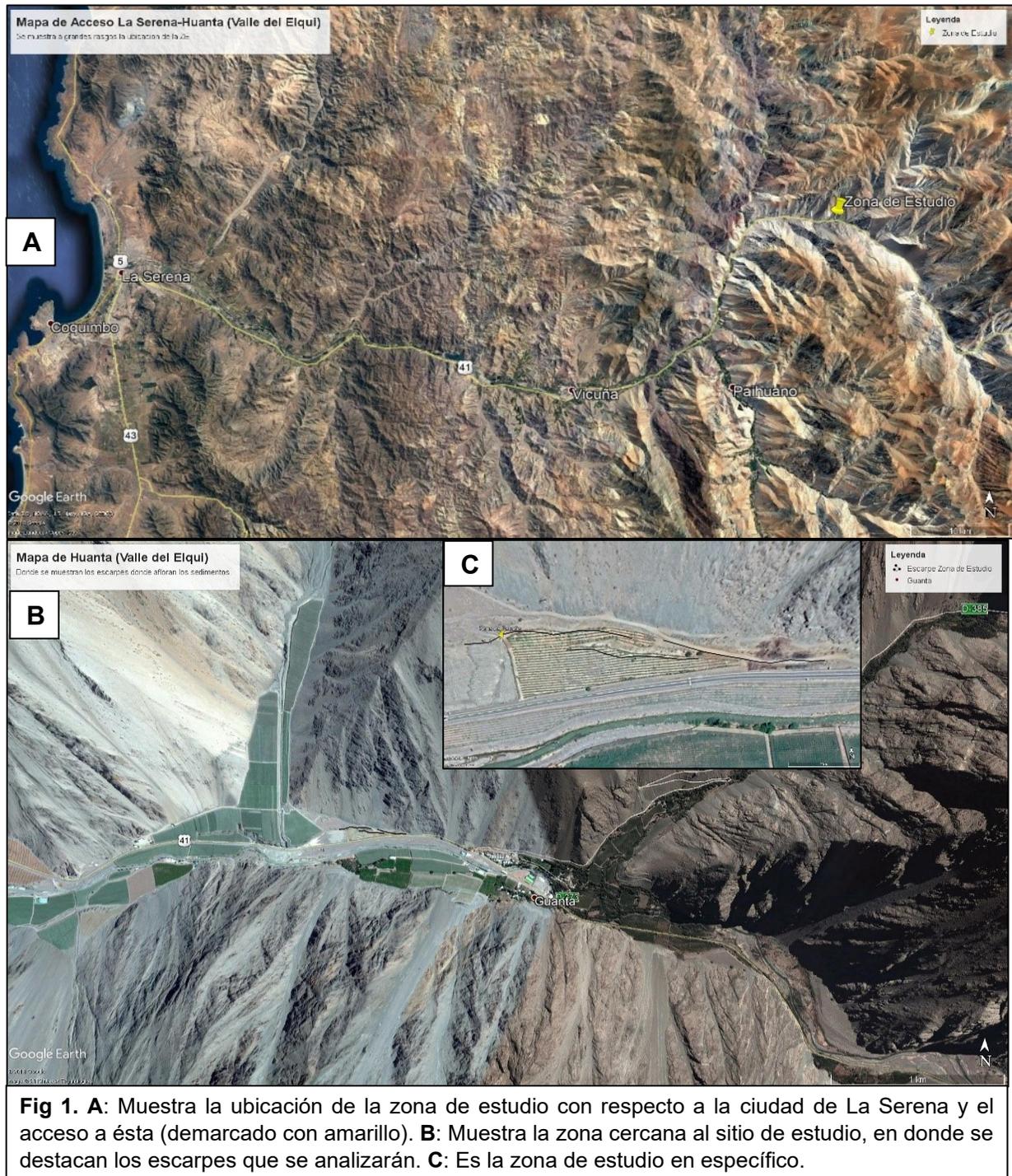
Establecer el peligro geológico asociado a la zona, asociado a aluviones.

1.3. Ubicación y vías de acceso

La secuencia estratigráfica por estudiar está ubicada en la transición de la precordillera y la alta cordillera de la cuenca del valle del Elqui en la Región de Coquimbo a aproximadamente 1200 [m] de altura sobre el nivel del mar. Específicamente la zona está ubicada en la base de una quebrada llamada El Cementerio que se encuentra a aproximadamente a 700 metros al oeste de la localidad de Huanta, Valle del Elqui (Río Turbio), Región de Coquimbo, Chile, en las coordenadas de latitud 29°50'45"S y longitud 70°24'12"O.

El principal acceso a la zona es a través de la Ruta 41, que cruza la cuenca en dirección oeste-este, desde La Serena hasta la frontera con Argentina.

Este camino es paralelo al eje de la cuenca del río, como se puede observar en la figura 1.



2. Antecedente Generales de la Zona de Estudio

2.1. Marco Geológico Regional

En términos generales la geología del sector y su alrededor es un basamento de carácter ígneo, que presenta intrusivos y pequeños diques en alguna de las unidades. Sobre ellos se emplazan depósitos principalmente no consolidados de diferente origen.

Los depósitos no consolidados corresponden a depósitos aluviales y coluviales formando conos de deyección, abanicos aluviales, escombros de falda y relleno de valles fluviales. Estos están emplazados actualmente sobre la Superunidad Elqui e Ingaguas, específicamente, las Unidades Guanta y el León, respectivamente según la Carta presentada por el Sernageomin en 1986. En la Carta “Geología de las áreas Guanta-Los Cuartitos y Pasos Vacas Heladas” de 2017, los depósitos estarían emplazados sobre la Unidad Guanta y sobre el complejo plutónico Las Lechuzas.

En la zona de estudio y sus alrededores, extraídas de las Hojas Guanta (Nasi, Moscoso, & MaksaeV, 1986) (Fig. 2) y Geología de la Áreas Guanta-Los Cuartitos y Paso Vacas Heladas (Murillo R, Velásquez H, & Creixell T, 2017) (Fig.3). Listadas por orden cronológico de las unidades, son las siguientes.

- **Unidad Guanta (Pérmico Inferior):** Son tonalitas y dioritas cuarcíferas de anfíbola y biotita, de color gris blanquecino a gris verdoso, lo característico que estas rocas contengan abundantes enclaves micro granulares máficos vinculados genéticamente con su roca de caja que están orientados (Velásquez & Coloma, 2015). Granodioritas y granitos de dos micas, rocas leucocráticas, de color blanquecino, con escasa cantidad de minerales ferromagnesianos y aislados enclaves microgranulares máficos. Granitos rocas graníticas y sienograníticas con escasa biotita, de color blanco a rosado, de grano medio a grueso, leucocráticos, medianamente disgregables, localmente con enclaves microgranulares máficos. Esta unidad presenta una cantidad importante de diques en el sector, de composición andesíticos y basálticos (Velásquez & Coloma, 2015). En términos generales, presentan una afinidad calcoalcalina, predominantemente de medio-K y de manera subordinada de alto-K. datos geocronológicos representan una buena base que permite concluir que el conjunto de plutones que componen el Complejo Plutónico Guanta se habría emplazado durante el Pérmico Inferior, específicamente durante el lapso ~ 296-279 Ma.

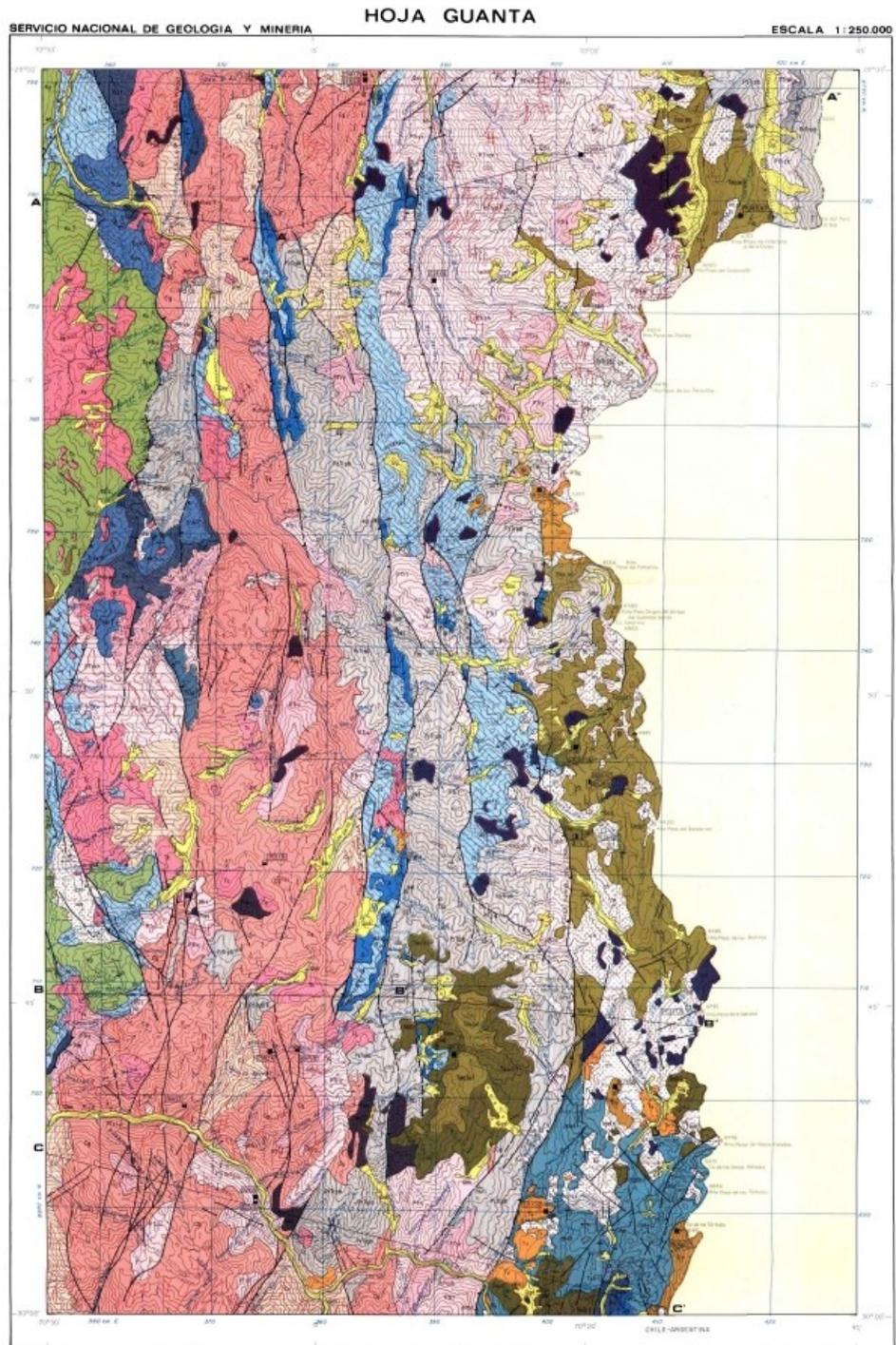


Fig. 2: Extracto del mapa de la Carta Geológica de Chile N°67 Hoja Guanta desarrollada por Nasi, Moscoso & Maksaev en 1986, encargada por el SERNAGEOMIN.

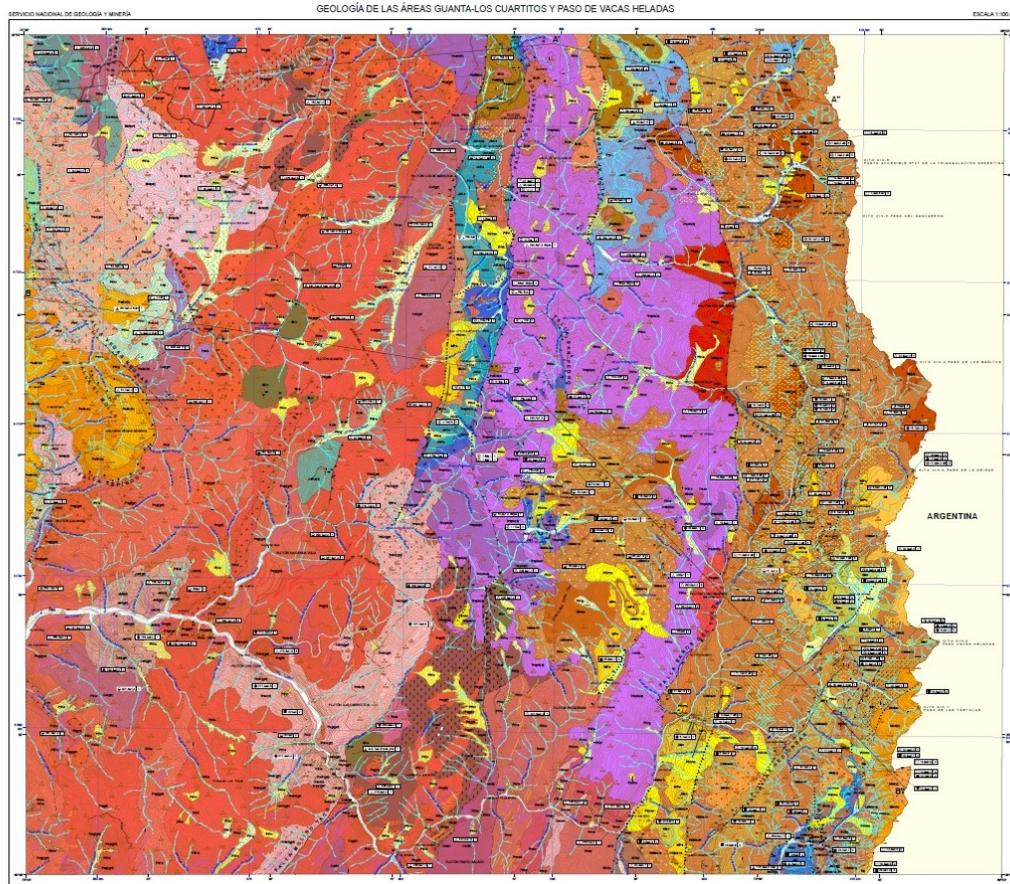


Fig. 3: Extracto del mapa de la Carta Geológica de Chile N°192-193 Geología de las áreas Guanta-Los Cuartitos y Paso de Vacas Heladas desarrollada por Murillo, Velásquez & Creixell en 2017, encargada por el SERNAGEOMIN.

- **Unidad Cochiguás:** es un conjunto de plutones leucocráticos, de grano medio a grueso, que están compuestas principalmente por granodioritas y monzogranitos de biotita y/o muscovita. Se caracteriza por un amplio rango de variación en el contenido de cuarzo (20-50%) y, a diferencia de la Unidad Guanta, presentan mayor contenido de Feld-K y menos I.C.M (Índice de Color Modal). (Nasi, Moscoso, & Makshev, 1986).

- **Complejo Plutónico Los Carricitos (Noriano):** conjunto de plutones de composiciones dioríticas a graníticas. Son tonalitas de biotita y anfíbola (Rocas de color gris blanquecino y escasos enclaves microgranulares máficos subredondeados de composición diorítica,); granodioritas con cordierita (Rocas de textura equigranular a levemente porfíricas de color blanco-rosáceo) ; granitos (Rocas de color rosado a blanquecino, de texturas relativamente equigranulares, raramente porfíricas, algo meteorizadas y con cantidades menores de minerales ferromagnesianos (<7%), generalmente biotita); dioritas (Dioritas, dioritas cuarcíferas y monzodioritas cuarcíferas de piroxeno y anfíbola subordinadas, de grano medio a grueso, fábrica isótropa y con texturas de mingling con rocas de

similar composición). Los datos geocronológicos, se infiere que las rocas del Complejo Plutónico Los Carricitos habrían cristalizado durante un acotado rango temporal en el Noriano, entre los 221 y los 214 Ma.

- **Unidad El León (Pérmico -Triásico):** grupo de plutones heterodimensionales de litología correspondientes a monzogranitos leucocráticos con biotita y hornblenda subordinada de grano medio y color rosado color rosado de edad Pérmico - Triásico. (Nasi, Moscoso, & Makshev, 1986)

- **Complejo Plutónico Las Lechuzas (Jurásico Superior):** Complejo plutónico que agrupa rocas intrusivas de composiciones dioríticas y graníticas. Dioritas de anfíbola (rocas de color gris verdoso, isótropas, que contrastan en color con las rocas del Complejo Plutónico Guanta del sector, las que son gris blanquecinas y anisótropas); Monzogranitos de biotita que corresponden a pequeños stocks de composición granítica de color gris blanquecino cortados por diques porfíricos microtonalíticos de anfíbola, y que hospedan escasos enclaves microdioríticos de dimensiones centimétricas. En base a contenidos de elementos mayores, estas rocas presentan afinidad calcoalcalina, en general metaluminosa. Los datos cronológicos indican que este complejo se habría emplazado durante el Jurásico Superior (Oxfordiano-Kimmeridgiano).

- **Depósitos Aluviales (Holoceno):** Depósitos aluviales débilmente consolidados, que se distribuyen en toda el área de estas cartas, asociados a laderas de baja pendiente y zonas de desembocaduras de pequeñas quebradas o en el fondo de estas. Algunos de estos depósitos mantienen formas de abanicos. Están formados por gravas polimícticas, mal seleccionadas, generalmente matrizsoportadas y sin estructuras sedimentarias. Los clastos presentan diámetros centimétricos a métricos.

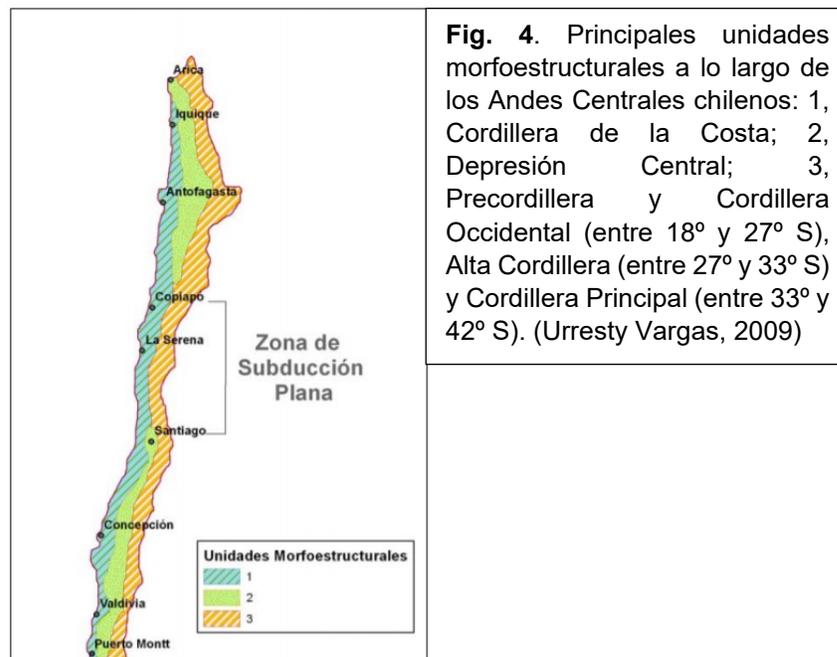
- **Depósitos Fluviales (Holoceno):** Constituyen el relleno de los valles principales que forman parte del sistema de drenaje del área de estudio (quebradas de los ríos Turbio y de las quebradas del Calvario, entre otras. Constituyen sedimentos no consolidados a levemente consolidados, compuestos por bancos de grava y arena de variable selección, polimícticos, con clastos de diámetro centimétrico a decimétrico, de redondeamiento y esfericidad regular. Localmente, estos depósitos forman terrazas con planicies bien desarrolladas (por ejemplo, río Apolinario).

- **Depósitos Coluviales (Holoceno):** Depósitos de material detrítico, no consolidados a moderadamente consolidados, distribuidos en toda el área de estudio y topográficamente restringidos a los pies de laderas de pendiente moderada a alta. No presentan gran extensión superficial en el área de estudio, con un máximo de 1,5-2 km². Corresponden a gravas con fragmentos generalmente angulosos y de mala esfericidad, debido al poco a casi nulo transporte, con mala a muy mala selección y sin estratificación.

2.2. Geomorfología

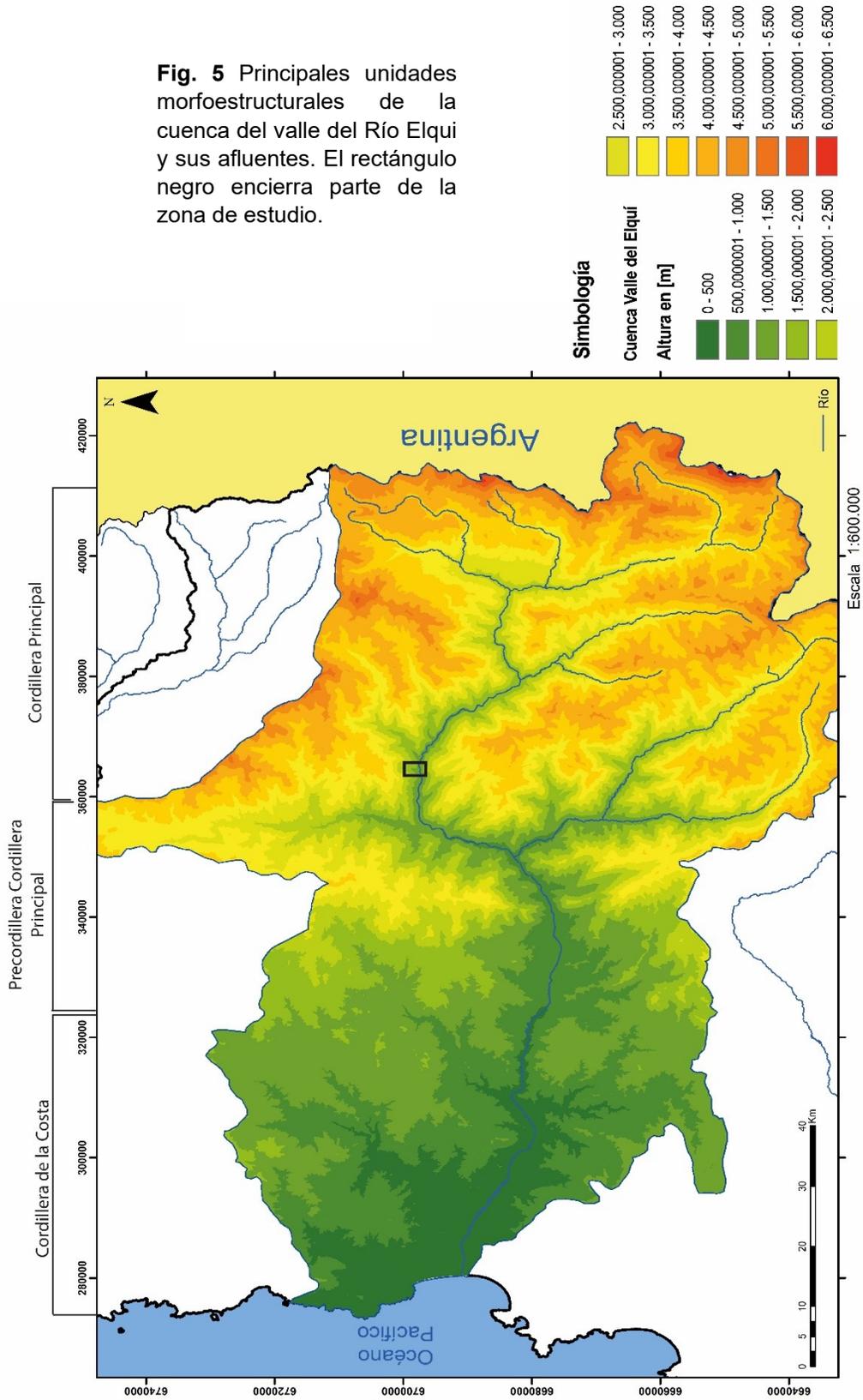
En el contexto geomorfológico general, se puede decir que la zona de estudio se encuentra en zona de los valles transversales entre la precordillera y la Cordillera Principal, como se puede apreciar en la Figura 4 con las Morfoestructuras a lo largo de Chile. En la Figura 5 se puede observar un mapa donde se representan las alturas de la cuenca del río Elqui y sus afluentes. También se representan la Morfoestructuras de la cuenca.

La alta cordillera constituye la sección más oriental y de mayor altitud de la hoya hidrográfica. Corresponde, básicamente, a aquella parte de la alta montaña de los Andes donde se originan los cursos de agua que forman el Río Elqui, razón por la cual se la conoce como la Cordillera de Elqui. El área es muy compleja orográficamente y se caracteriza por poseer una apariencia maciza y alta, con altas pendientes. Hay diversas cumbres que alcanzan los 5.000 m.s.n.m.. En la actualidad, este macizo se encuentra surcado por numerosos ríos, esteros y quebradas cuya orientación es controlada por factores geológicos. (Cepeda, 2008)

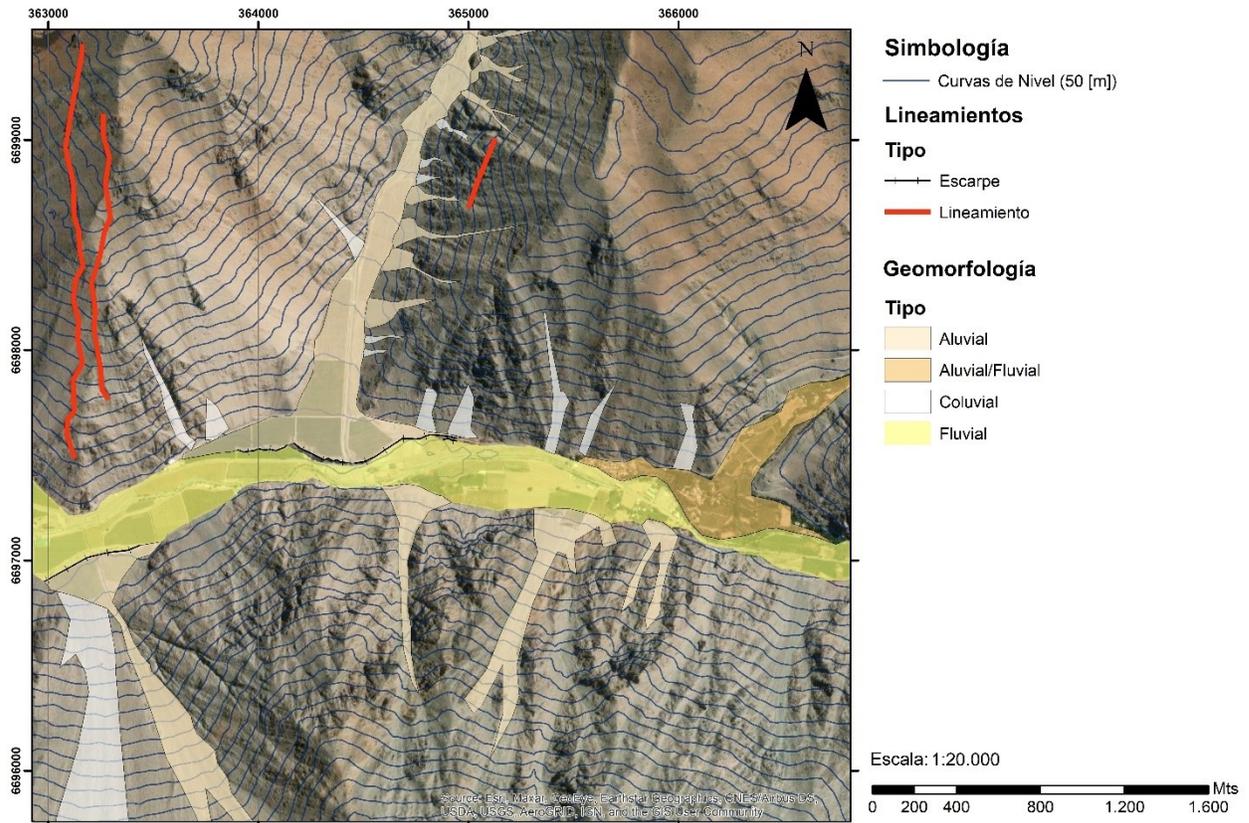


En el específico de la zona de estudio la geomorfología presente observada (Figura 6) es de un valle fluvial encajonado de vasta extensión y de un ancho variable, entre 100 y 300 m. No existe presencia aparente de terrazas de tipo fluvial, pero si presenta quebradas adyacentes de las cuales se pueden observar abanicos aluviales de diversa magnitud y conos de deyección (Nasi, Moscoso, & Maksaev, 1986). La mayoría de los abanicos aluviales se encuentran trucados por el paso del río formando morfologías de terrazas y acantilados de diversas alturas, entre 10-30 m.

Fig. 5 Principales unidades morfoestructurales de la cuenca del valle del Río Elqui y sus afluentes. El rectángulo negro encierra parte de la zona de estudio.



Mapa Geomorfológico del Valle del Río Turbio, Zona Guanta



Oeste

Este

Fig. 6: Mapa Geomorfológico del Valle del río Turbio, donde se identifican ciertas morfologías de tipo fluvial, aluvial y coluvial.

Las imágenes de abajo corresponden a las miradas, desde un punto cercano al centro del abanico a estudiar, Oeste y Este respectivamente. (Fuente: Google Street View 2019)



2.3. Clima

La cuenca del río Elqui, presenta tres tipos climáticos, el Estepárico Costero o nuboso, Estepa Cálido y Templado Frío de Altura (CADE-IDEPE, 2004):

- a) Clima Estepárico costero o Nuboso: se presenta a lo largo de toda la costa. Su influencia llega hasta el interior hasta 40km, por medio de los valles transversales y quebradas. Su mayor característica es la abundante nubosidad; humedad, temperaturas moderadas, con un promedio de precipitaciones de 130 mm anuales con un período seco de 8 a 9 meses.

- b) Clima de Estepa Cálido: este clima se sitúa en el valle del río Elqui, por sobre los 800 metros y se caracteriza por la ausencia de nubosidad y sequedad del aire. Sus temperaturas son mayores que en la costa, las precipitaciones no son tan abundantes y los períodos de sequía son característicos.

- c) Clima Templado Frío de Altura: este clima se localiza en la Cordillera de Los Andes sobre los 3.000 metros de altitud con características de altas precipitaciones, temperaturas bajas y nieves permanentes que constituyen un aporte significativo de agua en el período estival.

El clima de la Región de Coquimbo está controlado principalmente por el Anticiclón Subtropical del Pacífico Suroriental que es un área de altas presiones semipermanente que se ubica en el océano frente al norte y centro del país. Los vientos producidos por este giran en el sentido antihorario y son cálidos y secos, lo que en definitiva genera un clima estable con escasas lluvias, semiárido. En invierno el anticiclón normalmente se moviliza hacia el norte, permitiendo la entrada del Frente Polar, que es una masa de aire frío y bajas presiones que, al entrar en contacto con el aire cálido oceánico, crea condiciones inestables originando el desarrollo de sistemas frontales que pueden generar lluvias sobre el continente. Esto explica en parte la ocurrencia de lluvia en invierno y la estación seca en verano. Las alteraciones provocadas por la presencia de la “Corriente del Niño”, muchas veces generan un aumento de las precipitaciones totales y su intensidad. Este es un fenómeno que ocurre en el Océano Pacífico cada cierta cantidad de años y que se caracteriza por un aumento de la temperatura del mar en 1 a 2 °C sobre lo normal. Esto hace que el Anticiclón del Pacífico se desplace hacia el oeste permitiendo la entrada de los sistemas frontales del Pacífico Sur.

En La Serena se registra un promedio anual de 14.7°C y, al encontrarse en las cercanías del mar, se producen amplitudes térmicas diarias que no sobrepasan los 6°C. Las

precipitaciones se concentran principalmente en los meses mayo a agosto y 6 a 7 meses secos. El promedio de precipitaciones anuales para La Serena es de 98,4 mm con una desviación estándar de 65,2 mm para el periodo 1919-2006. Las precipitaciones van aumentando hacia el sur de la Región, registrándose en la zona costera precipitaciones promedio del orden de 120 mm en Hacienda El Tanque, 170 mm en Puerto Oscuro, 250 mm en Los Vilos y 280 mm en Quilimari (INFRACON, 2007)

En las partes alta de la cuenca, los registros de precipitación media anual corresponden a 73,9 mm en el sector de Guanta; 92,4 [mm] en Paihuano y 137,5 [mm] en la localidad de Vicuña. El total de agua caída por año alcanza a 125,7 [mm]. Las temperaturas varían de 0°C en el sector cordillerano (>3000 m.s.n.m.) a 16°C en el sector costero (<1500 m.s.n.m.). (INFRACON, 2007)

La estación agroclimática Ovalle registra una temperatura media anual de 16,6°C, con una mínima de 9,4°C y una máxima de 23,8°C. Según los datos se identifican claramente las estaciones secas y húmedas. El período seco, se manifiesta en los meses de septiembre a abril con precipitaciones medias mensuales que varían entre 0 y 3,1 [mm] y temperaturas comprendidas entre 13,1 y 20,1°C (enero). El período húmedo, se presenta desde mayo a agosto registrando precipitaciones medias mensuales entre 18,8 y 27,6 [mm] y temperaturas entre 11,5 y 13,6 °C. Las variables climáticas de humedad relativa y evapotranspiración potencial registrados en el sector alto (río Elqui en nacimiento junta ríos Turbio y Claro) y la desembocadura (La Serena) de la cuenca. (INFRACON, 2007)

3. Metodología de trabajo

3.1. Metodología de Terreno

La metodología de terreno comprendió en realizar dos campañas de terreno de varios días. Una se realizó en octubre de 2019 (10-12) y la segunda en octubre (19-21) de 2021. En ambas ocasiones se tomaron datos de la estratigrafía de la secuencia y se recolectaron muestras de la mayoría de las capas, en cada una de las columnas que desarrollaron en las campañas de terreno.

Se realizaron descripciones de cada una de los estratos en las que se consideró espesor, disposición, color, granulometría, presencia de clastos, estructuras y observaciones varias. Además, se recolectaron muestras principalmente de la matriz de cada una de las capas mediante el uso de palas de pequeña escala y espátula y colocadas en pequeñas bolsas que se podían sellar por completo. Para capas que poseían completamente con contenido carbonáceo o con material orgánico se recolectaron muestras de la siguiente forma. Con mucho cuidado se retrabajo un tanto la zona superficial para que no se vea contaminada la muestra. A través de una pala y espátula se procede a sacar la muestra del ancho de la capa completa sin que se contamine con otros sedimentos y estos se depositan en bolsas selladas. Esto se hace para realizar posteriores fechados con radiocarbono.

Las muestras fueron nombradas de base a techo como QC-NXX. QC para identificar la quebrada y NXX por el nivel de base a techo.

3.2. Metodología de Laboratorio

3.2.1. Análisis Sedimentarios

A todas las muestras se realizaron análisis de la granulometría mediante el Granulómetro Laser Mastersizer 2000 & Hydro200G de Malvern Instrument para el particulado fino. Esto se realizó en el Laboratorio de Sedimentología del Departamento de Geología de la Universidad de Chile.

Para ello las muestras se colocaron durante unos minutos en agua destilada para dispersar cada una de las partículas, se agitaron durante unos segundos (20 a 30 [s]) logrando una separación homogénea. Posteriormente se colocaron en el Granulómetro Laser, cuando corresponda y la cantidad adecuada. Antes de la medición se mantuvo a la muestra durante al menos 2 minutos en el agitador a el 70% de su potencia y no se ocupó el ultrasonido de la máquina, ya que este puede romper a las partículas y generar un error en la medición.

Se decidió aplicar distintas metodologías a, al menos, 9 muestras. Esto se realizó debido a que hay muchos factores que pudieron alterar los resultados además de los parámetros que se ocupan para realizar el análisis. Se ocuparon 5 configuraciones: A) realizar el análisis como se mencionó anteriormente; B) dejar la muestra en el agitador al máximo durante mínimo 3 minutos, hasta que se dispersen las partículas; C) dejar la muestra en el agitador al 75% durante 2 minutos y el ultrasonido al 10% durante 30 segundos; D) dejando la muestra en la agitadora al máximo y el ultrasonido al 20% durante los 2 minutos; y E) dejar la muestra en el agitador al 70% durante 2 minutos, hasta que se disperse la muestra.

Con los datos obtenidos en terreno se elaboraron varios bosquejos de columnas y que posteriormente se digitalizaron mediante el software Adobe Illustrator, es decir, generando columnas y perfiles estratigráficos para visualizar variaciones laterales y correlaciones.

3.2.2. Análisis Geoquímicos

El análisis geoquímico se realizó mediante estudio de Fluorescencia RX con el equipo Shimadzu EDX-720, que está ubicado en el Laboratorio de Espectrometría del Departamento de Geología de la Universidad de Chile.

Las muestras pasaron por un pretratamiento de molienda, donde parte de las muestras se molió a mano mediante un mortero de ágata (resistencia a la corrosión y no presenta impurezas) durante 5 a 10 minutos hasta que visiblemente fueran granos muy pequeños. Posteriormente se pasó por tamizaje N°200. Se realiza un pesaje ya que para este estudio solo se necesitó menos 500 [mg] de muestra. Se montan en un recipiente cada una de las muestras en las que quedaron selladas al vacío.

3.2.3 Dataciones

Se realizaron estudios para fechados radiométricos a muestras de las capas con restos orgánicos mediante la medición de Carbono 14. Estas fueron enviadas al Laboratorio DirectAMS para realizar los análisis. Ellos se encargaron del Tratamiento completo de la muestra. Este proceso consiste en un pretratamiento en base a Ácido-Base-Ácido, una combustión de materia orgánica hasta convertirlo en CO₂ y reducirlo a grafito. (DirectAMS, 2020)

La medición se realizó mediante el Espectrómetro de Acelerador de Masas (AMS, siglas en inglés). Este laboratorio dispone de dos instrumentos que tienen diferencias,

pero en principio el análisis es el mismo. Estos son NEC Pelletron 500 kV y IonPlus MICADAS 250 kV.(DirectAMS, 2020)

Una vez obtenidos los resultados estos se calibraron mediante el software online OxCal v.4.4. Esta calibración se basa en el estudio *SHCal20 Southern Hemisphere Calibration, 0–55,000 Years cal BP*, (Hogg et. al, 2020).

3.2. Peligros Geológicos

Para realizar un mapeo de peligros geológicos sobre la zona de estudio se realizó a cabo una investigación previa de antecedentes sobre eventos aluvionales que hayan ocurrido al menos en los últimos 10 años. Junto con eso se hizo un mapeo de carácter geomorfológico considerando los diferentes depósitos y estructuras que presenta la zona de estudio. Considerando aspectos específicos para reconocer eventos aluviales como color y forma, como a su vez también otros tipos de depósitos de remoción en masa. También reconocer escarpes y quebradas. Esto junto el análisis de otras herramientas mediante el uso de imágenes satelitales de elevación digital (DEM) permiten poder estimar cualitativamente el peligro de cada zona del abanico. Para el peligro de caída de rocas se basó en lo observado en las laderas aledañas al sector y observaciones mediante imágenes satelitales (DEM). Para esto se ocuparon dos herramientas computacionales como lo son los softwares ArcGIS y Google Earth.

4. Resultados

4.1. Descripciones generales de la zona de estudio

Si se refiere a la geomorfología de zona de estudio corresponde a un valle de río bastante angosto y encajonado de ancho variable entre los 100 a 300 [m]. En la zona alrededor del valle se pueden ver cumbres de altura considerable que aportan sedimentos constantemente al valle a través de las quebradas, pero los aportes sedimentarios mayores estarían dados por la presencia de río Turbio y sus afluentes. A lo largo del valle se observan diferentes abanicos aluviales de diversos tamaños e importancia en la zona. Se observan grandes paredones de aproximadamente 10 a 40 metros de altura a lo largo del valle asociados a los abanicos aluviales formando una especie de terraza en contacto con el lecho del río.



Fig. 7: Foto panorámica desde la carretera de la parte este del abanico aluvial de la Quebrada El Cementerio. Elaboración propia.

Específicamente en la zona se puede observar un abanico bastante desarrollado en altura con respecto al nivel del camino con un ancho que varía desde su parte media entre los 300 a 1000 metros y una extensión desde su ápice hasta la base es de aproximadamente 4 [km]. Se puede observar que existe vegetación “artificial” correspondiente a el cultivo de uvas, tanto en el base como en su parte media. El paredón observado alcanza los 15 metros de altura en su punto máximo y hacia los costados disminuye en altura hasta el contacto con el nivel del camino (Fig.7). En este afloramiento es posible observar las secuencias sedimentarias interdigitadas entre depósitos de sedimentos de grano grueso y depósitos de sedimentos de grano fino.

4.2. Estratigrafía de la secuencia

En la Figura 8 es posible observar la ubicación exacta de donde de cada una de las columnas realizadas en este trabajo. Las posteriores imágenes corresponden a la secuencia sedimentaria de la primera columna ubicada en la parte este de la base del abanico (Punto UTM: 19J 0364781 6697580 h: 1196 ± 7 [m]) (Fig. 8). Esta columna está dividida en tres tramos debido a que no se puede seguir una continuidad estricta en algunos de los estratos. En los contactos de las columnas 1A, 1B y 1C debido a la continuidad de estos se pueden corroborar sus contactos. Se puede decir a partir estas columnas que la secuencia sedimentaria en esta zona es de un espesor aproximado de 12 metros. Se observan a grandes rasgos intercalaciones de limos y gravas. Se observa variación en los colores de las capas, específicamente en los limos, aunque en la matriz de las gravas también hay una variación de color evidente (Fig. 9). Existen capas que no ha sido posible plasmar en las columnas debido a su escala.

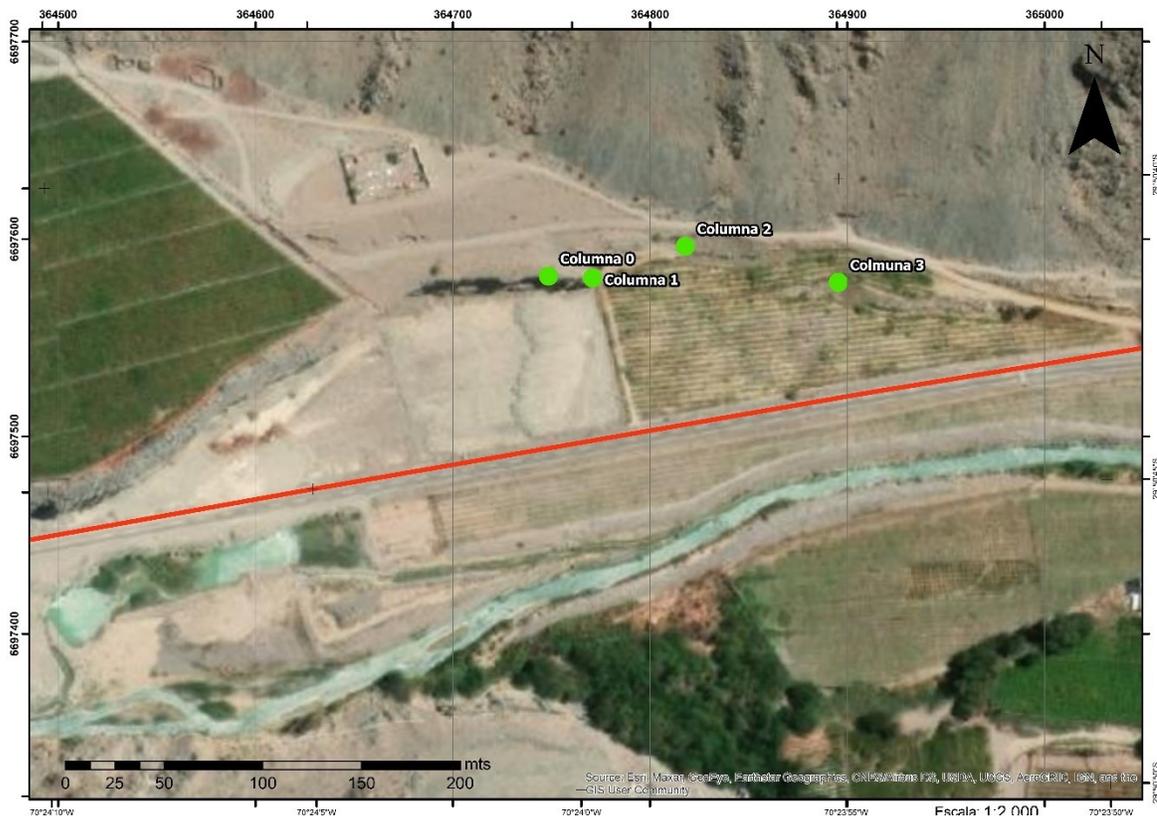


Fig. 8: Vista en planta en escala 1:2000 de las ubicaciones de cada una de las columnas descritas (puntos verdes). Elaboración Propia

Las capas presentan por lo general estratificación horizontal. En los estratos de material fino se observa más este comportamiento debido que en ellas hay variaciones de color. Estas variaciones son principalmente entre colores blanco, amarillo, pardo, rosados y grises, como se ve en las figuras 9 y 13B. En las capas de grano más grueso los sedimentos están dispuestos de manera masiva, además que están asociados principalmente a gravas. Algo a considerar es que se observan estratos con

bioturbación, rizolitos y capas de materia orgánica las cuales se hacen más comunes hacia el techo de la secuencia (superficie actual). Se destaca que la granulometría ocupada en la mayoría de las capas fue la obtenida por el análisis granulométrico y con su número de muestra respectivo. Igualmente se plasman algunas de las observaciones realizadas en la primera campaña de terreno, que consiste principalmente en la descripción de los estratos de granulometría más gruesa. (Fig.10).

- Columna 1 (Primera campaña de terreno)

De la columna 1A se destaca que la secuencia en esta columna es mayoritariamente limos con algunas intercalaciones de gravas y/o conglomerados y algunas areniscas, ambas de color amarillento. Estas intercalaciones son concordantes con las superficies de los estratos, pero es un cambio evidente de granulometría. Existen 4 niveles de bioturbación y en algunos casos acompañados con rizolitos en la columna, pero se observan en algunas también oxidación al igual que son lugares puntuales de las capas y no siguen un patrón. Cabe señalar que los colores ocupados en las columnas representan el color que tienen los estratos. Esto se puede apreciar en las figuras 9 y 10. Al igual que algunas imágenes sobre las estructuras y la litología observada (Fig. 13)

En la columna 1B (Fig. 11) en general se observa un paquete de estratos completamente de grano medio a grueso de color amarillento incluso más intenso llegando a un color pardo correspondiente a gravas y arenas. Estas están intercaladas con estratos de limo fino de espesores similares de entre 5 a 20 [cm]. Se destaca una capa muy fina de 1 a 2 [cm] de grano fino, probablemente un limo a arena muy fina. Presentan estructuras sedimentarias como bioturbación y marcas de raíces (pequeñas áreas con material carbónico) en niveles más gruesos. En algunos niveles de limos se puede ver una estratificación ondulosa.

En la columna 1C (Fig. 12) se observa una diferencia con lo anterior, donde predomina el grano fino en la secuencia con dos eventos o intercalaciones con 2 capas diferentes de grano grueso. El primer evento conglomerado/grava clasto soportado de clastos relativamente grandes (10 a 20 [cm]), parecido a lo visto hacia la base de la secuencia, pero el segundo evento es diferente ya que presenta un mayor espesor, matriz soportado de clastos medianos a grandes polimícticos (5 a 10 [cm]) con lentes conglomeráticos clasto soportado. Y sobre este un estrato clasto soportados con clastos monomícticos de 10 a 60 [cm] de tamaño.

Posteriormente en la segunda campaña de terreno se realizaron otras observaciones y otras columnas tanto hacia el lado oeste y este de la primera columna. También se completa mediante observaciones la Columna 1 hacia arriba del último estrato de grava descrito. Como bien se dijo anteriormente en la figura 8 se puede ver la ubicación

especifica de cada una de las columnas realizadas, tanto en la primera como en la segunda campaña de terreno.



Fig. 9: Foto de la primera parte de la columna 1 donde se pueden ver cada una de las capas descritas de la columna 1A. Los estratos esta demarcados.

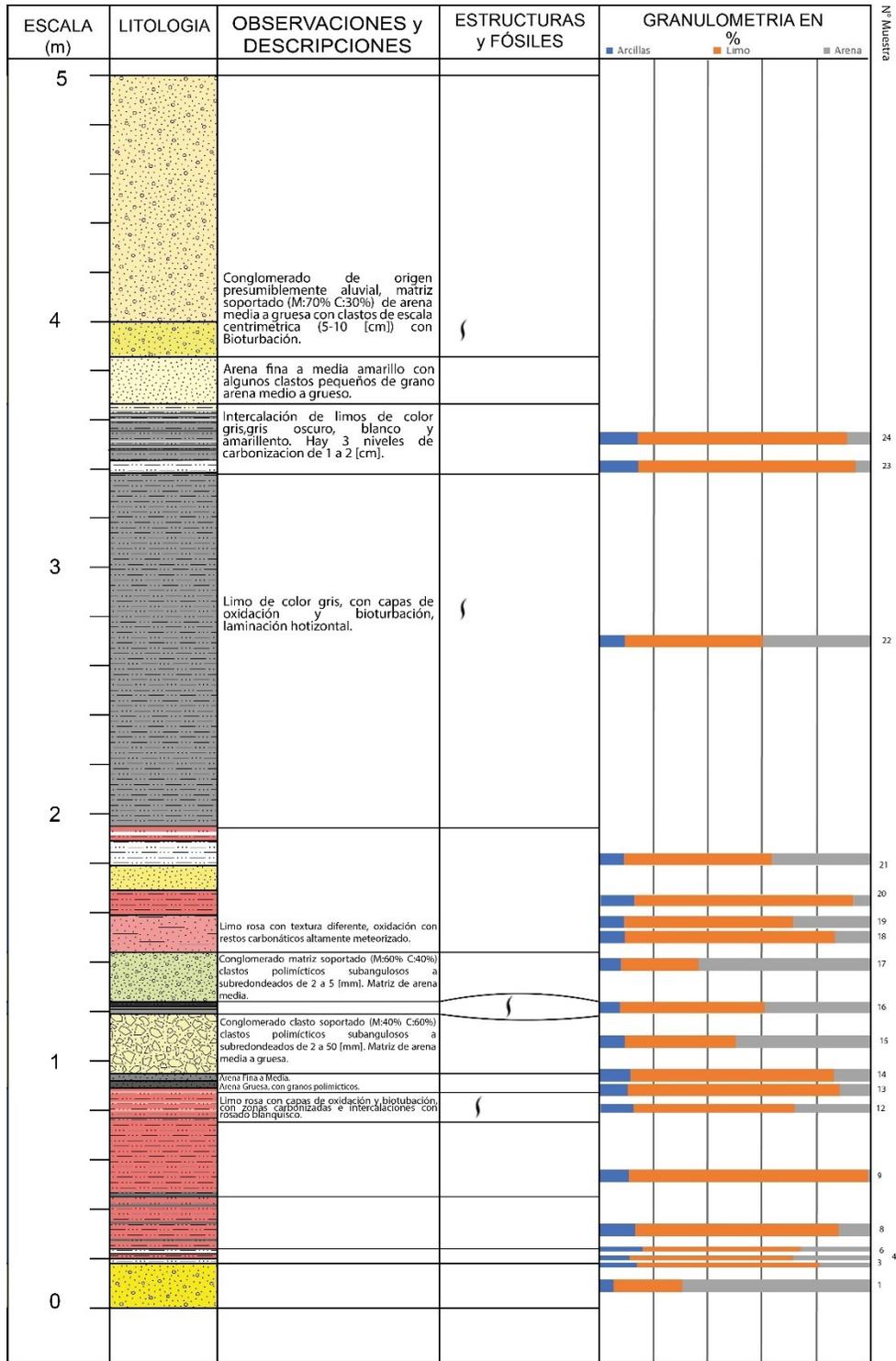


Fig. 10: Columna 1A, ubicada en las coordenadas UTM 19J 0364781 6697580

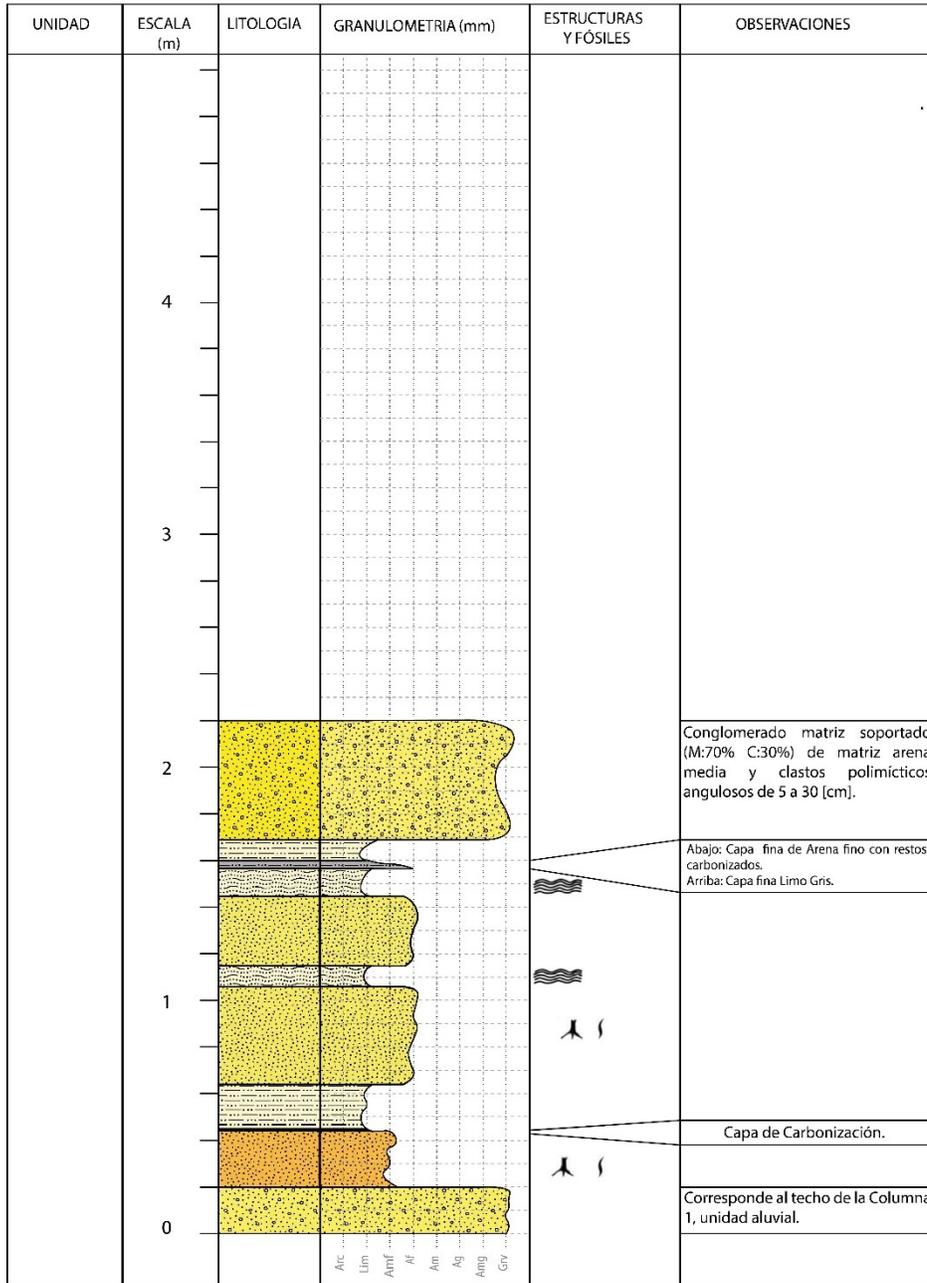


Fig. 11: Columna 1B, ubicada a 20 [m] hacia el este de la columna 1A y a 5 [m] de altura desde la base. Adicionalmente la Leyenda para cada columna. Elaboración Propia.

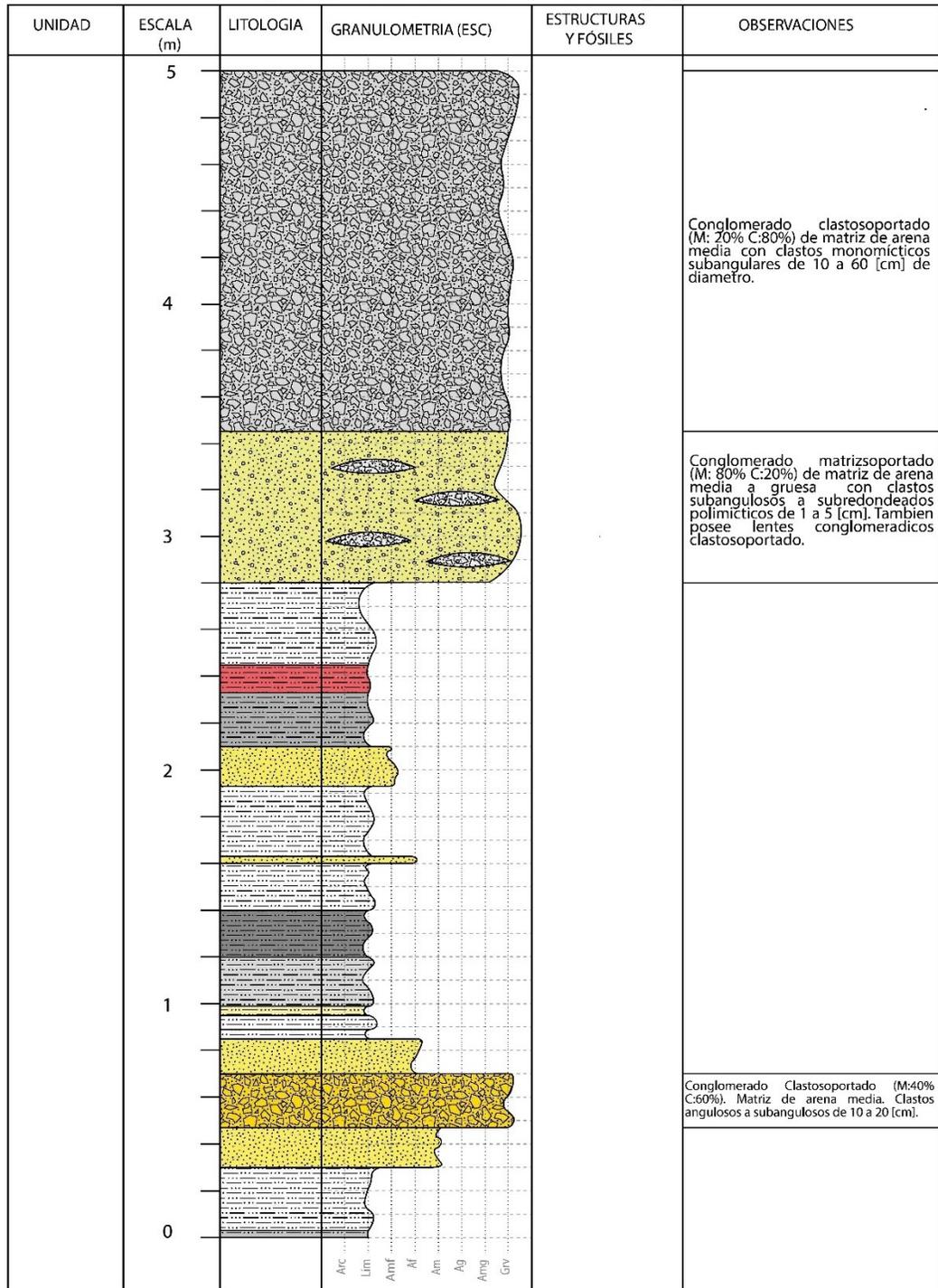


Fig. 12: Columna 1C, ubicada sobre la columna 1B a 2 [m] hacia el este. Elaboración propia.

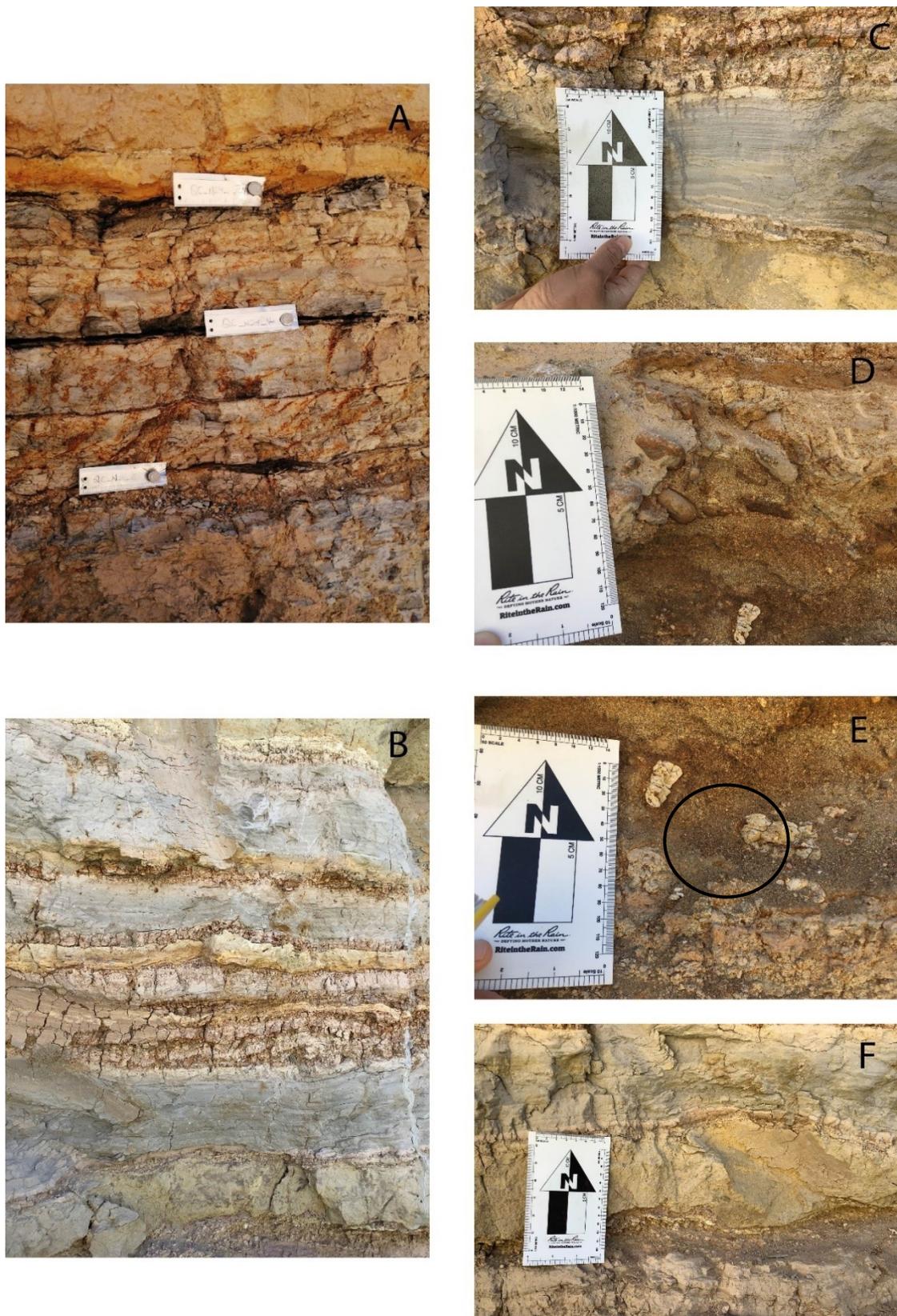


Fig. 13: Imágenes tomadas en terreno de la Columna 1A. A) Capa QC-N24, donde se muestra las capas con materia orgánica. B) Parte de la estratigrafía de la columna, donde se muestra la parte más fina desde QC-N7 a QC-N15. C) Laminación horizontal. D) Imbricación de clasto en sedimentos aluviales. E) Rizolitos. F) Sedimento de grano grueso más fino de color verdoso. Elaboración Propia.

- Columna 0

Se realiza una observación a grandes rasgos del afloramiento hacia el costado oeste del afloramiento que se traduce en la columna 0. En esta se puede ver una secuencia de estratos intercalados entre sedimentos finos y gruesos. La secuencia inicia con un estrato potente de 2 metros sedimentos finos, de color pardo grisáceo del cual no se puede identificar algún cambio de color o de estructuras sedimentarias, debido al retrabajo y "suciedad" del afloramiento. Se observa a simple vista una pequeña laminación horizontal dentro de las capas. Existe concordancia entre los estratos. Luego le siguen 2 capas de grano grueso de potencia 40 y 80 [cm], respectivamente. Presentan un color amarillo a pardo. Se puede observar que uno de grano más fino que el otro. No se observan estructuras. La columna continua con secuencias de 80 [cm] aproximadamente, de sedimentos de grano fino identificados como limo/arcillas de color grisáceo con cambios de color entre oscuros y claros. Presenta laminación horizontal. Esta intercalado por un estrato de espesor 20 a 30 [cm] de depósitos de granulometría gruesa de color amarillo a pardo con algunos clastos de entre 5 a 10 [cm] (M: 80% C:20%). A simple vista no se observan estructuras.

Sobre estos esta la capa de sedimentos finos con 3 capas de contenido carbónico, seguido por una pequeña secuencia de 30 a 40 [cm] de sedimentos finos (5 a 10 [cm] de espesor) intercalados con un estrato de granulometría gruesa (20 [cm] de espesor), aparentemente de arena media. Toda la secuencia presenta colores pardos a amarillos. Sobre estos depósitos se reconoce una secuencia de varios estratos de 40 a 80 [cm] de espesor. De granulometría grueso, tamaño grava. Presentan colores grisáceos y pardos. Primordialmente son matriz soportado y gradúan a clasto soportado (40->60%). Se observan grandes clastos entre los 30 y 50 [cm] con una media de entre los 10-30 [cm]. En algunos sectores de las capas se puede identificar imbricación (Fig.13D) de algunos clastos mostrando una dirección clara del flujo. Estos estratos presentan una intercalación capas de granulometría más finas sin poder identificarla ya que es de difícil alcance. Presenta un color pardo. No se puede observar si presenta alguna estructura. Aparentemente de deposición masiva.

- Columna 1 (Segunda campaña de terreno)

Siguiendo con la descripción realizada sobre la columna 1 (Fig 14, Columna 1 continuación) se observa que es una secuencia más bien cíclica con intercalaciones entre depósitos de granulometría más gruesas y depósitos de granulometría más finas. Los depósitos más gruesos presentan un espesor relativo entre los 30 y 150 [cm]. Son de granulometría generalmente gravas y algunas arenas muy gruesas. Presentan en su mayoría colores pardos. Algunas capas presentaban un color más claro y otras más grisáceos, específicamente los que presentan una cantidad mayor de clastos. En su mayoría están clasificados como matriz soportado donde el porcentaje de clastos esta entre los 20-40 %. Los depósitos tienen un carácter bimodales y mal seleccionados. Los clastos alcanzan tamaños hasta los 60 [cm], son angulosos a sub angulosos y a simple vista son monomícticos. Cabe destacar que hacia el este de la columna

aumenta la cantidad de matriz y disminuyen de tamaño los clastos. No se observa presencia de alguna estructura. Los depósitos de sedimentos finos tienen un espesor de entre los 5 y 40 [cm]. Se presentan de color pardo con algunos matices rojizos. Se observan con laminación horizontal de entre 1 a 5 [cm]. En algunos de los estratos de sedimentos finos es posible observar rizolitos.

- Columna 2

Unos metros más hacia el este, en la columna 2 (Fig. 15 y Fig. 16) se observa una base correspondiente a un estrato de 30-40 [cm] de espesor. La granulometría de la capa es de grano fino. Presenta un color pardo a blanquecino. Se puede observar presencia de varias capas con material orgánico de entre 0,5 y 1 [cm]. En la parte superior de esta capa se observa una capa de mayor espesor de material orgánico de aproximadamente 2 [cm]. Sobre estos estratos se observan dos cuerpos de grano grueso. El primero tiene un espesor de 60 [cm] de granulometría arena gravosa, es decir bimodal. Es matriz soportado con un 20% de clastos. Estos clastos sub-redondeados de máximo 1 [cm] de tamaño, monomícticos y de matriz arenosa de tamaño medio y colores pardos. Se presentan rizolitos y nódulos de óxidos. El segundo corresponde a un depósito de 50 [cm] de espesor. Presenta una granulometría de arena media. Presenta un color pardo amarillento. No se observan clastos. Se observan rizolitos en diferentes sectores del depósito. Sobre estos se depositan dos estratos de sedimentos finos. El primero corresponde a un estrato de 1 [m] de potencia. De granulometría limo de color grisáceo. No presenta clastos. Se observa con estratificación masiva y en algunos sectores se aprecia unas laminaciones de color blanquecino. También hay presencia de rizolitos. La segunda es una capa de menor espesor, unos 30 [cm]. La granulometría es limo muy grueso/arena fina. Presenta un color gris oscuro. Presenta material orgánico. Este material se encuentra tanto dentro del estrato como una capa de 0,5 [cm] en el techo del estrato (Fig. 15C).

Sobre estos estratos se identifican 4 estratos en una secuencia grano decreciente. En la base un depósito de 50 [cm] de espesor. Bimodal y matriz soportado con 20% de clastos. Estos son subangulares a sub-redondeados de máximo 2 [cm] y monomícticos, con una matriz de arena fina de color pardo. No presenta signo de estratificación, pero si algunas marcas de raíces. Sobre este se encuentra un estrato de 40 [cm] de espesor de granulometría tamaño arena media. No hay presencia de clastos. Presenta algunas marcas de raíces. Sobre este yace una capa donde se observa un depósito de 20 [cm] de espesor. La granulometría es de tamaño limo. Presenta un color gris blanquecino. Se observa presencia de algunos clastos y marcas de ellos en la base del estrato. No se puede establecer un tamaño en específico ni litología de estos. Presenta una leve laminación. Y finalmente termina esa secuencia con un estrato de 20 [cm] de espesor. La granulometría de estos depósitos es de tamaño limo. Presenta un color gris bastante oscuro. Presenta laminación. Se intercala con pequeñas laminaciones de material orgánico. Estas van aumentando hacia el techo hasta que finalmente termina en una capa de 0.5 a 1 [cm] entre este estrato y el siguiente. Sobre estos yacen 3 unidades de grano grueso, es decir tamaño grava. La primera capa tiene 10 [cm] de espesor. Bimodal de granulometría grava y arena.

Presenta un color pardo. Es un depósito clasto soportado (C: 70% M: 30%). Presenta clastos son sub-redondeados y sub-angulosos, monomícticos y de hasta 5 [cm] de tamaño. La matriz se observa de tamaño arena media a gruesa. Sobre esta hay una capa de 1 [cm] de material orgánico (Fig 15 B). La segunda capa es de 40 [cm] de espesor. Es bimodal de granulometría arena y grava. Presenta un color pardo y grisáceo debido a los clastos. Es matriz soportado (C: 20% M: 80%). Los clastos sub-angulosos a sub-redondeados, monomícticos y de hasta 2 [cm] de tamaño. La matriz es de arena media a gruesa. No se observan estructuras. Y sobre esta capa un estrato potente de 140 a 150 [cm]. Bimodal de granulometría arena y grava. De color pardo a gris. Aparentemente clasto soportado (C: 60% M: 40%). Presenta clastos subangulares, monomícticos y de un tamaño entre los 20 y 30 [cm]. La matriz es de arena media gruesa. No se observan estructuras.

- Columna 3

A 25 [m] hacia el este se realizan las descripciones correspondientes a la columna 3 (Fig. 17, 18 y 19). Esta secuencia es la que se encuentra más hacia el este y la más alejada desde el centro del abanico aluvial. Se establece que la base de esta columna es la primera capa que se describe, debido a que no se puede observar tanto a simple vista como retrabajando el terreno si existe alguna capa abajo de esta. Esta capa tiene un espesor mínimo de 150 [cm]. Se describe como una intercalación capas o laminaciones donde su granulometría varía entre limos gruesos y arenas muy finas. Estas tendrían un espesor que varían entre los 10 a 20 [cm]. A simple vista se ve de un color gris oscuro con algunas intercalaciones más blanquecinas, siendo estas últimas las arenas más finas. Se observa laminación horizontal y esto se puede identificar por la oxidación que presenta algunas capas. También se observan rizolitos (Fig. 18C y 19D), en algunos casos se observan hasta con los restos de troncos. Al igual se encuentran nódulos de oxidación de unos 5 a 30 [cm] (Fig. 18C y 19D). Estas están distribuidas en casi toda la capa, pero hacia el techo y hacia el este se van haciendo menos abundantes. Sobre esta capa yace un depósito de 20 [cm] de espesor. La granulometría observada es de tamaño arena media a gruesa. Esta capa tiene un color pardo. Se observa la presencia de clastos de entre 1 y 5 [cm] de tamaño. Estos son sub-angulosos y monomícticos. El contacto superior presenta una superficie de oxidación de no más de 0,5 [cm].

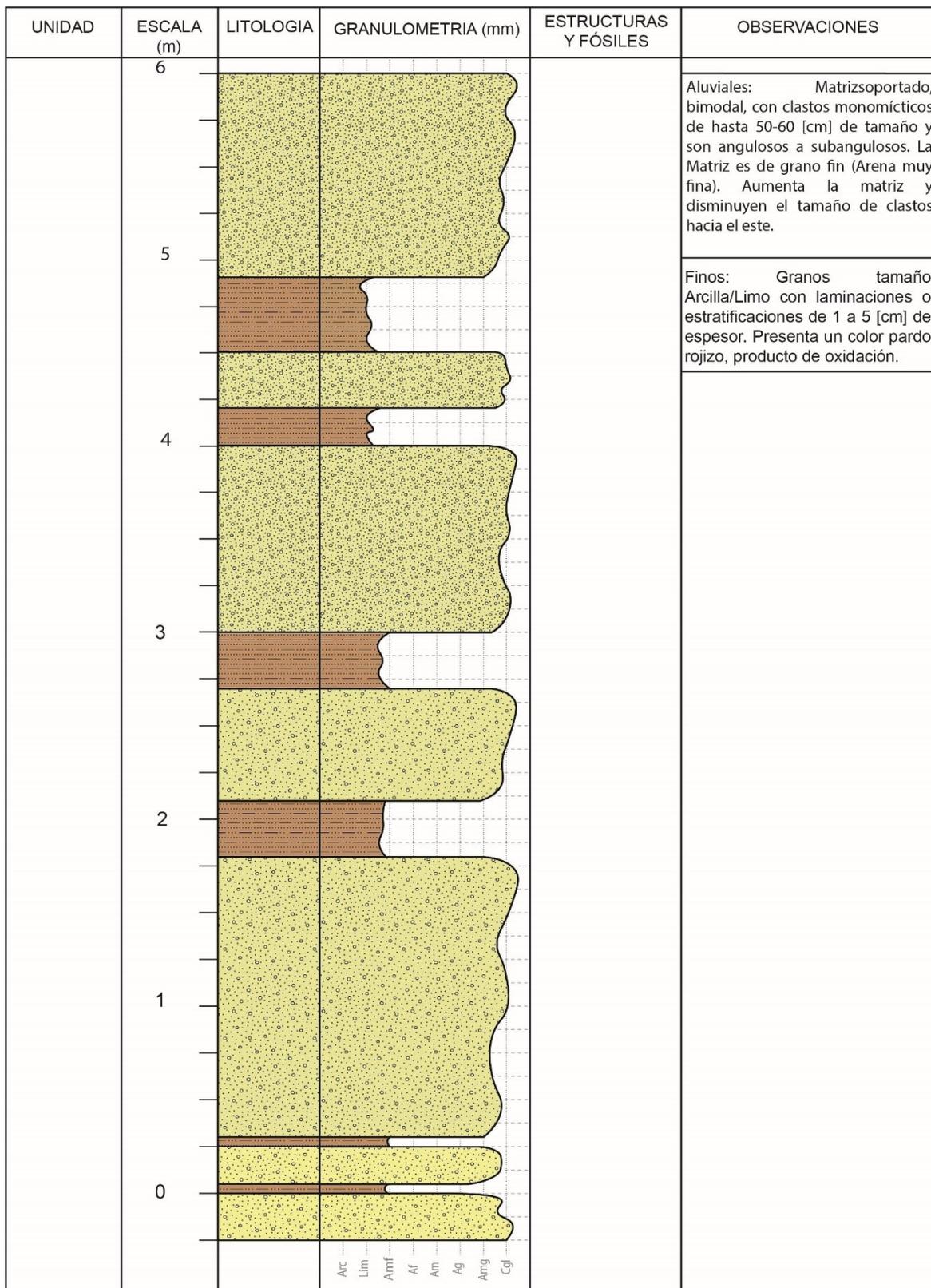


Fig. 14: Continuación Columna 1A, ubicada en las coordenadas UTM 19J 0364781



Fig. 15: Imágenes obtenidas para la Columna 2. A) Parte superior de la estratificación donde se reconocen estratos de carácter aluvial y otros lacustres. B) y C) representan capas muy finas con alto contenido orgánico. D) Vista panorámica de la parte superior de la columna 2.

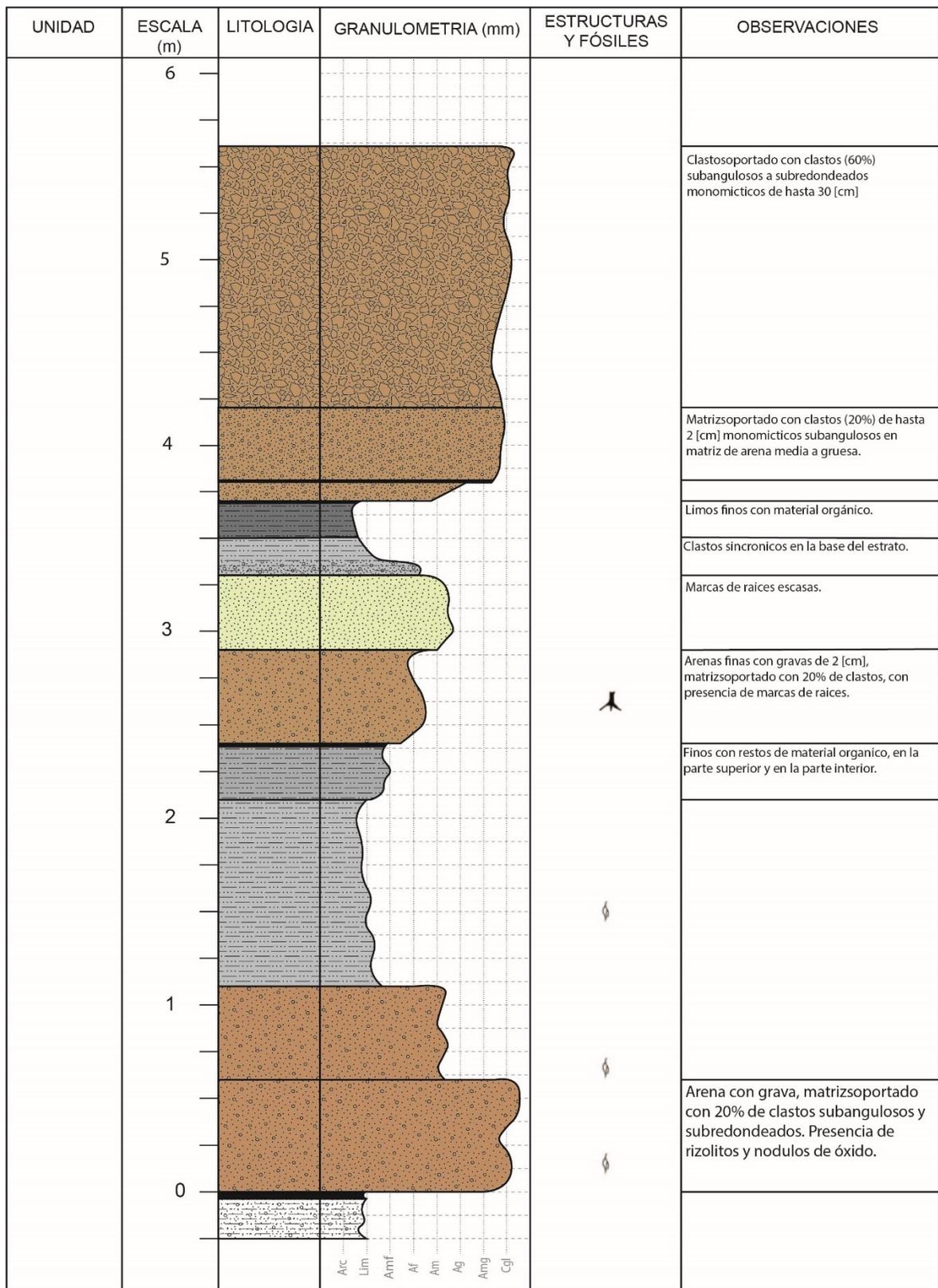


Fig. 16: Columna 2, ubicada en las coordenadas S 29° 50, 6847' O 70°23,9616'

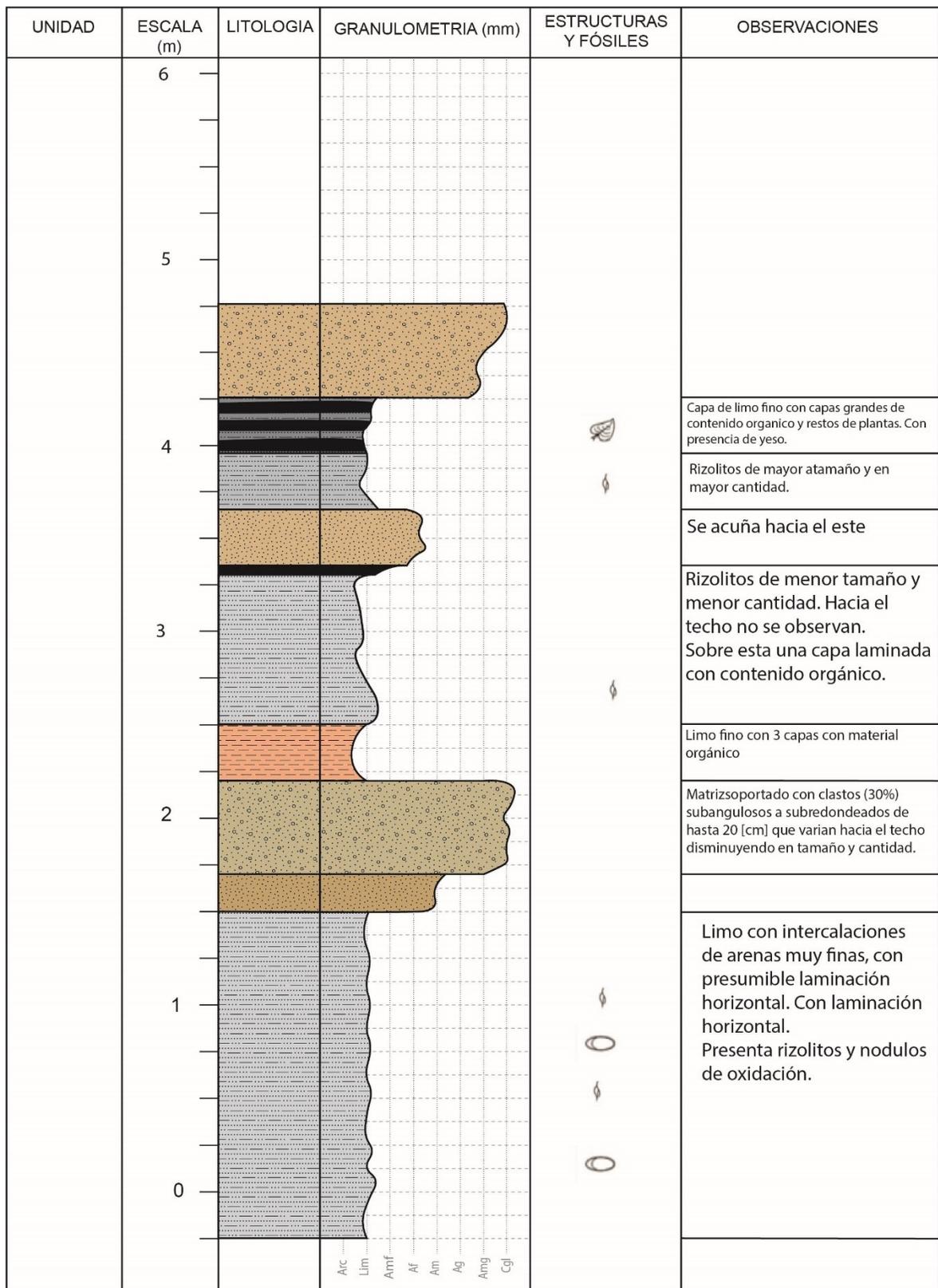


Fig. 17: Columna 3, ubicada en las coordenadas S 29° 50, 6951' O 70°23,9142'

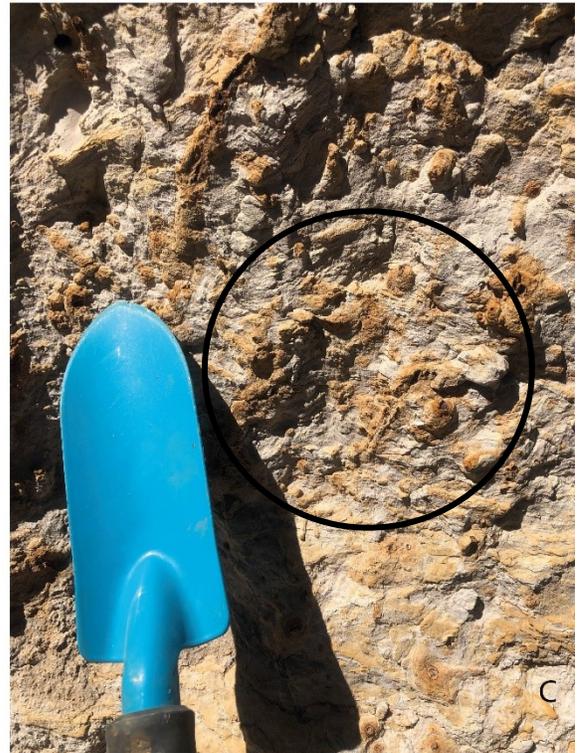


Fig. 18: Fotos tomadas de la Columna 3 A) Foto de la parte superior del afloramiento. B) Foto de la parte inferior del afloramiento. C) Rizolitos y nódulos de óxido.

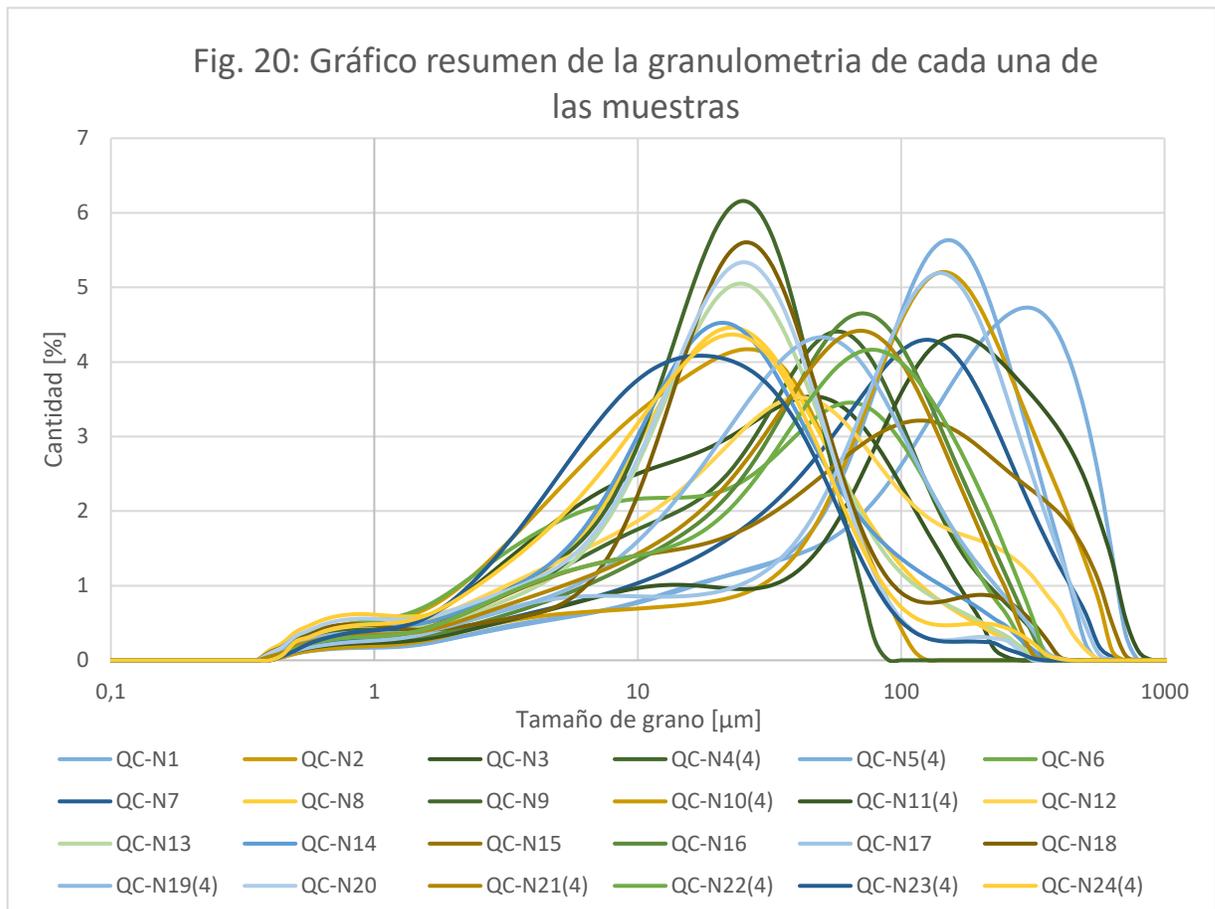


Fig. 19: Fotos tomadas de la Columna 3 D) Nódulos de óxido y rizolitos.
E) Capa casi totalmente de contenido orgánico. F) Laminación horizontal y ondulosa.
G) Clasto y estratificación convoluta.

Sobre esta capa, se observa un estrato de 50 [cm] de espesor. Son principalmente depósitos matriz soportado (C: 30% M: 70%) con granulometría bimodal de arenas y gravas. El depósito en su totalidad presenta un color pardo amarillento. Presenta clastos sub-angulosos a sub-redondeados de 1 a 10 [cm] de tamaño y monomícticos. La matriz es de arena media a gruesa. Este estrato presenta una gradación hacia el techo. Los últimos 20 [cm] pasa a un depósito de arena fina a media con clastos (~10%) de menor tamaño, entre 0.5 y 3 [cm]. Mantiene el color pardo amarillento. Presenta una superficie con presencia de óxidos. Sobre esta capa se disponen 3 capas de grano fino de tamaño limos. La primera tiene un espesor de 30 [cm]. Presenta una granulometría de tamaño arcillas y limos finos. Se observa con un color rojizo/pardo. Presenta 3 capas de máximo 1 [cm] de grosor que contienen abundante material orgánico. La segunda capa corresponde a un estrato de 80 [cm] de espesor. Tiene una granulometría fina, es decir, arcillas y limos finos. Se observa con colores grises y blanquecinos. Presenta rizolitos en menor cantidad y tamaño (0.5 a 1 [cm]) visto en otras capas. Sobre este estrato se deposita la última capa de este paquete que tiene un espesor máximo de 5 [cm]. Su granulometría es de limo. Presenta un alto contenido de material orgánico. Sobre este paquete de capas se deposita un estrato de 30 a 40 [cm] de espesor. Este presenta una granulometría de tamaño arena fina. Se puede observar de un color pardo amarillento. Esta capa se va acuñando hacia el este. No se observan estructuras. Sobre esta capa se observa un estrato de entre 20-30 [cm] espesor. Presenta una granulometría de tamaño limo. El color de la capa es gris. Presenta rizolitos de mayor tamaño (>1 [cm]) y en mayor cantidad. Yace sobre la anterior una capa de 20 a 30 [cm] de espesor. Presenta una granulometría de tamaño limo fino. Presenta un color gris pardo. Esta capa presenta alternancias de capas de un grosor de entre 1 y 5 [cm] que contienen material orgánico (Fig. 19E). Al observarla parece que el estrato es completamente de materia orgánica. Es posible ver trozos de carbón en algunas partes. Se observa que en espacios y/o fracturas hay cristales tanto aciculares como en estrella de yeso. Y la columna finaliza con un estrato de 50 [cm] de espesor. Presenta una granulometría de grano arena fina a medio. se presenta de un color naranja o pardo. Nos se observan clastos aparentemente.

4.3. Análisis granulométrico

En el gráfico de la figura 20 se presentan la granulometría en general de las capas estratificadas para la columna 1A (Fig. 9). En su totalidad son 24 muestras, que representan cada nivel desde base a techo de esa columna, como se puede ver en la figura 9. En este gráfico se puede observar cada una de las capas numeradas identificando 3 rangos de tamaños promedio. Estos son entre los 10 y 50 μm], entre los 50 y los 100 μm] y entre los 100 y 500 μm]. (ver Anexo A para las tablas de cada análisis).



Con respecto a la metodología ocupada finalmente luego de los resultados de cada uno de los ensayos se decidió por ocupar la Opción E. Este cambio de metodología se ocupó debido a los datos obtenidos por el análisis de la máquina, las curvas, presentaban errores entre las mediciones. Estos no coincidían al momento de la medición (Fig. 21). Por ende, se optó por realizar cambios para las muestras QC-N4, QC-N5, QC-N10, QC-N11, QC-N19, QC-N21, QC-N22, QC-N23 y QC-N24. De igual manera se hicieron pruebas en las demás muestras, obteniendo los mismos resultados.

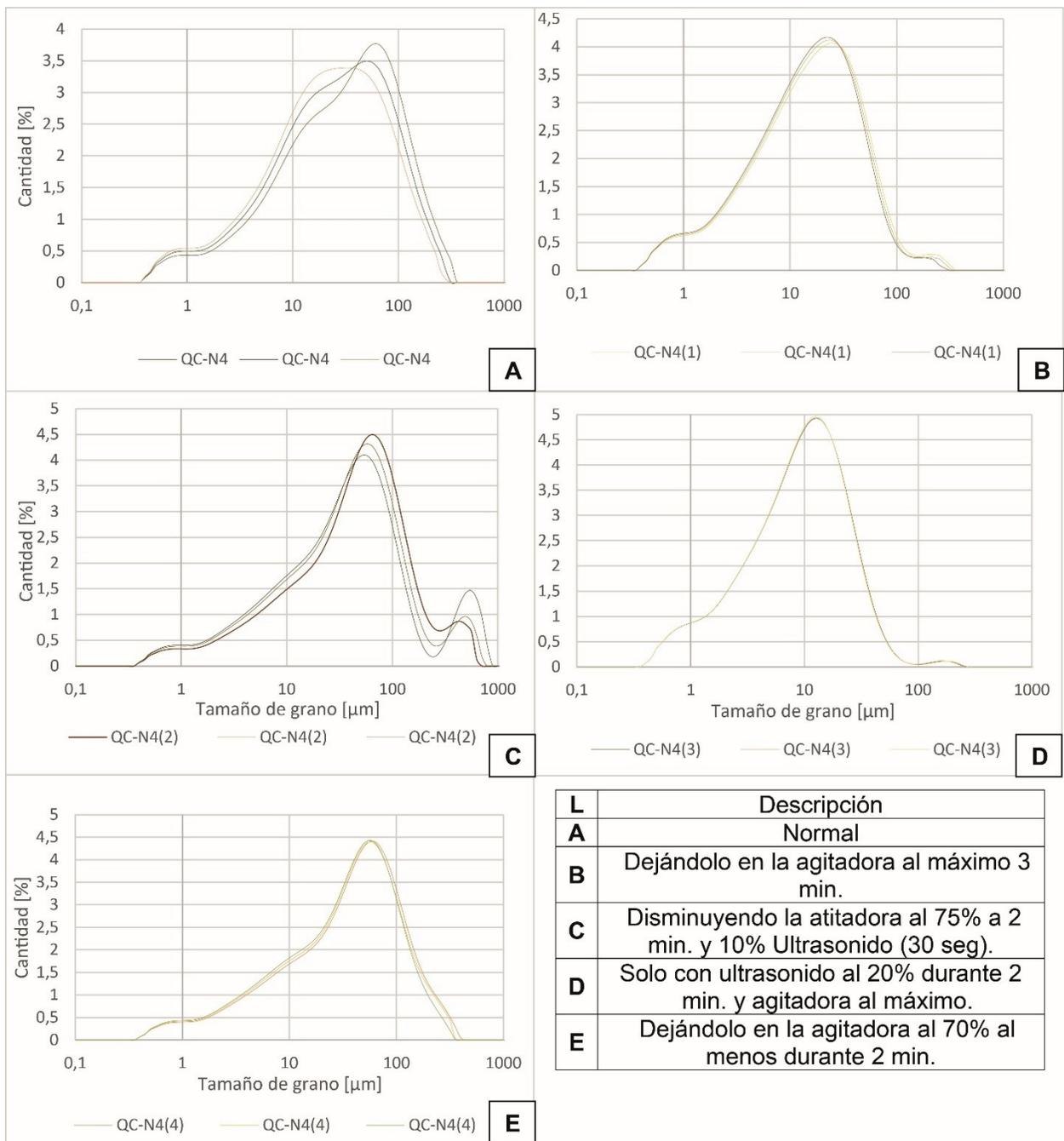


Fig. 21 Gráficos de las diferentes pruebas realizadas a una muestra para comprobar opciones de cómo se deben realizar el análisis granulométrico.

4.4. Análisis Geoquímico

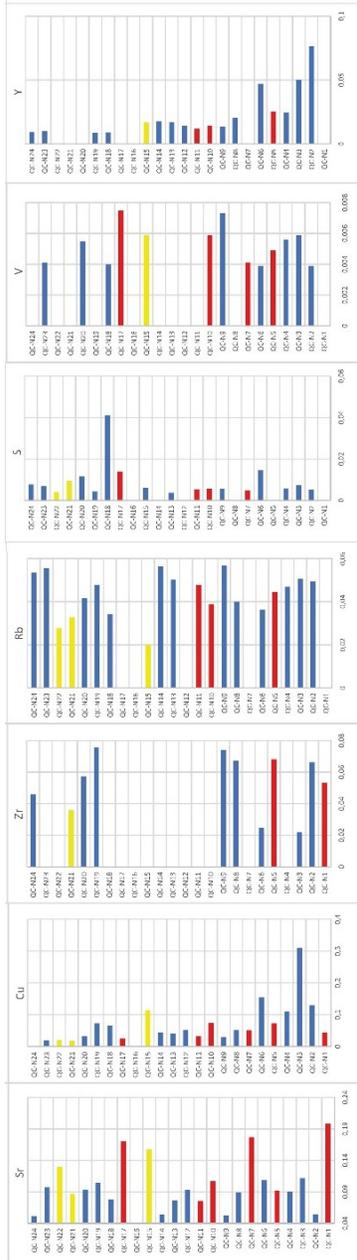
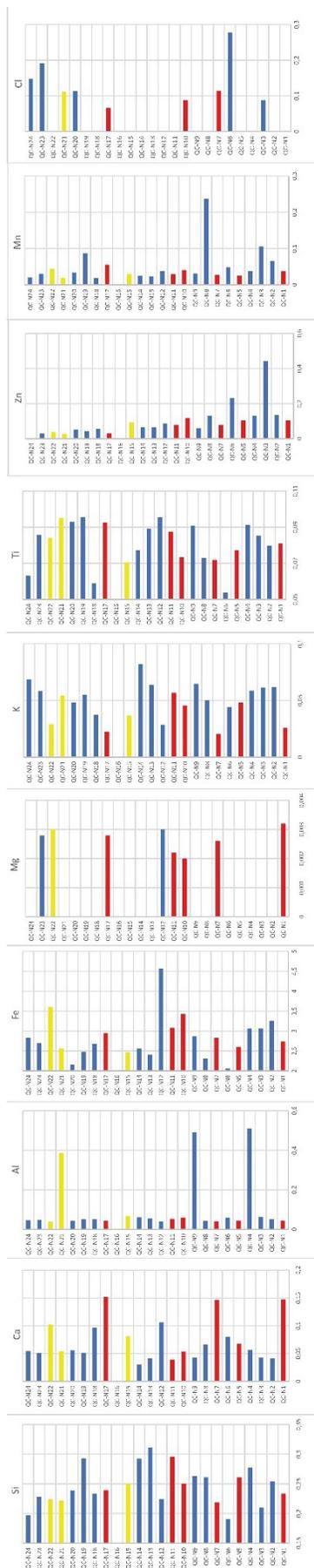
En la figura 22 se puede observar la variación de los diferentes elementos con respecto a las diferentes capas de las columnas descritas. Para estos gráficos se ocuparon los datos obtenidos por las pruebas de Fluorescencia en Rayos Equis en las unidades de [cps] que corresponden a 'counts per seconds'.

En la figura 22 se puede observar la variación de los elementos tanto mayores como menores con respecto a cada una de las capas de base a techo. Cabe destacar que para este estudio solo se han realizado geoquímica por capas y por ende no se ha considerado con respecto al espesor de estas capas.

De la figura se pueden destacar ciertas anomalías o valores que sobre salen del resto de las muestras. En el caso de sílice, se pueden ver valores muy similares en la mayoría de las muestras, existen unos valores mal altos y más bajos, pero visiblemente ningún patrón a seguir. A diferencia con el caso del Calcio, donde hay 3 muestras que corresponden a unidades de grano más grueso (QC-N1, QC-N7 Y QC-N17). Hay valores que sobresalen en otro tipo de unidades, pero no son tan significativas. En el caso del Aluminio hay 3 capas que destacan por sobre las demás (QC-N4, QC-N9 y QC-N21). Estas capas la relación que tienen es en parte la granulometría y el probable origen lacustre. Con respecto al Hierro hay solo una capa que sobresale de entre todos y es la QC-N12, es de grano muy fino. Aún existen otras que sobresalen, pero de diferentes unidades. Del magnesio solo hay que destacar que aparecen en la mayoría de las capas identificadas como de grano grueso. En el caso del Potasio y el Titanio solo decir que por lo regular es bastante estable en la mayoría de las capas.

De los elementos menores hay que destacar el Zinc y el Cobre, donde tienen una serie muy similar que su contenido va disminuyendo hacia la superficie, y presenta anomalías en las mismas capas (QC-N3 y QC-N6). En el Estroncio hay anomalías en la mayoría de las capas de grano grueso, donde se mantienen en un valor bastante similar. En el caso del Manganeso solo se destaca una muestra por sobre las demás, QC-N8.

Para ver el resultado completo y las tablas ver Anexo B.



...isis geoquímico de las muestras. Ordenados por elementos y trazas. Las barras rojas representan a los granos gruesos, las amarillas a las intermedias y las azules a los finos.

4.5. Dataciones

Se recolectaron 11 muestras en capas con una cantidad de carbono considerable. En la primera campaña de terreno se obtienen 6 muestras, 3 muestras al este de la columna 1 (100 [m]) y 3 muestras en la capa 24 de la columna 1 donde existían 3 capas con contenido carbonizado a los 3, 16 y 27 [cm] de la base de esa capa, respectivamente. En la segunda campaña de terreno se obtienen 5 muestras, 3 en la columna 2 y 2 en la columna 3. De estas muestras todavía no se obtienen resultados.

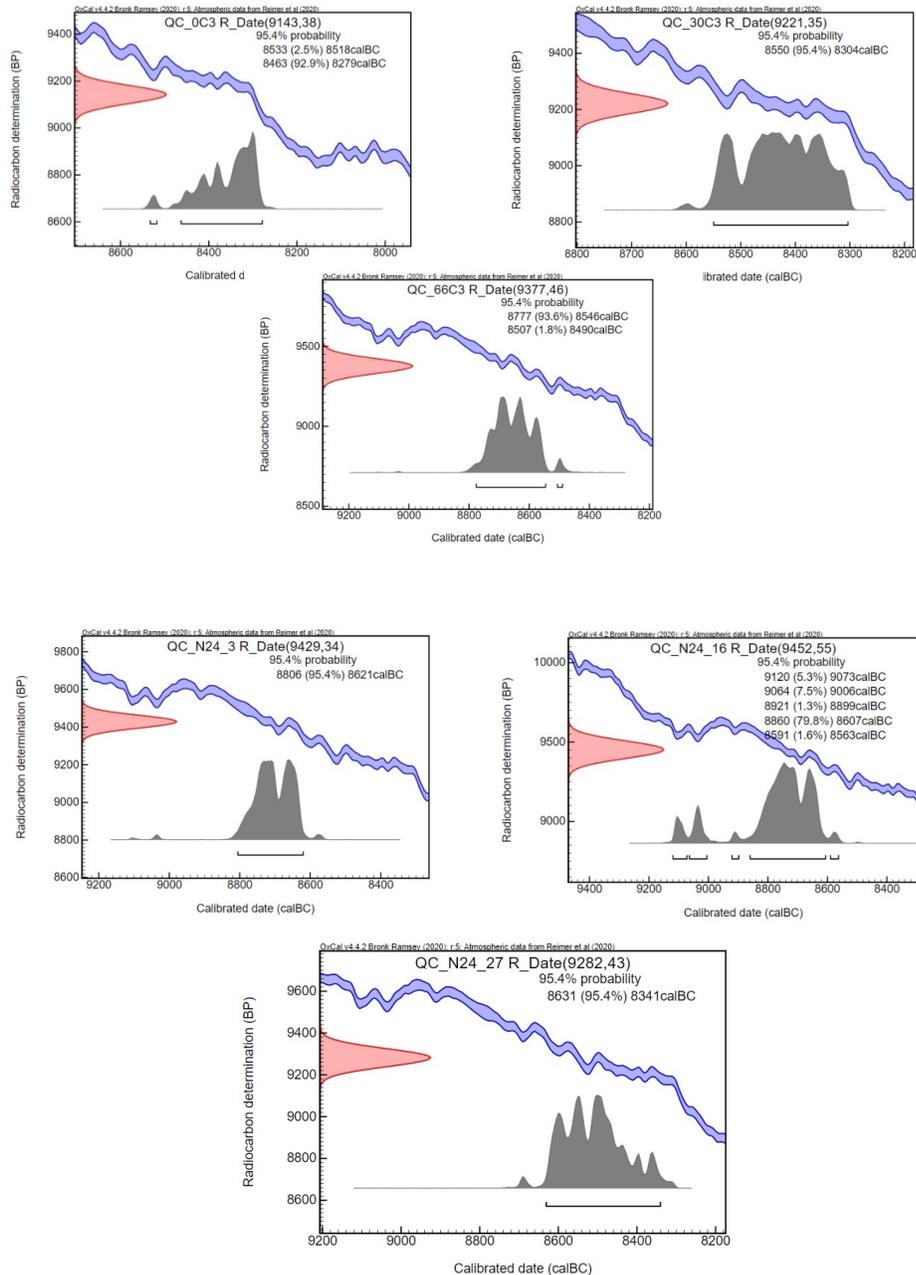


Fig. 23: Resultados obtenidos desde el programa OxCal v4.4. Mostrando las calibraciones para cada muestra.

En las figuras 23 se puede ver el resultado real de las calibraciones obtenidas por el programa para cada una de las muestras.

En la Tabla N°1 que se muestra a continuación se puede observar, el resultado dado obtenido y luego un resumen de la calibración realizada con la curva SHCal20.

Tabla N°1: Resultados de las calibraciones.

Muestra	Edad Datada [años]	Error	Calibración	
			Edad Máxima [años BP]	Edad Mínima [años BP]
QC_0C3	9143	38	8463	8279
QC_30C3	9221	35	8550	8304
QC_66C3	9377	46	8777	8546
QC_N24_3	9429	34	8806	8621
QC_N24_16	9452	55	8860	8607
QC_N24_27	9282	43	8631	8341

A modo de resumen se puede establecer un rango de edad claro para la deposición de los sedimentos en la capa identificada como QC-N24 de entre los 8800 y los 8300 años BP.

4.6. Mapa de Peligro Geológico

En consideración a lo presentado anteriormente cabe destacar que uno de los objetivos de este trabajo es identificar diferentes eventos de tipo aluvionales en los valles del Rio Elqui y Rio Aconcagua. Cercano a la zona de estudio se pueden observar diferentes quebradas con diversas características que favorecen la formación de depósitos y eventos de remoción en masa. Estos eventos en las partes más bajas del valle han provocado inundaciones, daños a bien inmuebles, plantaciones, etc. En las partes más altas del valle, al estar encajonado, estos pueden provocar cortes de camino (2015 y 2017) y en los casos más graves que rio quede represado (2015). ¿Y por qué es importante este hecho? El centro de la quebrada está ubicada a 700 metros del poblado más cercano, la ruta principal R-41 corresponde a la que une Chile con Argentina a la altura de la Región de Coquimbo y además conecta con uno de los distritos mineros más cercanos como es El Indio.

En estos últimos 10 años a la fecha se ha provocado en el valle varios eventos de tipo de remoción en masa provocados por intensas lluvias en la zona. Estos son los aluviones de 2015 y 2017, de los cuales la información que se tiene esta emanada por el SERNAGEOMIN a través de informes.

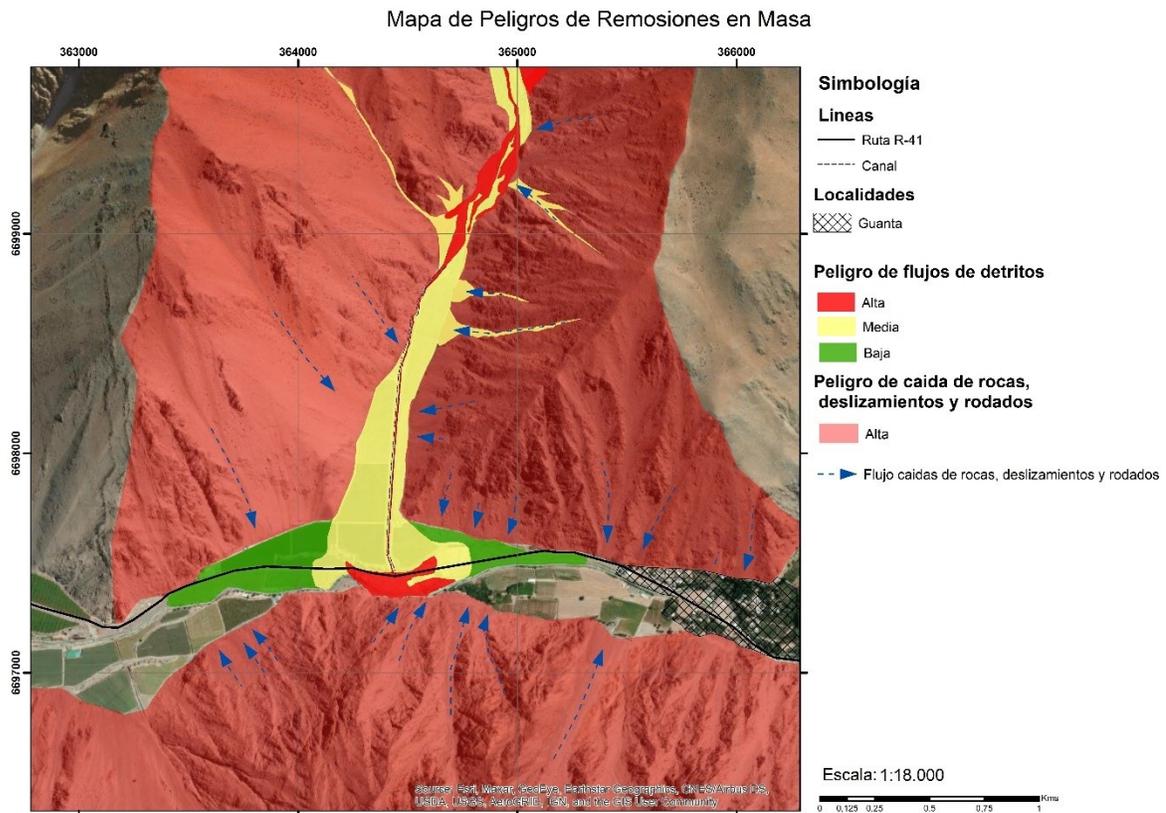


Fig. 24 Mapa de Peligros Geológicos

Para el 2015, el SERNAGEOMIN describe este evento de remoción en masa como potente flujo de detritos que obstruye totalmente la carretera, incluso provocando un efecto “dique” El flujo se presenta relativamente compacto, especialmente en los bordes. La remoción alcanza un ancho de unos 150 [m] y un espesor de 10 [m] aproximadamente. Posteriormente se entregan datos meteorológicos importantes como un cambio de la isoterma de 0° y una precipitación acumulada para los días de este evento de 45 [mm]. (Tabla 2) (Opazo & Velásquez, 2015)

Estación	Institución	Este	Norte	Altitud (m.s.n.m.)	Precipitaciones Marzo 2015 (mm)			
					24	25	26	Acumulada
Vicuña	CEAZA	336418	6675758	634	17,6	20,2	2,2	40
Río Elqui Algarrobal	DGA	346938	6680100	793	32,6	34,2	0	66,8
Rivadavia	CEAZA	351511	6684451	900	13,2	21,3	0	34,5
Llanos de Huanta	CEAZA	370167	6700126	1975	28,7	16,3	0	45
Pisco Elqui	CEAZA	357099	6667355	1212	22,2	21,8	0	44

Tabla 2. Tabla resumen de precipitaciones para las estaciones meteorológicas disponibles.

Para el 2017, el SERNAGEOMIN describe este evento como un flujo de detritos de grandes dimensiones que habría cortado la ruta 41CH. El depósito en el sector del camino presenta un espesor de 1,2 m pudiendo alcanzar más de 3 m en el centro del abanico generado. El material se caracteriza por clastos de hasta 30-40 cm insertos en una matriz de arena gruesa. (Opazo & Velásquez, 2015)

Mediante la utilización de software ArcGis se realiza la observación y zonificación de los diferentes peligros asociados a la zona de estudio (Fig. 24). En este sentido es un estudio cualitativo de la zona, mediante la rúbrica presentada en la Tabla 1.

Para el caso de peligro de flujos de detritos se zonificó en base a la geomorfología que muestra la imagen satelital más la información obtenida de los últimos 2 eventos aluvionales en la zona. Cabe destacar que el abanico esta canalizado, probablemente para favorecer el riego de la vegetación en el lugar.

Este hecho acota la zona de peligrosidad alta desde la parte media hasta la parte más distal del abanico. También se reconocen flujos de detritos en la parte media y apical del abanico asociados a eventos más recientes como los de 2015 y 2017, y algunos aún más antiguos. Con la ayuda de Google Earth se puede observar estas variaciones. En la zona de peligrosidad media se pensó en toda la llanura del abanico que podría verse afectada por un evento de mayor envergadura adicionalmente los aportes de las quebradas adyacentes. En la parte más distal, por la morfología propia del valle se piensa que el abanico tiende a desplazar los depósitos hacia los costados, buscando una salida. Y la zona de Peligrosidad baja sería la parte más distal de este debido a que son los depósitos más lejanos y se observan los más antiguos.

Para el caso de caídas de rocas, deslizamientos y rodados, se ocupó un mapa de pendientes (Fig. 25) elaborado en el mismo programa, ArcGIS mediante el uso de una imagen DEM (modelo de elevación digital) de tipo SRTM que tiene una resolución de 30 [m] (USGS). Este mapa arroja que casi la totalidad de las laderas que conforman esa quebrada y el valle son sobre los 25° y gran parte sobre los 35° de pendiente. Adicionalmente con el viento, que es bastante fuerte en ocasiones por la zona puede generar mayor desprendimiento de las rocas. También mediante observaciones de terreno, a lo lejos se ve que en la mayoría de los afloramientos diaclasas, por lo menos en una dirección lo cual favorece aún más la erosión de la roca. En la imagen también se indica la dirección de estos deslizamientos asociados principalmente a coluvios. Una parte de las laderas da hacia el poblado de Guanta, donde podría existir una mayor peligrosidad.

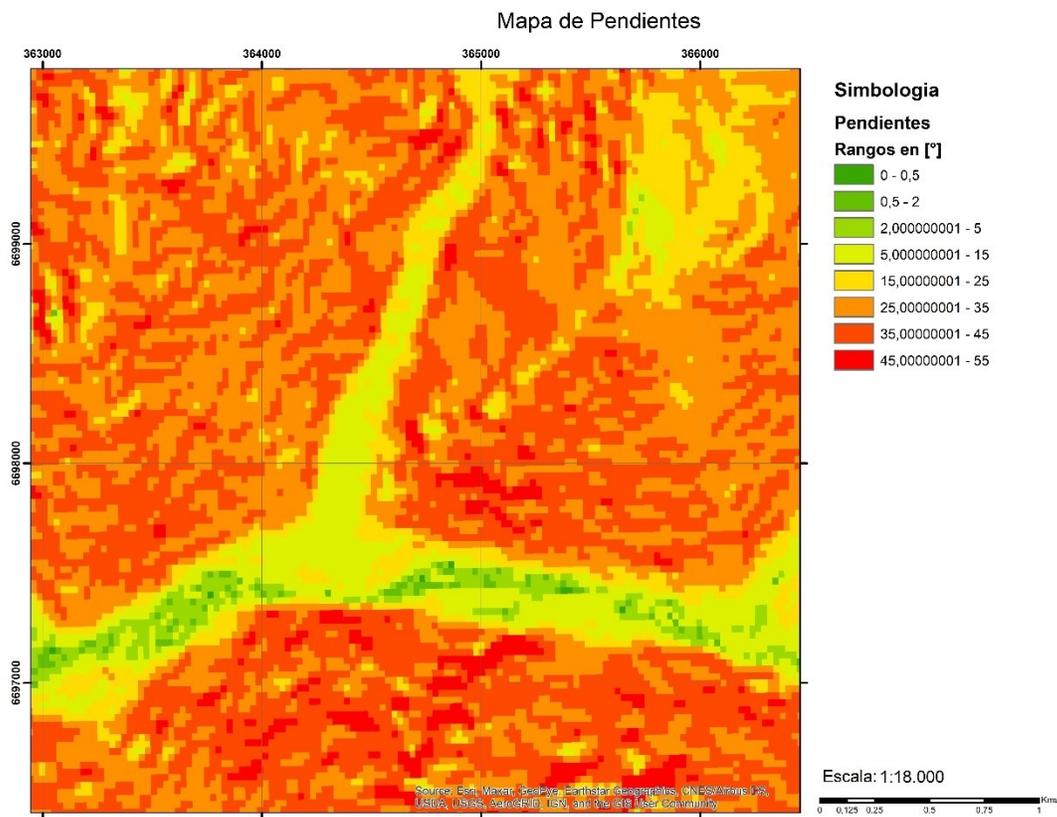


Fig. 25 Mapa de pendientes

En la tabla 2, se puede ver los criterios en específico que se ocuparon para determinar los niveles de peligrosidad para los flujos de detritos y para la caída de rocas, deslizamientos y rodados.

Tabla 3. Criterios de caracterización

Grado de Peligro	Tipo de fenómeno		
	Caídas de roca	Deslizamiento superficial/rodados y erosión	Flujos
Alto	Zonas de afloramientos rocosos fracturados, con alta pendiente (>25°) y alcance al pie de la ladera donde el terreno tiende a ser plano.	Depósito superficial con pendiente >30°, bloques sueltos en la ladera con pendiente >30°. Se considera un alcance en pendientes hasta 25°, al pie de la ladera y zonas planas inmediatamente adyacentes. En sectores aledaños a población, se considera una inclinación menor.	Zona de deposición de eventos reconocidos en imágenes y/o terreno.
Medio	Zona de alcance eventual de bloques caídos en zonas de baja pendiente (<10°).	Depósito superficial con pendiente entre 20° y 30°, bloques sueltos en la ladera con pendiente entre 20 y 30°. Se considera un alcance en pendientes hasta 15°, al pie de la ladera, zonas planas inmediatamente adyacentes, y/o bajo la zona de peligro alto.	Zona del abanico aluvial antiguo de una quebrada, que no ha sido afectada durante eventos recientes (identificados en imágenes).
Bajo	Eventual alcance de bloques, al pie de peligro medio.	Zona de alcance bajo la zona de peligro medio.	Zona de deposición de flujos en tiempos geológicos. Corresponde al abanico aluvial global de la quebrada definida con criterios geológicos y geomorfológicos.

5. Discusión

5.1. Ambientes deposicionales

Al momento de hacer un análisis general de la estratigrafía de la secuencia que muestra este abanico aluvial se pueden establecer 2 subsecuencias que están separadas por un periodo de tiempo definido por las fechas radiométricas obtenidas. Esto se puede observar en la parte más Oeste del afloramiento donde se aprecia de manera más clara las diferencias entre los estratos. En lo descrito en la columna 1A (Fig. 9 y 10) se puede ver que dominan periodos de depósitos de grano fino, es decir de facies limos y algunas arenas de grano fino. Estos están intercalados por estratos poco potentes de grano grueso, de facies arena a gravas, que se van acuñando hacia el este. Dadas las características descritas en cada una de las columnas es posible diferenciar al menos dos facies sedimentarias. Por una parte, el sedimento más fino se puede asociar a facies lacustres más finas debido al tipo de estratificación horizontal que presenta en algunos casos ondulaciones. Lo mismo pasa con algunas capas de arenas mas finas ya que estas están por sobre estos sedimentos mas finos. Esto se complementa con que el material disponible en ese momento probablemente sea mas fino. Y por otro lado se puede hablar de que el sedimento más grueso este asociado a facies de tipo aluvial ya que presenta una estructura caótica, con clastos muy grandes. En algunos casos presenta imbricación y una de las cosas mas importante es que se van acuñando y no presenta una estratificación marcada.

Estos periodos de depósitos de grano fino son 3 principales que poseen características similares. Esas características son: 1) la laminación horizontal, que en algunos estratos presenta algunas ondulaciones; 2) El tamaño de grano que varía entre limos y arena fina en algunos estratos; 3) y el color que varía desde base a techo desde rosados, verdes, amarillos, blancos y grises, siendo estos últimos los que predominan. En algunos estratos es posible observar nódulos de óxidos y algunos rizolitos (Fig. 19D). Los periodos de grano grueso son pequeños estratos que no superan los 40 [cm] en esta parte del abanico. Principalmente matriz soportado, de tamaño arena fina a gruesa y con clastos que pueden llegar a los 30 [cm]. En algunas de las capas es posible ver imbricación de los clastos (Fig. 13D), lo cual hacia el techo del afloramiento es difícil de identificar si existe imbricación. Llegando al último nivel de limos grises se identifican superficies con alto contenido orgánico. Esto marca un cambio en el dominio de los depósitos, donde los depósitos aluviales se hacen más presentes, de mayor potencia con variaciones laterales en espesor y granulometría, pero en su mayoría matriz soportado. La mayoría presenta clastos que varían desde los 5 [cm] hasta en algunos casos los 40-50 [cm] de diámetro. Hacia el techo las capas de grano fino se van haciendo más potentes y hacia el este del afloramiento van ganando espesor, como se ve en la Fig. 28.

De las estructuras observadas se destacan a los nódulos de óxidos y los rizolitos que esta presentes en algunas de las capas de limo y de algunas arenas más finas. Estos se hacen más abundantes hacia la parte basal de los estratos y si se puede seguir la

continuidad del estrato, aumentan hacia el este, es decir lo más distal del abanico. En estos últimos era posible ver algunos fragmentos de madera o macrorestos vegetales (Columna 3. Fig 17). Los rizolitos los definen como estructuras verticales u horizontales que presentan ramificaciones, son generados por acción de las raíces de plantas y en este caso en depósitos continentales (Ponce, 2018). Esto implica que mediante o después de la deposición de los sedimentos estuvo presente algún tipo de vegetación. Los nódulos de óxidos por su disposición y geometría, y si se le agrega en el tipo de sedimentos en donde se pueden encontrar (facies lacustres), se establece que su formación es debido a algún material, cristal o clasto que atrae a partículas o la precipitación de estas, adicionándose y formando capas. Esto pasa con algunos nódulos de Mn en sedimentos estudiados en la Formación Bahía Inglesa en la Región de Atacama (Achurra, et. al., 2003). Otras estructuras observadas y no menos importantes que ayudan a entender la secuencia son la imbricación de algunos de los clastos y laminación horizontal. La imbricación como tal entrega información sobre la dirección del fluido, que puede ser debido a un curso de agua o como en este caso se interpreta a la del flujo de detritos. En el caso de los depósitos aluviales estos son muy caóticos, pero al estar en la parte más distal el flujo podría tener otro tipo comportamiento o puede ser que se esté observando un depósito de canal. Con la laminación horizontal solo se puede decir que es una deposición más tranquila, probablemente de sedimentos en suspensión.

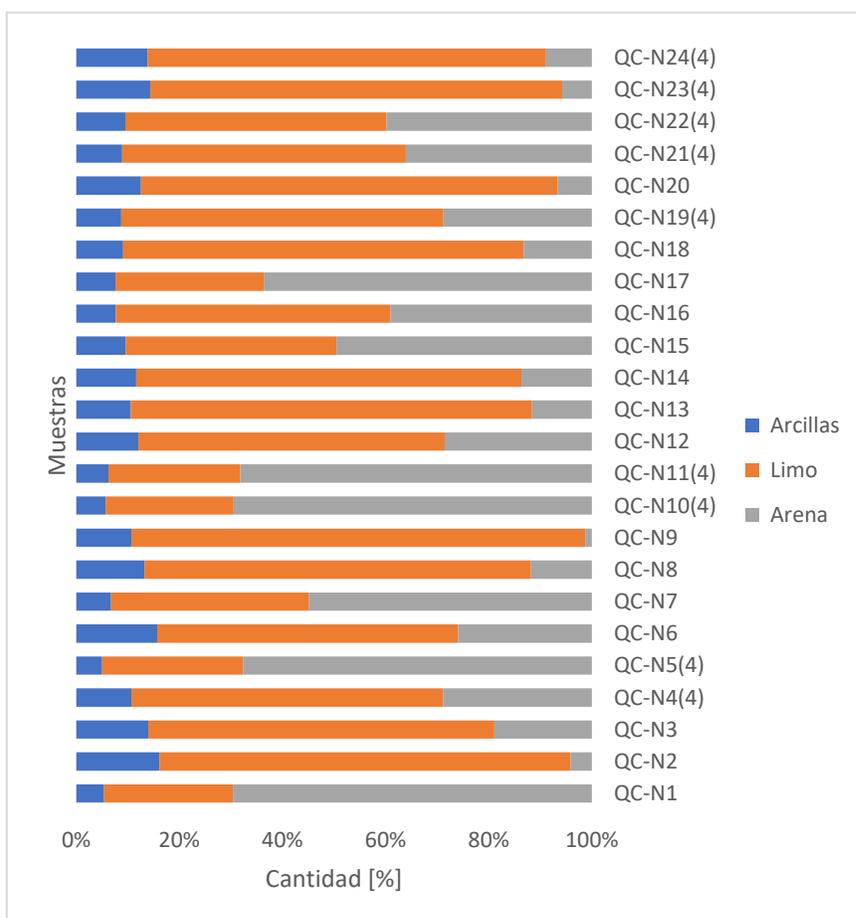


Fig. 26: Resumen de las granulometrías luego de clasificarla según Udden-Wentworth. Las barras azules representan a las arcillas, las naranjas al limo y las grises a lo más grueso.

De la granulometría de cada una de las capas más las observaciones hechas en terreno se puede tener más certeza al momento de discernir que capas son realmente de un ambiente o de otro. Claramente se pueden ver secuencias grano creciente desde muy finos a más gruesos, luego de cada estrato reconocido como aluvial (Fig. 26). Esta se puede complementar con respecto a la posición de los estratos visto en la figura 9.

Por último, cabe mencionar que existen a lo amplio del afloramiento capas que poseen un contenido importante de materia orgánica, las cuales van aumentando en cantidad y potencia hacia los lugares más distales. Por lo visto en terreno estas están justo debajo de eventos aluvionales de diversa importancia, pero también están asociadas a capas de grano muy fino. De la mayoría de estas capas se ha obtenido muestra para datar. En algunas de estas capas es posible ver restos de hojas pequeñas y algunos pedazos de carbón. Existe una capa que presumiblemente está presente en la columna 2, pero en la columna 3 es donde presenta su mayor espesor. Corresponde a un estrato compuesto casi totalmente por materia orgánica, con algunas intercalaciones de limo muy fino. También es posible observar hojas y pequeños restos de carbón. Dentro de esta capa es posible ver cristales de yeso aciculares y en forma de estrella. Esto según lo mostrado por Warren (2016) (Fig. 27) esto se da en ambientes con un alto contenido de material orgánico, rico en arcillas y una salinidad moderada. Esto se puede dar tanto en ambiente cálido como frío. Aunque los cristales observados eran aciculares y no lenticulares, no se puede establecer un ambiente seguro. Pero si se puede estar en lo cierto que se formó en ambientes evaporíticos o más bien semi-árido.

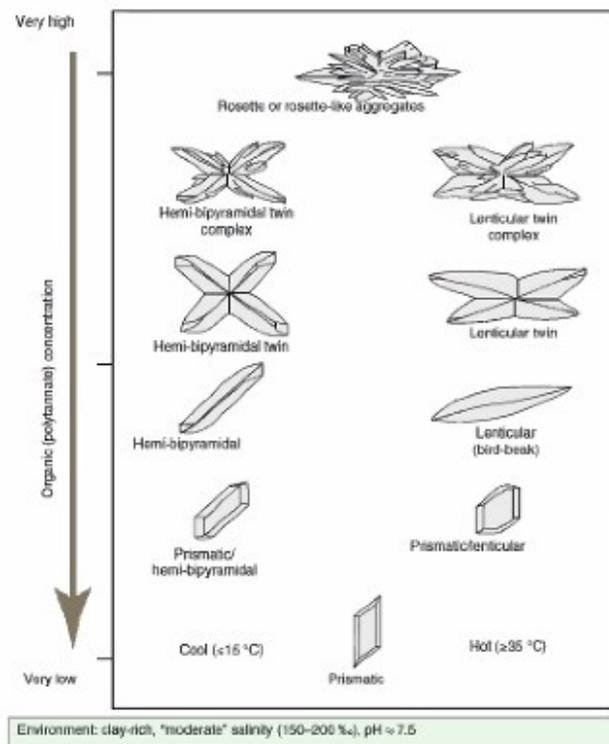
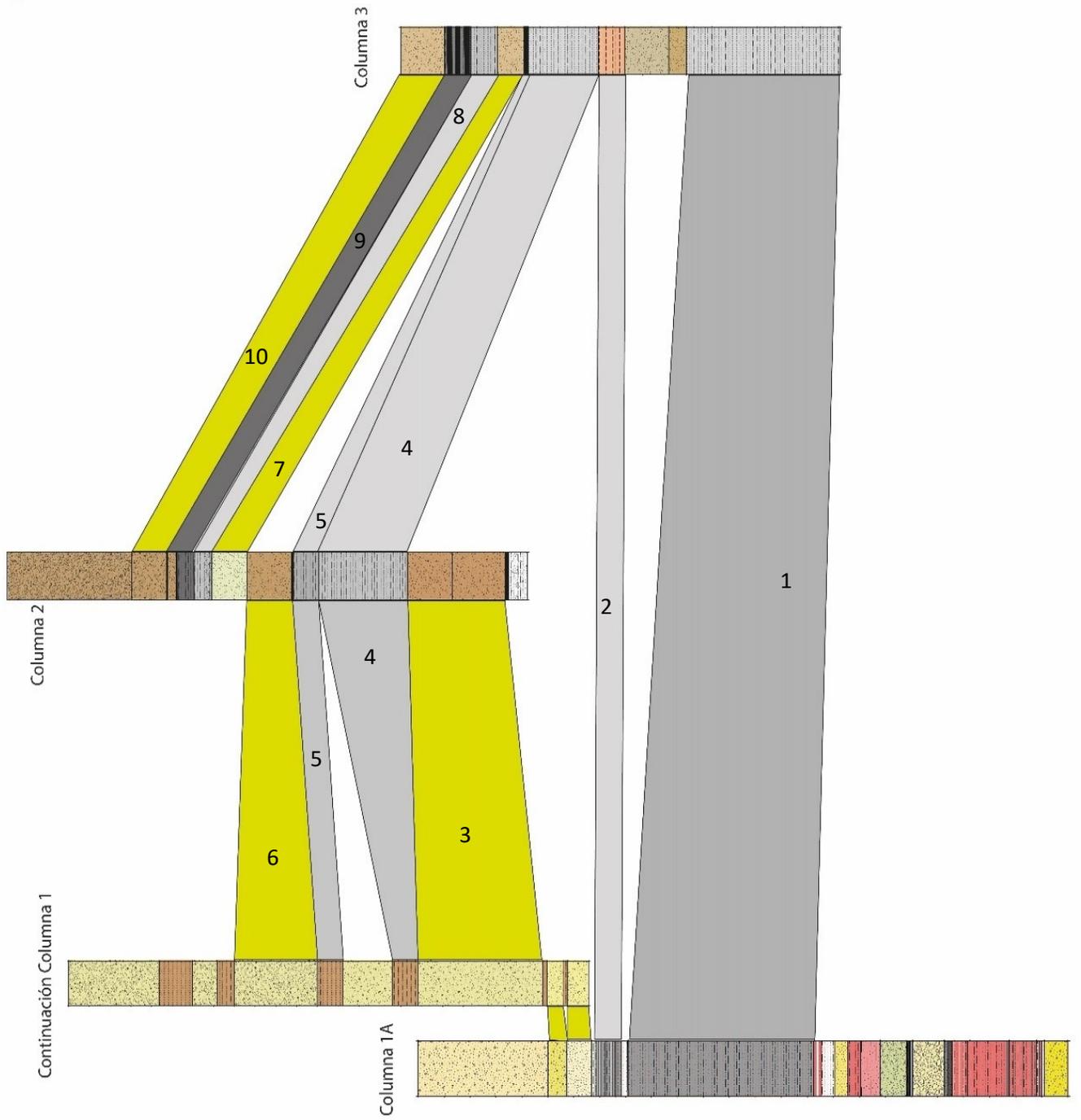


Fig. 27: Grafico extraído de Warren (2016) donde se muestra la relación del contenido orgánico y el ambiente para la generación de cristales de yeso y de su hábito.

Luego de observar las características de cada una de los estratos y unidades se puede establecer una correlación (Fig. 28) entre cada una de las columnas descritas, exceptuando por la 1B y 1C, las cuales fueron remplazadas y complementadas por la llamada Columna 1 Continuación. Esta correlación esta basada principalmente en granulometría y facies, y a su vez complementada por la existencia de alguna estructura en común. Las asociaciones de color amarillo representan los abanicos aluviales que se han podido relacionar, la mayoría de ellos se acuñan hacia el este. Se pueden ver relaciones entre la columna 1 y 2 y a su vez la columna 2 y 3. Esto significa que algunas unidades no es posible observarla en la columna 3. Las correlaciones de color gris representan a los limos y facies finas. Se observa que la mayoría de los estratos o mantienen su espesor o lo aumentan, todo lo contrario, con respecto a las facies aluviales. Hay que destacar 2 relaciones que son bastante importantes y pueden ayudar a entender un poco más los procesos que esta ocurriendo. La relación N°2 relaciona al estrato donde se obtuvieron las muestras para la columna 1 y un estrato donde se observan justamente 3 capas con material orgánico, pero de pequeñas dimensiones, manteniéndose el espesor de la capa de limo. Y la relación N°9 donde se tienen 2 capas, de facie lacustre y otra aluvial correlacionada con el estrato descrito como un estrato de limos con una alternancia de capas con alta cantidad de material orgánico de espesores hasta los 5 [cm]. Ambas nos podrían permitir acotar en tiempo los eventos deposicionales tanto aluviales como lacustres.

Otra situación que es inquietante es lo que pasa entre la relación N°1 y N°2, donde en la columna 1 hay unos estratos de arenas y limos de poca potencia, y en la columna 3 se observa que existen 2 capas de facie aluvial de mayor potencia. Visto de esa manera al ir aumentando el tamaño de grano uno podría pensar en que toda esa secuencia podría pertenecer a algo más de carácter lacustre ya que va aumentando en tamaño de grano hacia el techo. Pero la capa de mayor espesor representa a unas gravas que son matriz soportada y que la mayoría de los clastos están en la base de ella.

E



O

Fig. 28: Correlación columnas 1A, Continuation Column 1, Column 2 y Column 3

5.2. Geoquímica

Con respecto a la geoquímica de los depósitos muestreados se puede decir que existen algunas anomalías que estas asociadas a ciertos depósitos, pero también que hay elementos que se mantienen dentro de un rango bastante similar entre sí.

Entre los elementos que se destacan, se puede hablar de la presencia de Calcio y Magnesio en algunas capas de eventos aluvionales. Esto se puede considerar que está relacionado con las rocas presentes en la quebrada que han sido clasificadas por Murillo (2017) como dioritas de anfíbola y monzogranitos de biotita. Según lo planteado por Murillo (2017) hay presencia de diques con algunos enclaves. Estas rocas muestran una geoquímica calcoalcalina, dando a entender que elementos tanto alcalinos como el calcio son abundantes. También por lo descrito por Velázquez (2017) se muestran la existencia de enclaves en el Complejo Plutónico Guanta, presente en la zona de estudio, que evidencian mediante estudios de geoquímica presentan alto contenido en MgO, CaO, TiO₂, Al₂O₃ y Fe₂O₃ (Velázquez, 2017). Considerando lo descrito para la columna 1, algunos de los clastos en las capas aluviales más nuevas y en rodados que se ven cerca de los afloramientos es posible ver estos enclaves. Estos son bastantes escasos. Siguiendo esta misma lógica, otro elemento que está presente en los enclaves es el Estroncio, según lo descrito por Velázquez, et. al (2017). Se habla que estos enclaves sirven para comprobar que ocurrieron 2 procesos que ocurriendo en distintas etapas de evolución del Complejo Plutónico Guanta. Al observar las anomalías que presenta el estroncio tiene mucho sentido que este presente en las capas donde se observen clastos, es decir en facies aluviales.

Por otro lado, el Aluminio junto con el Hierro estos presentan anomalías en algunas de las capas de grano más finos. En el caso del Aluminio no es posible encontrar una relación clara entre los estratos que presentan estas anomalías. Se buscó relacionarlas con el color, descripción, granulometría y estructuras. Lo que se sabe de estas tres capas es que están asociadas a facies lacustres. Y algo que tienen en común, es que están en un estrato por debajo de otro de facie aluvial. Por ende, esta capa tiene una influencia de transporte de detritos y de erosionarse al ocurrir un evento de este tipo, movilizándolo minerales o granos entre las capas. Es decir, puede estar contaminando al estrato. Igualmente hay que considerar que una de estas capas, QC-N9, es la que tiene la mayor cantidad de limos.

En el caso de Hierro, al ser solo en una capa donde se observa esta alteración probablemente donde tenga una mayor oxidación o presencia de minerales con un contenido de Fe mayor. Igualmente es una capa de unos 2 o 3 [cm]. Además, esa misma capa es la que tiene un mayor contenido de Magnesio. Lo con conculda que debe de tener la presencia de algún mineral ferromagnesiano.

El último alcance se podría dar entre la disminución de Cobre y Zinc desde las capas más antiguas a las más jóvenes. Río arriba las rocas tienen un mayor contenido de estos minerales, y por ende puede transportar sedimentos o minerales que contengan un mayor contenido y depositar justamente en cercano a este abanico aluvial. Considerando que también los que tienen menor contenido de estos elementos sean juntamente los depósitos más gruesos, se tiende a pensar que los sedimentos finos están también influenciados por el río, perdiendo esa influencia con el pasar de los años. Esto tiene sentido ya que el nivel actual del río está por debajo de estos depósitos. También lo podemos complementar con lo descrito en Miralles (2013) donde establece que las concentraciones de elementos como S, Cu, Mo, As, Sb, Hg y Tl se asocian al distrito El Indio Tambo.

Con respecto a los demás elementos, es decir, Si, K, Ti, Rb y V no se ve un cambio o un patrón que permita definir o dar una posible proveniencia de los depósitos, ya que son muy similares entre sí y muchas veces hay capas donde disminuyen en cantidad.

Según Miralles (2013), este sector se caracteriza por presentar, en general, concentraciones sobre la media de: Stotal, Al₂O₃, P₂O₅, Co, Cs, Sr, Mo, Cu, Zn, Ni, As, Sb, Bi, Hg y Tl. Además, presenta concentraciones por debajo de la media de: Cttotal, CaO, Na₂O, K₂O, MnO, Cr₂O₃, Ba, Be, Hf, Nb, Sn, Ta, Zr, LREE, HREE y Ag.

También establece proveniencias para los distintos elementos estableciendo que las concentraciones de elementos como S, Cu, Mo, As, Sb, Hg y Tl se asocian al distrito El Indio Tambo. Además, que los elementos que presentan bajas concentraciones en este sector se asocian a minerales formadores de roca, que podrían asociarse a las rocas encajantes. Esto va en la misma línea de lo descrito previamente.

5.3. Potencial de peligro Geológico

En base al análisis de la geomorfología mediante imágenes satelitales y con el apoyo de los informes sobre los hechos recientes de eventos aluvionales se establecen las diversas zonas de peligro (Fig. 24). Cabe destacar que existe una canalización, probablemente para uso de riego de plantaciones, que ayuda a que estos eventos no generen un mayor peligro en la extensión a lo ancho que tiene el abanico. Esto también puede aportar a que el material acumulado y aportado por las laderas sea menor en la parte media del abanico. Pero también, se ve en las imágenes satelitales del sector que, en la parte apical, existe una especie de valle donde actualmente se están acumulando sedimentos. Por ende, si existe un evento meteorológico importante esto puede generar un peligro mayor.

Los últimos 2 eventos, 2015 y 2017 (Fig. 31), han generado depósitos desde la parte central del abanico. Los depósitos del 2015 cortaron tanto la carretera como el río, generando una pequeña presa obstruyendo su paso. De hecho, generó un depósito de 150 [m] de ancho y unos 10 [m] de altura (Fig. 29 y 31). (Opazo & Velásquez, 2015) Esto

generó una especie de lago (Fig. 29), que luego del evento fue canalizada y ocupada para riego de las diversas plantaciones. Aunque se mencionó anteriormente cabe destacar que, por lo estrecho del valle en esta zona, la morfología que toman estos depósitos es de desplazarse hacia los costados, independientemente de que el mapeo muestre depósitos que están limitados.



Fig. 29: Imágenes obtenidas de los informes del SERNAGEOMIN sobre los eventos ocurridos en 2015. A la izquierda se puede ver alcance del deposito y a ala derecha el lago formado por el evento.

Esto se puede observar estratigrafía de los depósitos más antiguos y los depósitos mas nuevos mediante un mapeo realizado por el SERNAGEOMIN (Fig. 30). Aquí se pueden hacer varios análisis de la misma situación. Primero que en los eventos aluvionales más



Fig. 30: Imágenes obtenidas de los informes del SERNAGEOMIN sobre los eventos ocurridos en 2015. Mapeo de zona afectada y zonas de evacuación ante un peligro mayor.

antiguos que se han producido y que están en estudio han abarcado más área en el valle que los eventos más nuevos. También que el material transportado es mayor ya que al no existir una canalización clara, el flujo sigue su curso a lo largo y ancho del abanico. Esto también lo indica el espesor que tiene los depósitos descritos en las diferentes columnas. De los eventos mas antiguos tampoco se puede hacer una estimación de la precipitación que cayo en ese momento. Si vemos el caso del aluvión del 2015 donde se represó el rio el depósito alcanzó bastante altura y un ancho no menor, pero si este evento hubiera tenido todo el ancho del valle quizás no hubiera llegado hasta el río. Entonces con esto en mente y al ver los depósitos más antiguos podría decirse que hace bastantes años atrás los eventos aluvionales era de mayor peligro y por la morfología que tiene esta zona podría llegar a pensar que un posible evento mayor podría haber generado una presa en el rio y un lago de mayor importancia.

También se analiza otro tipo peligro asociado a las laderas de esta quebrada y los sectores aledaños, donde estas pueden alcanzar en algunos casos los 45° de pendiente. (Fig. 25) Sumado a que las observaciones hechas en terreno muestran estructuras como diaclasas en una roca que es bastante competente ante esfuerzos, granodioritas y granitos, se puede decir que el peligro es alto y que genera depósitos que aportan a la quebrada. También estos en la parte Este del abanico tienen contacto con la localidad de Guanta. Por ende, uno de los mayores peligros que pueden generar es afectar a la localidad con una caída importante de rocas si es que no se tiene los resguardos. A su vez estas laderas son las que alimentan de sedimentos a las quebradas, pero como en la parte mas baja del abanico existe vegetación, niega ese aporte. Quebrada arriba es distinto ya que estos deslizamientos se podrían dar con una mayor recurrencia y alimentan a los sedimentos de las quebradas.

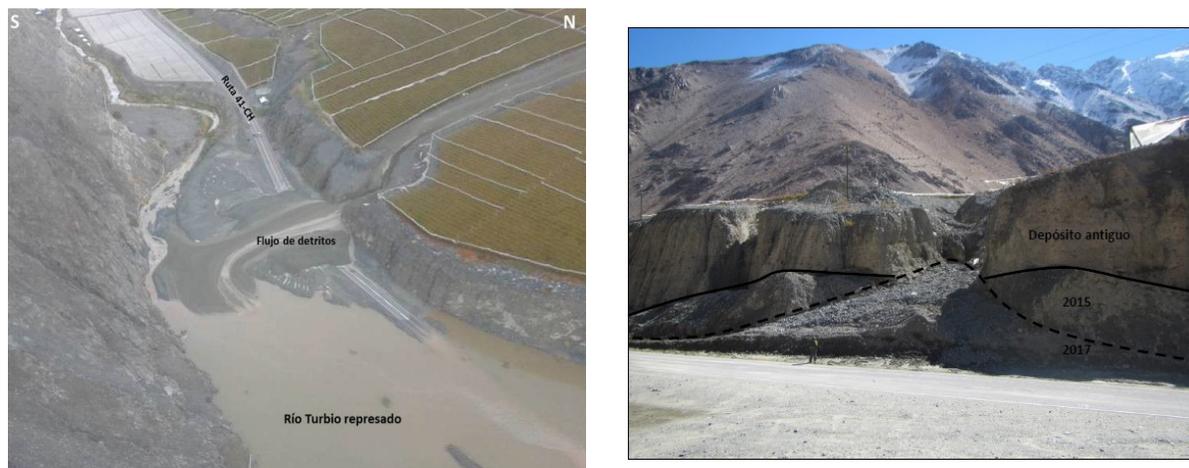


Fig. 31: Imágenes obtenidas de los informes del SERNAGEOMIN sobre los eventos ocurridos en 2015 y 2017, izquierda y derecha respectivamente.

5.4. Edades

De los resultados obtenidos luego de la calibración se puede hablar las edades están dentro del periodo del Holoceno y que al compararla con edades obtenidos con métodos similares como se ve en por Riquelme et. al. (2011) son similares. En ese estudio se sacan muestras y dataciones sobre depósitos de carácter similar que dan edades entre los 6000 y 11000 años. Esto está apoyado en lo estudiado, de donde se extrae la figura. En la zona de estudio se observan 8 mediciones en depósitos tanto de carácter aluvial como de grano fino, que se muestra en la figura 32.

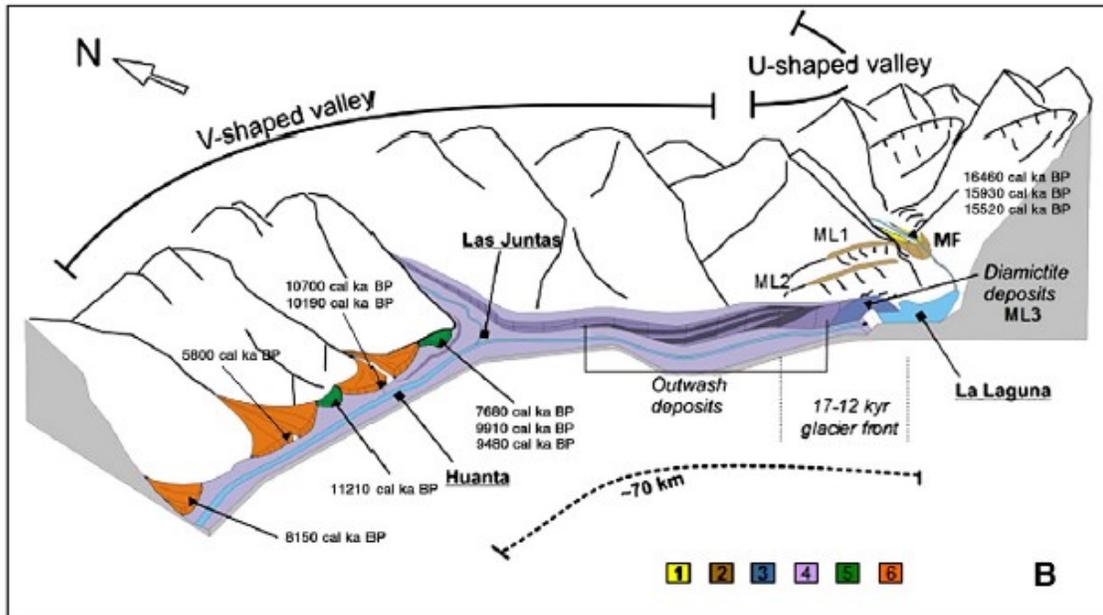


Fig. 32: Extraído de Riquelme et. al. (2017) , Infografía relacionada con la ubicación relativa de las muestras y sus respectivas edades, a través de la geomorfología. 1- Depósitos de morrena del Glaciar el Tapado. 2- Depósitos de morrena laterales. 3- Depósitos Diamictíticos. 4- Depósitos de lavado y gravas. 5- Depósitos finos. 6- Depósitos de detritos.

6. Conclusión

A modo de resumen se puede concluir que se pueden reconocer fácilmente dos facies sedimentarias. La primera corresponde a los estratos de grano fino, es decir, arcillas, limos y arenas muy finas. La segunda corresponde a los estratos de grano mas grueso, es decir arenas medias a muy gruesas y gravas. Ambas están asociadas a ambientes de deposición lacustre y aluvial, respectivamente debido a la evidencia clara de cada uno de los ambientes.

En la secuencia que se observa, la primera parte los eventos aluvionales son menos intensos y frecuentes, y probablemente el lugar donde están estos depósitos sea la parte más distal de éste. La segunda parte los depósitos aluviales son más frecuentes y de mayor potencia, pero hacia la columna 3 estos van acuñándose y los depósitos lacustres aumentan en espesor. Además, la forma que tiene valle del río Turbio, encajonado, ayudaría a generar que estos depósitos de origen aluvial produzcan en principio un represamiento del río, como lo observado en 2015, y los depósitos aluviales se dispersen hacia los costados por falta de espacio. Los depósitos finos se presentan en su mayoría laminados horizontalmente y en algunos sectores ondulados, son de tamaño limo y en algunos casos arenas muy finas. Presentan rizolitos y nódulos de óxidos, que aumentan a medida que los depósitos se hacen más distales. Esto evidencia vegetación y los nódulos la proveniencia de algunos de esos depósitos. Esto último podría estar asociado a clastos sincrónicos con la disposición de los finos, como lo vemos en algunos estratos en la columna 3 (Fig. 17 y 19E). Se observan niveles de materia orgánico bajo depósitos aluviales, donde estos van aumentando en frecuencia y espesor hacia el techo de los afloramientos y hacia el este. Esto se explicaría al probable enteramiento de vegetación por el evento. Y por último el hallazgo de yeso dentro del materia orgánica denota un ambiente semiárido o evaporítico del sector miles de años a atrás.

Con respecto a la geoquímica de las capas, se puede decir que se obtiene en parte la proveniencia de algunas de las capas, especialmente las aluviales donde un mayor aporte de las rocas del Complejo Plutónico Las Lechuzas y del Complejo Plutónico Guanta, que muestran una cantidad alta de Mg y Ca en su mineralogía y en algunos enclaves que también se observan en alguno de los clastos que contiene lo aluviales. Por lo descrito por Miralles (2013) y al observar la geoquímica que presentan las facies lacustres se puede decir que la proveniencia de la mayoría de los depósitos viene de río arriba, debido a la concentración algunos elementos como el Al, Cu, Zn, etc. En el caso de Fe se puede asociar un ambiente más oxidante, debido a que es una capa muy fina y con contacto con sedimentos aluviales. Se consideran tanto al Cu como al Zn debido a que presentan un comportamiento similar que va disminuyendo hacia la superficie de los depósitos, donde se presumen que hay una desconexión con el río ya que este transporta este tipo de elementos, como lo observado en Miralles (2013).

En caso de los peligros geológicos presentes en la zona, se establecen zonas de mayor peligrosidad en base a hecho recientes y la geomorfología mostrada en imágenes satelitales. Esta muestra que mayor peligro estaría dado si existe un evento de mayor

envergadura por mayores precipitaciones que las ocurridas en 2015, donde se llegó a represar el río. También se observa que quebrada arriba hay una cantidad de depósitos considerables que podría ser transportado por tal evento. Se establece una peligrosidad alta en las laderas de la quebrada y del valle del río Turbio debido a que presenta una pendiente en general mayor a los 25° y que pueden llegar fácilmente a los 45°, generando caídas de rocas y deslizamientos.

7. Bibliografía

- Achurra, L. (2003) Nódulos de Mn de la Formación Bahía Inglesa: geoquímica, génesis e implicancias paleoambientales. *X Congreso Geológico Chileno*. Concepción.
- Antinao, J. (2012) A reduced relevance of vegetation change for alluvial aggradation in arid zones. *Geology*. Geological Society of America. USA.
- Antinao, J. (2015) Nuevos antecedentes geocronológicos y estratigráficas en el Cuaternario del valle del Elqui, Chile. *XIV Congreso Geológico Chileno*. La Serena. 690-692.
- Alfaro, A., Garrido, N. (2017) Efectos geológicos del evento meteorológico del 11 al 13 de mayo del 2017. Region de Coquimbo. Valle del Elqui, comunas de Vicuña y Paihuano. Coquimbo; Sernageomin.
- Cepeda, J. (2008). Antecedentes generales de la cuenca del Río Elqui (Región de Coquimbo, Chile). *Los Sistemas Naturales de la Cuenca del Río Elqui, Ediciones Universidad de La Serena*. , 13-37.
- DirectAMS. (Agosto de 2020). *Process - DirectAMS*. Obtenido de <https://www.directams.com/methods>
- Fiebig-Wittmaack, M. (2008). Aspectos climáticos del valle de Elqui. *los sistemas naturales de la cuenca del río Elqui (Región de Coquimbo, Chile): Vulnerabilidad y cambio del clima*, 41-62.
- Harvey, A. M. (2005) Alluvial Fans: Geomorphology, Sedimentology, Dynamics. *Geological Society Special N° 251*. London.
- Hogg, A., Heaton, T., Hua, Q., Palmer, J., Turney, C., Southon, J., . . . Wacker, L. (2020). SHCal20 Southern Hemisphere Calibration, 0–55,000 Years cal BP. *Radiocarbon*, 62(4), 759-778. doi:10.1017/RDC.2020.59
- Miralles, C. (2013). Evaluación de los factores que controlan la Geoquímica de los sedimentos fluviales de la cuenca del Río Elqui, Región de Coquimbo, Chile. *memoria para optar al título de Geóloga*. Universidad de Chile. Santiago.
- Murillo R, I., Velásquez H, R., & Creixell T, C. (2017). Geología de las Áreas Guanta-Los Cuartitos y Paso de Vacas Heladas. *Carta Geologica de Chile, Serie Geología Básica, Sernageomin*.
- Nasi, C., Moscoso, R., & Makshev, V. (1986). Hoja Guanta Sernageomin. *Carta Geologica Chile N°67*.
- Opazo, E., & Velásquez, R. (2015). Efectos geológicos del evento meteorológico de marzo de 2015: fotointerpretación de los efectos de remociones en masa del 24 al

26 de marzo de 2015 en las comunas de Vicuña y Paihuano: áreas afectadas y zonas propuestas para evacuación y acopio. Coquimbo: Sernageomin.

- Oyarzún, J. (2011). Geoquímica del drenaje en la tres cuencas áridas de la región agrícola-minera de Coquimbo (Chile): Balance de una década de estudios, 2000-2010. *Sécheresse*, 244-52.
- Ponce, J.J. (2018) Atlas de Estructuras Sedimentarias Inorgánicas y Biogénicas. *Fundación YPF y Universidad Nacional de Río Negro*. Buenos Aires. p. 165
- Rauld, R. (2011) Anexo: Estudio fundado en Riesgos. Etapa I Diagnóstico. *Plan Regulador Intercomunal Provincia de Elqui, Región de Coquimbo*. Coquimbo. Habiterra.
- Reineck, H. E. (1975) Depositional Sedimentary Enviroments. *Springer-Verlag*. Berlin.
- Riquelme, R. (2011). Late Pleistocene-early Holocene paraglacial and fluvial sediment history in the Turbio valley, semiarid Chilean Andes. *Quaternary Reserch*. 166-175.
- Souvignet, M. (2008). Climate Change Impacts on Water Availability in the Arid Elqui Valley, North Central Chile: A preliminary Assessment. *IWRA*.
- Uresty, C. (2009). Evolución geomorfológica de la parte sur de la depresión de Domeyko (29°00' -29°40' S) durante el Neógeno. *memoria para obtener el título de Geóloga*. Universidad de Chile. Santiago.
- Velásquez, R., & Coloma, F. (2015). Enclaves máficos del Complejo Plutónico Guanta, Cordillera Frontal 29°30'- 30°S: evidencia de mezcla de magmas. *Congreso Chileno Geologico XIV*, 510-513.
- Velásquez, R., & Coloma, F. (2017). Enclaves máficos del Complejo Plutónico Guanta, Cordillera Frontal 29°30'- 30°S: evidencia de mezcla de magmas. *SERNAGEOMIN*.
- Warren, J.K. (2016). Evaporites, a geological compendium. Springer International Publishing Switzerland, 1813pp, <https://doi.org/10.1007/978-3-319-13512-0>.

8. Anexos

Anexo A. Tabla resumen de granulometría obtenida

Muestras	Total Arcillas	Total LMF	Total LF	Total LM	Total LG	Total AMF	Total AF	Total AM	Total AG
QC-N1	5,37	3,64	5,10	7,05	9,27	15,18	24,60	25,56	4,24
QC-N2	16,13	15,39	21,12	24,55	18,65	4,16	0,00	0,00	0,00
QC-N3	13,99	12,41	15,56	18,38	20,78	14,78	4,09	0,00	0,00
QC-N4(4)	10,70	8,15	11,26	16,23	24,83	20,04	7,71	1,08	0,00
QC-N5(4)	4,98	3,70	5,20	7,02	11,46	26,10	30,54	11,00	0,00
QC-N6	15,67	11,78	13,03	14,37	19,21	17,83	7,73	0,38	0,00
QC-N7	6,74	4,77	6,88	10,35	16,43	24,01	21,77	8,82	0,24
QC-N8	13,23	10,04	20,14	26,05	18,75	8,50	3,13	0,16	0,00
QC-N9	10,68	9,75	21,95	35,28	21,11	1,22	0,00	0,00	0,00
QC-N10(4)	5,66	3,83	4,28	5,35	11,42	25,62	28,38	14,54	0,92
QC-N11(4)	6,23	4,69	5,92	5,85	9,10	20,20	25,23	18,85	3,93
QC-N12	12,03	8,74	12,37	17,95	20,39	14,30	9,76	4,45	0,01
QC-N13	10,59	8,71	19,55	29,24	20,29	8,00	3,35	0,28	0,00
QC-N14	11,63	10,42	21,03	26,06	17,22	8,79	4,40	0,45	0,00
QC-N15	9,61	7,36	8,68	10,39	14,46	18,60	17,33	11,96	1,62
QC-N16	7,68	5,80	8,97	14,39	24,14	25,32	12,63	1,07	0,00
QC-N17	7,62	5,07	5,15	6,15	12,40	26,03	27,31	10,17	0,10
QC-N18	9,06	5,90	18,08	31,99	21,79	6,69	5,00	1,50	0,00
QC-N19(4)	8,73	6,28	11,36	19,51	25,34	19,26	8,36	1,16	0,00
QC-N20	12,58	9,19	20,11	30,79	20,75	4,75	1,71	0,13	0,00
QC-N21(4)	8,88	6,49	9,58	15,30	23,68	24,02	11,51	0,53	0,00
QC-N22(4)	9,54	7,37	8,90	13,02	21,33	23,78	14,46	1,58	0,00
QC-N23(4)	14,36	17,04	23,36	23,62	15,86	4,25	1,39	0,12	0,00
QC-N24(4)	13,85	13,17	21,13	25,56	17,38	5,40	2,83	0,67	0,00

Versión completa en: [Copia de MuestrasQCC1 - copia.xlsx](#)

Anexo B. Tabla resumen de geoquímica obtenida

Muestra	Si	Al	Fe	Mg	Ca	K	Ti	P	Zn	Mn	Sr
QC-N1	0,2334	0,0435	2,7407	0,0032	0,1472	0,026	0,0809	0,005	0,1033	0,0372	0,1986
QC-N2	0,2539	0,0516	3,2569	0	0,041	0,0617	0,0799	0	0,135	0,065	0,0546
QC-N3	0,2099	0,0623	3,0631	0	0,0426	0,0614	0,0852	0	0,4422	0,1054	0,1121
QC-N4	0,2769	0,51	3,0612	0	0,0566	0,0587	0,0913	0	0,1322	0,0379	0,0904
QC-N5	0,2611	0,0431	2,602	0	0,0678	0,048	0,0773	0	0,1036	0,0254	0,0921
QC-N6	0,1902	0,058	2,0628	0	0,0804	0,0443	0,0537	0	0,2315	0,048	0,1092
QC-N7	0,2185	0,0409	2,8274	0,0026	0,1462	0,0204	0,0719	0	0,0788	0,0276	0,1767
QC-N8	0,261	0,0424	2,3093	0	0,0666	0,05	0,073	0	0,131	0,238	0,0894
QC-N9	0,2634	0,491	2,8623	0	0,0426	0,0648	0,0909	0	0,0593	0,0306	0,0523
QC-N10	0,2499	0,0595	3,4284	0,002	0,0531	0,0455	0,0733	0	0,1168	0,0411	0,107
QC-N11	0,2959	0,053	3,0744	0,0022	0,0391	0,0567	0,0876	0	0,079	0,0294	0,0757
QC-N12	0,2241	0,0401	4,5659	0,003	0,1058	0,0285	0,0954	0	0,0854	0,0378	0,0934
QC-N13	0,3106	0,0552	2,4029	0	0,0418	0,0638	0,0893	0	0,0651	0,0229	0,0765
QC-N14	0,2924	0,0612	2,5611	0	0,0303	0,0821	0,0772	0	0,0665	0,0244	0,0543
QC-N15	0,2507	0,0687	2,4668	0	0,0809	0,0366	0,0706	0	0,0932	0,0294	0,1577
QC-N16											
QC-N17	0,2391	0,0431	2,9473	0,0028	0,1516	0,0226	0,0927	0	0,0313	0,0559	0,17
QC-N18	0,2337	0,0514	2,6828	0	0,0963	0,0375	0,059	0	0,0567	0,0182	0,0785
QC-N19	0,2926	0,0512	2,4743	0	0,0514	0,0552	0,0957	0	0,0419	0,0871	0,1048
QC-N20	0,2389	0,0422	2,1513	0	0,0558	0,0482	0,0929	0	0,0518	0,0341	0,0938
QC-N21	0,2214	0,387	2,5582	0	0,0542	0,0542	0,095	0	0,0271	0,0187	0,0869
QC-N22	0,2237	0,04	3,6041	0,003	0,1024	0,0289	0,084	0	0,0375	0,0434	0,1296
QC-N23	0,228	0,0486	2,6911	0,0028	0,0509	0,0584	0,0858	0	0,0286	0,0303	0,0971
QC-N24	0,1969	0,0456	2,8328	0	0,0544	0,0686	0,0632	0	0	0,02	0,0518
Muestra	Cu	Zr	Rb	S	V	Y	Cl	As	Au	Ba	Os
QC-N1	0,0441	0,0534	0	0	0	0	0	0	0	0	0
QC-N2	0,1309	0,0664	0,0494	0,0052	0,0039	0,0765	0	0	0	0	0
QC-N3	0,3104	0,022	0,0506	0,0074	0,0059	0,0501	0,0885	0	0	0	0
QC-N4	0,1111	0	0,047	0,0058	0,0056	0,0244	0	0	0	0	0
QC-N5	0,0728	0,0681	0,0444	0	0,0049	0,0253	0	0	0	0	0
QC-N6	0,1543	0,0247	0,0362	0,0146	0,0039	0,047	0,2781	0,0132	0	0	0
QC-N7	0,0511	0	0	0,0047	0,0041	0	0,1143	0	0	0	0
QC-N8	0,0518	0,0672	0,04	0	0	0,0203	0	0	0,0039	0	0
QC-N9	0,0301	0,0742	0,0567	0,0055	0,0073	0,0134	0	0	0	0	0
QC-N10	0,0747	0	0,0389	0,0057	0,0059	0,0143	0,0878	0,0105	0	0	0
QC-N11	0,0326	0	0,0477	0,0054	0	0,0118	0	0	0	0	0
QC-N12	0,0522	0	0	0	0	0,0142	0	0	0	0	0
QC-N13	0,0409	0	0,0502	0,0037	0	0,0168	0	0	0	0	0
QC-N14	0,045	0	0,0565	0	0	0,0178	0	0	0	0,0209	0
QC-N15	0,1144	0	0,02	0,0061	0,0059	0,0167	0	0	0	0	0
QC-N16											
QC-N17	0,0258	0	0	0,014	0,0075	0	0,0662	0	0	0	0
QC-N18	0,0656	0	0,0341	0,0412	0,004	0,009	0	0	0	0	0,0013
QC-N19	0,073	0,0757	0,0477	0,0042	0	0,0088	0	0	0	0	0
QC-N20	0,032	0,0574	0,0417	0,0117	0,0055	0	0,1127	0	0	0	0
QC-N21	0,0179	0,036	0,0328	0,0095	0	0	0,1109	0	0	0	0
QC-N22	0,0202	0	0,0278	0,004	0	0	0	0	0	0,0106	0
QC-N23	0,0197	0	0,0557	0,007	0,0041	0,0099	0,1917	0	0	0	0
QC-N24	0	0,0458	0,0534	0,0076	0	0,0091	0,1475	0	0	0,0197	0

Versión completa en: [Resumen de muestras.xlsx](#)