

Estudios geológicos del área Salala-Oruro (Provincia de Ovalle, IV Región) en relación al estudio de crecidas extremas holocénicas.

Juan Varela Barbagelata¹

Jorge Leal Machuca²

RESUMEN

Este trabajo da cuenta de las investigaciones geológicas-geomorfológicas realizadas a la fecha en la zona de la Junta de los ríos Limarí y Punitaqui como base para la determinación y cuantificación de crecidas extremas antiguas ocurridas durante el holoceno en la zona.

Estos estudios han permitido establecer las diferentes unidades geomorfológicas existentes en el área, representadas principalmente por terrazas agradacionales, generadas por fenómenos de crecidas. En los depósitos de estas terrazas se han levantado 19 columnas estratigráficas las cuales han sido correlacionadas entre sí, estableciéndose, con el apoyo de dataciones de C14 y análisis sedimentológicos, algunas conclusiones preliminares sobre la sucesión de eventos de crecidas desarrollados en la zona.

¹ - Profesor Asistente. Departamento de Geología y Geofísica, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Casilla 13518, Correo 21, Santiago, Chile.

² - Ayudante Investigación. Departamento de Geología y Geofísica, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Casilla 13518, Correo 21, Santiago, Chile.

INTRODUCCION

Desde el año 1989 se ha estado llevando a cabo un proyecto a cargo de investigadores de los Departamentos de Geología y Geofísica y de Ingeniería Civil de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile, el cual ha tenido como objetivo básico la determinación, en algunos valles del Norte Chico, de crecidas extremas antiguas, mediante el uso de técnicas de análisis geológicas, geomorfológicas y palinológicas. Este proyecto ha contado para su ejecución con financiamiento de FONDECYT (Proyecto 1010-89); a través de él se espera hacer un aporte significativo para mejorar la determinación de caudales de diseño de obras de evacuación importantes.

La primera fase de los estudios ha estado dedicada a establecer la existencia y factibilidad de estudio de diferentes tipos de marcas de crecida, en sectores previamente seleccionados de los valles del Norte Chico (Latitudes $29,5^{\circ}$ a $32,5^{\circ}$ S), luego de lo cual se eligió una de estas áreas para llevar a cabo los estudios específicos correspondientes a la segunda fase (Brown y Varela, 1990, 1991). Esta área resultó ser la zona de la Junta de los ríos Limarí y Punitaqui ($257,0$ - $259,5$ Km E y $6.603,0$ - 6.605 Km N en coordenadas UTM) (ver figura 1), efectuándose en ella estudios geológicos, geomorfológicos y palinológicos, especialmente enfocados a la determinación de los diferentes depósitos y marcas de crecidas, sus relaciones estratigráficas, correlaciones y posiciones espaciales, extrayéndose además varias muestras para datarlas por el método de C14. Paralelamente a este estudio geológico se han llevado a cabo los estudios hidráulicos del Proyecto los cuales se informan en este mismo Congreso (Brown et al 1991). En esta publicación se da cuenta del resultado de los estudios geológicos llevados a cabo hasta la fecha, así como un análisis de los principales problemas metodológicos que se presentaron durante su desarrollo.

MARCO GEOLOGICO

El único antecedente geológico regional existente sobre el área corresponde a la geología de la Hoja Ovalle (Thomas 1967). A este antecedente se suma la información procedente de los estudios geomorfológicos y geofísicos regionales realizados por Paskoff (1979) y Meinardus (1961) respectivamente

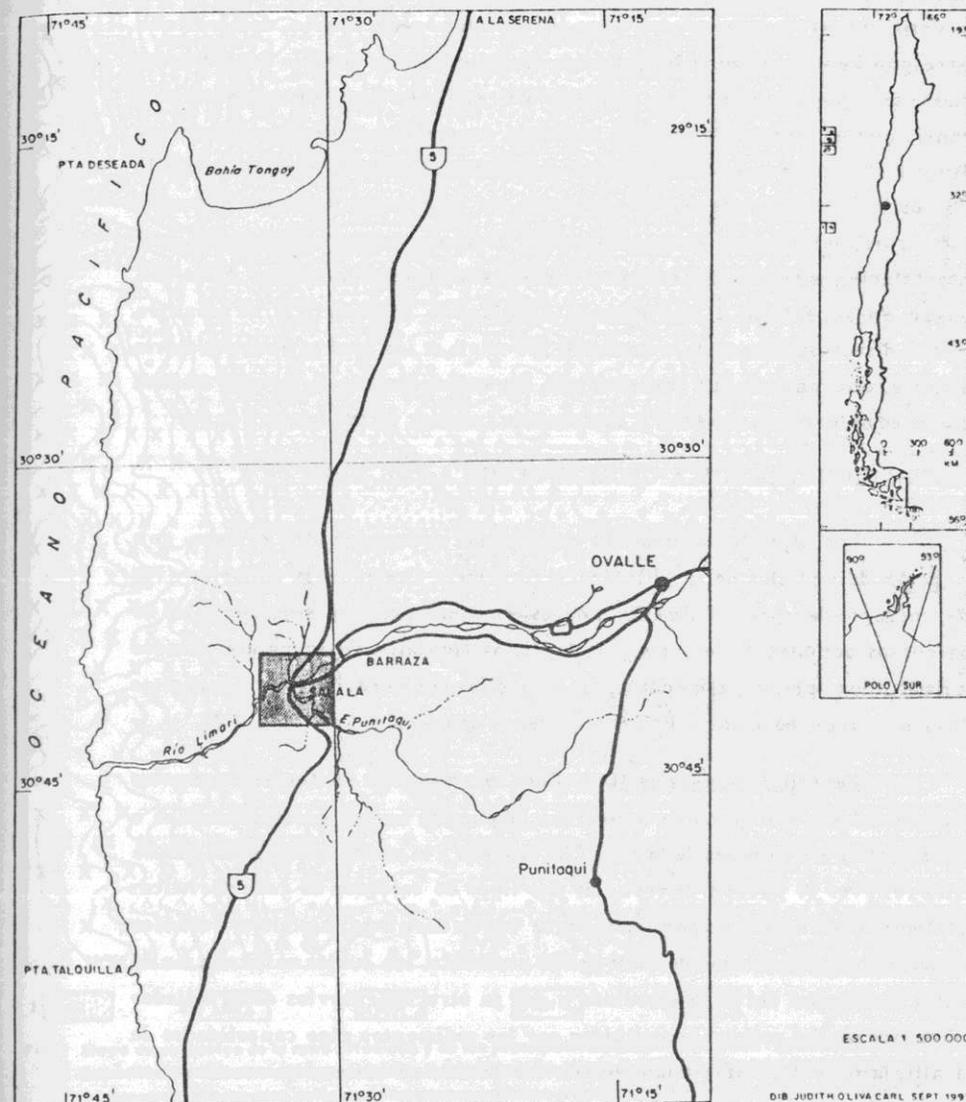


Fig. 1 Mapa de ubicación.

De acuerdo a estos antecedentes, la unidad más antigua expuesta en el área (ver figura 2), corresponde a un cuerpo intrusivo plutónico de edad jurásica compuesto por rocas graníticas a granodioríticas (Jgd) el cual se extiende al occidente del área integrando gran parte del relieve correspondiente a la zona de los Altos de Talinay-Fray Jorge. Contra estas rocas se apoya un grueso paquete de sedimentos continentales y transicionales marinos de edades terciaria superior a cuaternaria inferior (TQt iv), los cuales se extienden al oriente del área estudiada hasta al menos la zona de Ovalle. Estos depósitos presentan un espesor de unos 200 metros y están compuestos por gravas arenosas y ripios algo cementados, con intercalaciones de arenas, calizas y depósitos lagunares-lacustres. Ellos dan origen en superficie a una extensa altiplanicie o superficie de abanico aluvial disectada, dispuesta a unos 270-300 m s n. m., la cual se extiende hacia el norte, engranando sus depósitos con los sedimentos de la terraza marina alta de edad terciaria superior a cuaternaria inferior de la zona de Tongoy

DESCRIPCION GEOLOGICA-GEOMORFOLOGICA DEL AREA

Los depósitos de relleno cuaternario reconocidos en el área con excepción de aquellos de la altiplanicie Terciaria-Cuaternaria superior (TQt iv), corresponden principalmente a depósitos coluviales, depósitos fluviales de los cursos actuales de los rios y a depósitos fluviales antiguos aterrazados constituidos principalmente por depósitos de crecidas y depósitos fluvio-lacustres asociados a dichos fenómenos de crecidas (ver figura 2)

Depósitos coluviales (Qc). Estos se presentan en forma de mantos superficiales o de conos de deyección dispuestos en los sectores medios e inferiores de los relieves de la zona. De acuerdo a la constitución geológica de estos relieves se pueden diferenciar dos tipos de coluvios de características totalmente diferentes: por una parte se encuentran aquellos coluvios adosados a afloramientos de roca ignea plutónica, los cuales se sitúan en el sector occidental del área estudiada y por la otra los coluvios desarrollados sobre laderas del relieve constituidas por los sedimentos algo consolidados de la altiplanicie terciaria-cuaternaria, los cuales se extienden en el sector oriental del área estudiada.

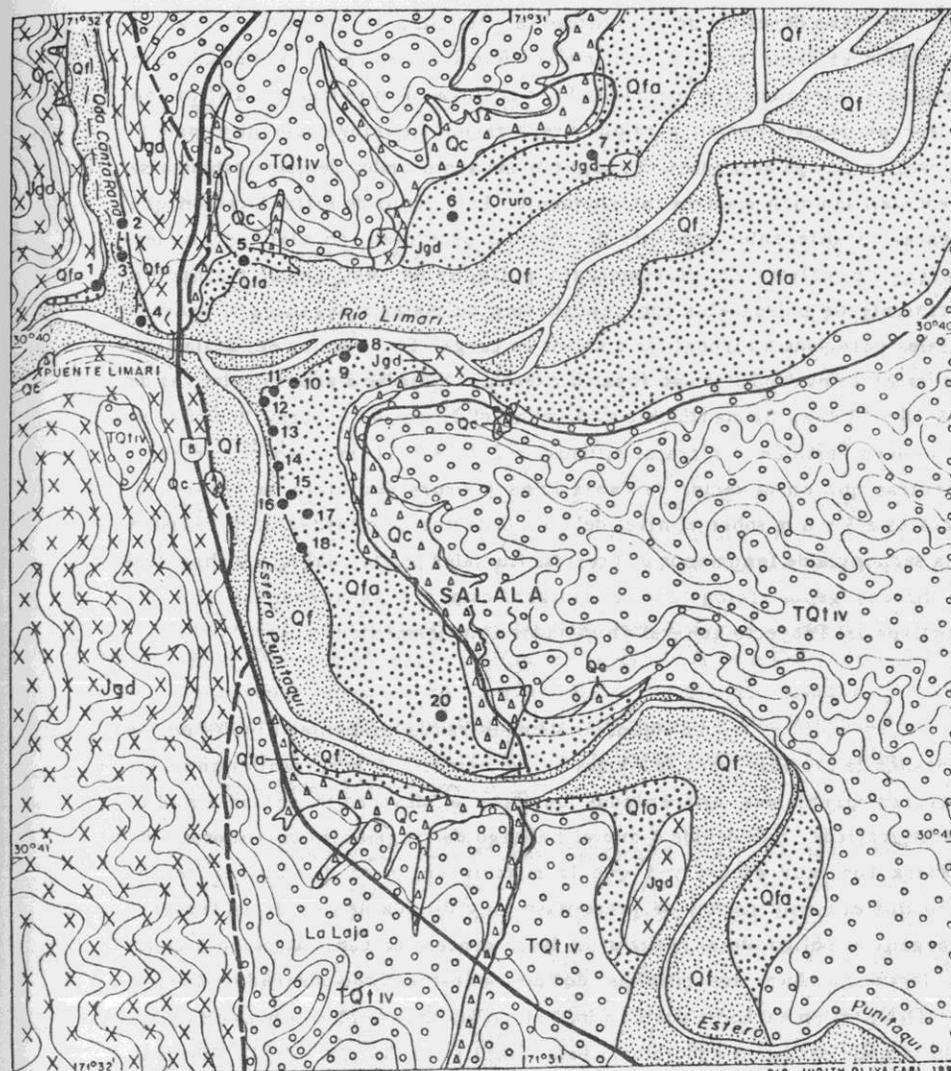


Fig. 2. Mapa de ubicación de la zona estudiada y de las principales unidades geológicas - geomorfológicas. 1. Depósitos fluviales actuales y recientes; 2. Depósitos coluviales actuales y recientes; 3. Depósitos fluviales y fluvio-lacustres aterrazados antiguos (Pleistoceno superior-Holoceno); 4. Depósitos de terraza antigua (Tiv) Terciario-Cuaternario inferior; 5. Roca fundamental intrusiva granito-granodiorita; 6. Falla, traza sin localización precisa; 7. Ubicación columnas estratigráficas.

Los depósitos de esta unidad se presentan en estratos que varían en espesores desde algunos centímetros hasta 1.5 metros y a menudo son laminados internamente, presentando estructuras de óndulas, estratificación entrecruzada, laminación paralela, brechización intraformacional y marcas de erosión de paleocanales. En algunos casos sin embargo estos estratos se presentan también masivos internamente. Los planos de estratificación que separan los diferentes depósitos de crecidas presentan, en algunos niveles, marcas de grietas de desecamiento poligonales, así como formación incipiente de paleosuelos con depositación de materia orgánica y marcas basales parecidas a turboglifos o calcos de carga. En el sector de Salala (ver figura 2), estos depósitos dan lugar a 4 terrazas situadas a alturas relativas de 6, 8, 10 y 13 m aproximadamente sobre el nivel del río; en el sector de Oruro se reconocen también 4 terrazas situadas a 2, 5, 8 y 11 m respectivamente; mientras que en el sector de Canta Rana y Oruro Carretera se reconocen terrazas a 3 y 6 m sobre el nivel del río. Cada una de estas terrazas registra una secuencia de fenómenos de crecidas fluviales por lo cual lo cual han sido analizadas geomorfológica y estratigráficamente para cumplir con los objetivos del Proyecto general enunciados anteriormente.

La obtención de muestras de diferentes niveles en los depósitos de crecidas, para fecharlas por el método C14, representó uno de los mayores problemas enfrentados durante el desarrollo de los estudios estratigráficos. Esto debido a que el hallazgo de fragmentos carbonosos o de madera fue muy escaso y a que la materia orgánica diseminada en los depósitos era muy poca y se presentaba muy diluida dentro de la fracción inorgánica, obligando a realizar un largo proceso de concentración a mano en terreno. Aun así muchas de las muestras concentradas fueron insuficientes en carbono, debido a lo cual, de un total de 25 muestras extraídas solo se pudo enviar al Laboratorio Beta Analytic Inc. 16. De estas 16 muestras, 12 fueron analizadas por el método habitual de datación de C14, mientras que las restantes 4 muestras debieron ser procesadas por el método AMS*. Otro problema que se presentó durante la fase de recolección de muestras para dataciones por C14 se debió a la frecuente contaminación por raicillas finas.

* El valor de la datación por el método AMS sube desde U\$ 225 a U\$ 535, con una demora mínima de 6 meses.

Los primeros están constituidos principalmente por maicillos con algunos clastos líticos plutónicos angulosos, englobados en una matriz constituida por suelo vegetal removido; mientras que los segundos están constituidos por clastos redondeados del tamaño grava hasta ripio con matrices correspondientes a arenas, provenientes de la remoción principalmente gravitatoria, de los depósitos terciario-cuaternarios mencionados.

El mecanismo de formación de estos depósitos coluviales es principalmente gravitacional, ayudado en mayor o en menor grado por aguas provenientes de precipitaciones, la edad estimada para estos depósitos es holocénica.

Depósitos fluviales actuales y recientes (Of) Estos depósitos están constituidos por gravas arenosas y arenas ubicadas en el cauce y en ambas márgenes del curso actual de los ríos Limarí y Punitaqui, con alturas que no superan los 2 metros por sobre dichos cursos. La superficie que cubren estos depósitos en el área estudiada se ha calculado en unos 2,6 Km² y corresponde al área en la cual estos ríos divagan en la actualidad generando sistemas anastomosados o trenzados, junto a su área de inundación durante la estación lluviosa. Los depósitos de esta unidad en el río Limarí presentan una diferencia con respecto a los del estero Punitaqui directamente relacionada con la diferencia de energía existente entre ambos cursos fluviales; los primeros tienen un mayor porcentaje de rodado, sus diámetros son superiores y su matriz es relativamente escasa, mientras que en los segundos tienden a primar las matrices arenosas con algunos sectores constituidos exclusivamente por dichas arenas.

Depósitos fluviales antiguos aterrazados (Ofa) Esta unidad está constituida por depósitos limoarenosos de grano fino con contenidos variables de arcilla, aun cuando estos son por lo general bajos. Estos depósitos dan lugar a diferentes terrazas en ambas márgenes de los ríos Limarí y Punitaqui cubriendo en total una superficie aproximada a unos 1,5 Km². El origen de estos depósitos corresponde principalmente a sedimentos formados en zonas de depositación de aguas retenidas o represadas ("slackwater sedimentation" Baker (1987), durante episodios de crecidas antiguas.

las cuales fueron imposibles de eliminar, lo que llevó finalmente a desechar dos de las dataciones realizadas por estar evidentemente rejuvenecidas.

Estos depósitos fueron muestreados además por la Dra. Carolina Villagrán junto con la alumna tesista Gabriela Silva con el objeto de llevar a cabo en ellos estudios palinológicos. Las evidencias arqueológicas encontradas asimismo en el área han sido sometidas a estudio por el Ingeniero Sr. Hans Niemeyer con el objeto de relacionar esta información con los eventos holocénicos reconocidos.

Los resultados preliminares del estudio geomorfológico, estratigráfico, sedimentológico y cronológico de los depósitos de esta unidad, se entregan en el siguiente capítulo.

ANÁLISIS ESTRATIGRÁFICO - SEDIMENTOLÓGICO

En los depósitos de crecidas que constituyen la unidad de depósitos fluviales antiguos aterrazados (Qfa) se levantaron 19 columnas estratigráficas situadas en cortes naturales de dichas terrazas o en cortes artificiales y calicatas excavadas especialmente para dicho objeto. Estas columnas se numeraron correlativamente y su ubicación se señala en la Figura 2. Ellas fueron medidas a huincha y estacadas en terreno, traspasándose esta información al mapa topográfico detallado a escala 1:1 000 que se levantó en la zona. De estas columnas; 4 fueron levantadas en el sector del estero Canta Rana (columnas 1 a 4); 1 en el sector de Oruro Carretera (columna 6); 2 en el sector Oruro (columnas 6 y 7) y 12 en el sector de Salala (columnas 8 a 19 y columna 20).

De los estratos que integran las columnas se extrajeron un total de 500 muestras de las cuales algunas representan una capa en todo su espesor, mientras que en otros casos se procedió a sacar más de una muestra de la capa con el objeto de registrar las variaciones tanto discretas como gradacionales que éstas presentaban.

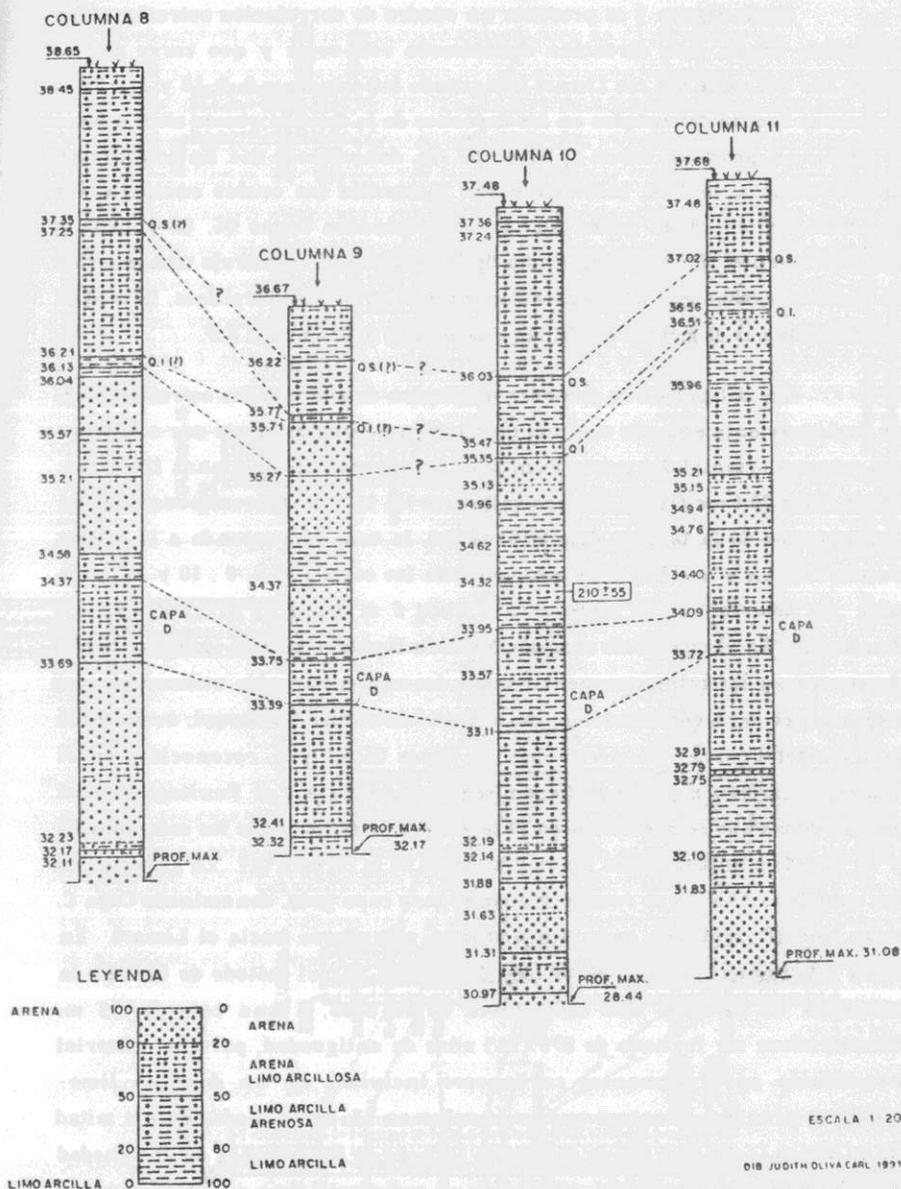


Fig. 3 Cuadro de correlación estratigráfica de columnas levantadas en el margen sur del valle del río Limarí.

En la figura 3 se presenta un cuadro de correlación estratigráfica orientado según una dirección aproximada este-oeste y que corre por el borde sur del valle del río Limarí integrando las columnas 8, 9, 10 y 11. Estas columnas fueron levantadas en los depósitos de la terraza que se sitúa a unos 7 metros en promedio sobre el nivel del río, denominada Qt4. En este cuadro de correlación se han individualizado 3 estratos los cuales cumplen las condiciones de capas guías, siendo denominados Capas QS, QI y Capa D respectivamente. En el sector medio de la columna 10 se extrajo una muestra de materia carbonosa incluida en depósitos de arena limoarcillosa, la cual al ser fechada por el método de C14 dió una edad de 210 ± 55 años A.P.

En la figura 4 se presenta un cuadro de correlación estratigráfica, el cual se orienta esta vez con una dirección aproximada norte-sur a lo largo del margen oriental del estero Punitaqui, integrando las columnas 12, 13, 14, 15, 16, 18 y 20 (ver figura 2). Las columnas 12, 13 y 14 fueron levantadas en los depósitos de la terraza denominada Qt4, la cual corresponde a la misma reconocida en el río Limarí y que contiene las columnas 8, 9, 10 y 11, pero que en este sector, se encuentra a unos 6 m sobre el nivel del estero Punitaqui. En el cuadro de correlación de la figura 4, se han individualizado 3 estratos en las columnas mencionadas, los cuales han sido utilizados como capas guías para correlacionar tanto los eventos del Punitaqui, como estos con los del Limarí. Efectivamente las Capas QS, QI y D, reconocidas en el Limarí (ver figura 3), se pudieron seguir también en el Punitaqui, salvo ciertas dudas que se presentan en el sector donde se levantan las columnas 12 y 13, debido a un derrumbe parcial del talud de la terraza Qt4. En el sector de las columnas 13 y 14 se reconoce además otra capa guía, denominada Capa C, cuya identificación no pudo, sin embargo, extenderse hacia el Limarí. En estas 3 columnas se efectuaron dos dataciones por el método de C14; en la columna 12 se hizo una muy cerca de la base, a una cota de 33 m, obteniéndose un fechado de 870 ± 265 años de antigüedad, para un material constituido por fragmentos carbonosos incluidos en un depósito limo-arcilloso-arenoso; mientras que en la columna 13, aproximadamente a mitad de su altura (cota 34.3 m), se obtuvo un fechado de 180 ± 70 años de antigüedad en fragmentos de carbón, incluidos en el sedimento limo-arcilloso-arenoso que constituye la Capa guía C.

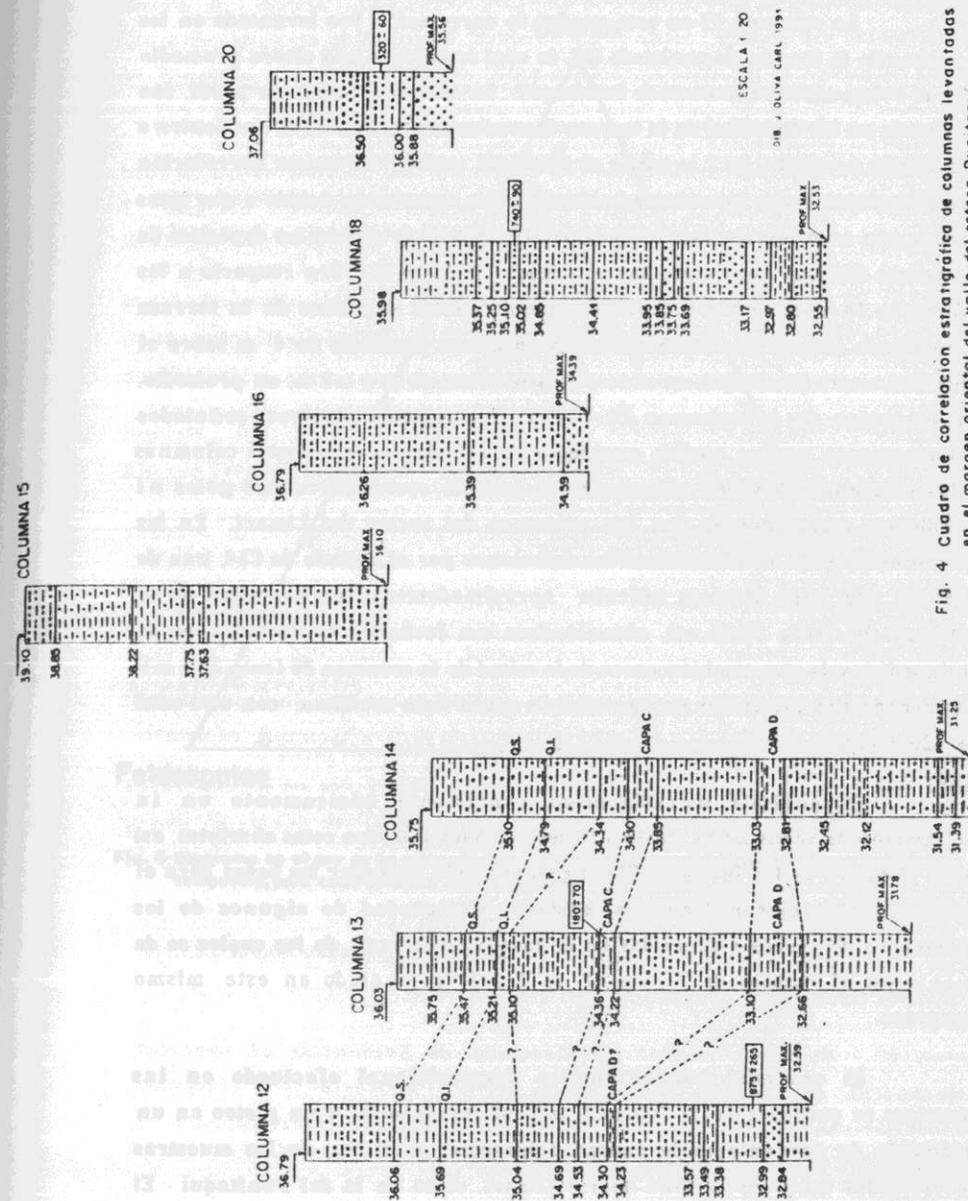


Fig. 4. Cuadro de correlación estratigráfica de columnas levantadas en el margen oriental del valle del estero Punitaqui.

La columna 15 en este cuadro de correlación fue levantada en los depósitos de la terraza denominada Qt2, la cual se ubica a una altura promedio de 9 m sobre el nivel del estero Punitaqui. La columna 16 por su parte, fue levantada en los depósitos de la terraza denominada Qt3, la cual se encuentra a una altura promedio de 7 m sobre el nivel del estero. No existe correlación entre los depósitos de las columnas 15 y 16 y las anteriores, debido a que estas pertenecen a un terraza más antigua, contra la cual se adosan los depósitos de la terraza Qt4 que contienen las columnas 12, 13 y 14. Con respecto a las columnas 18 y 20, estas fueron levantadas en los depósitos de la terraza denominada Qt4, la que se encuentra a una altura promedio de 4 m sobre el nivel del estero Punitaqui, en el sector de la columna 18 y a 2 m, en promedio, en el sector de la columna 20. Por los mismos motivos señalados anteriormente, no fue posible establecer correlaciones entre estas columnas y las columnas 15 y 16. Tampoco fue posible reconocer capas guías ni establecer correlaciones con las columnas del sector del Limari. En las columnas 18 y 20 se efectuaron dos dataciones por el método de C14: una de ellas en una capa arenosa ubicada aproximadamente en la mitad de la columna 18 (cota 35,05 m), obteniéndose un fechado de 740 ± 90 años de antigüedad; y la otra también cerca de la mitad de la columna 20 (cota 35,4 m), en carboncillos colectados en una capa de arena limo-arcillosa, con una edad de 320 60 años.

El análisis estratigráfico consistente básicamente en la correlación de capas guías, junto a la determinación de sus cotas absolutas, así como al apoyo de los fechados C14, han permitido entregar las bases para el cálculo de los ejes hidráulicos, gastos y antigüedad de algunos de los fenómenos de crecidas ocurridos en el pasado en la zona, de los cuales se da cuenta en el trabajo de Brown et. al (1991) presentado en este mismo Congreso.

El análisis sedimentológico composicional efectuado en las muestras se presenta en la figura 5, la cual corresponde a un ploteo en un triángulo de porcentajes de cuarzo, feldespatos y líticos, de las muestras recolectadas tanto en la zona de río Limari, como en la del Punitaqui. El análisis practicado a las muestras se realizó con una Lupa Binocular y el

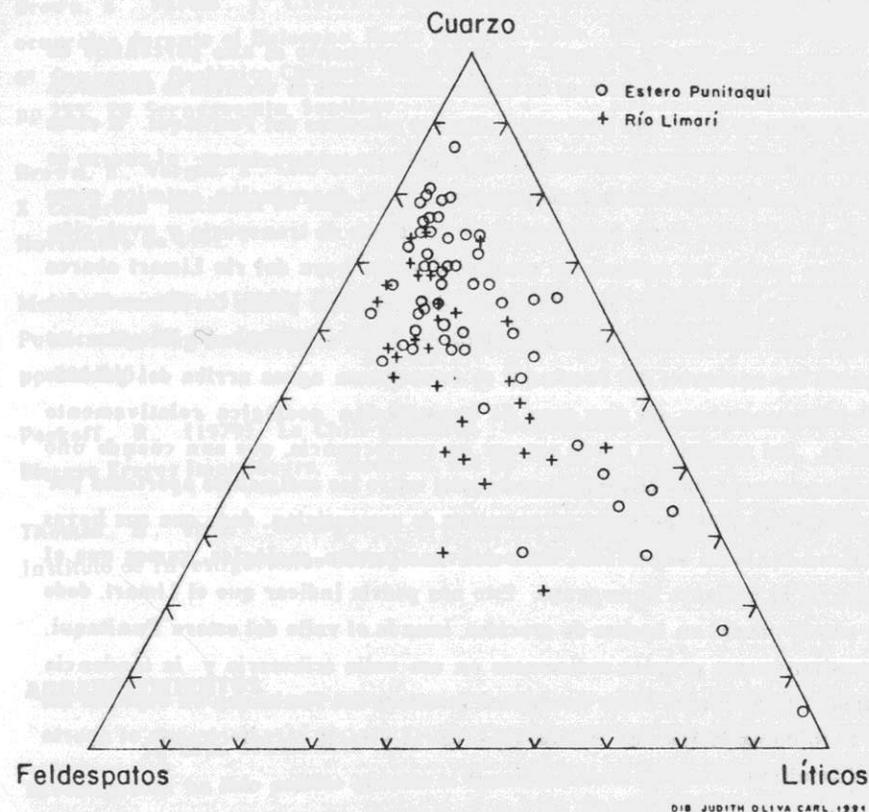


Fig. 5 Diagrama en el que se ha planteado la composición cuarzo-feldespato-líticos, en forma compuesta, para cada columna de los ríos Limari y Punitaqui.

porcentaje relativo de cada componente corresponde a una estimación visual

En la figura se puede observar claramente el alto porcentaje de cuarzo que tienen las muestras de ambos rios; además se verifica la tendencia al componente lítico que presentan algunas muestras del Punitaqui. A estos antecedentes se pueden agregar las siguientes consideraciones: el cuarzo es uno de los minerales más resistente, tanto a la degradación química como física, por lo cual es un buen indicador del grado de transporte y evolución que han tenido los sedimentos muestreados; la hoya del río Limarí abarca una extensa superficie, ubicándose sus nacientes en plena Cordillera de los Andes, con una provincia petrográfica de gran complejidad geológica, en cambio las nacientes del Punitaqui se encuentran aguas arriba del poblado del mismo nombre, en una zona de constitución geológica relativamente simple. Del análisis se puede extraer en consecuencia, que aun cuando uno pudiera esperar una diferencia sustancial entre los sedimentos aportados por el río Limarí y el Punitaqui en términos de composición, dado que sus hoyas difieren tanto en superficie, como en constitución geológica, vemos que el material es bastante homogéneo. Esto nos podría indicar que el Limarí, dado su mayor caudal en épocas de crecidas, inunda el valle del estero Punitaqui, depositando sus propios sedimentos en ese valle tributario y la tendencia hacia el componente lítico de algunas muestras del Punitaqui, en especial las de la columna 20 (la más alejada del Limarí), estaría caracterizando el aporte de este último.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Baker, V.R. (1987) Paleoflood Hydrology and Extraordinary Flood Events. *Journal of Hydrology*, 96, pps 79-99.
- Brown, E., Varela, J. (1990) Prospección de Evidencias de Crecidas Holocénicas en la Zona Semiárida de Chile. *Memorias XIV Congreso Latinoamericano de Hidráulica* 2. Hidrología Superficial y Subterránea, 6-10 de Noviembre 1990, Montevideo, Uruguay.

Brown, E., Varela, J. (1991) Proyecto de Detección de Señales de Crecidas ocurridas durante el Holoceno, Norte Chico de Chile. *Resúmenes expandidos*, 6º Congreso Geológico Chileno, Viña del Mar, Chile, 5-9 de Agosto de 1991, pp 285. Ed. Sernageomin, Santiago

Brown, E., Vargas, X., Cid, O., (1991) Cálculo de Paleocrecidas en río Limarí. *X Congreso Nacional de Ingeniería Hidráulica*, Valparaíso, Chile, 6-8 de Noviembre de 1991.

Meinardus, H. (1961) Exploraciones geofísicas en el área de Tongoy. *Publicación N° 42*, Instituto de Geofísica y Sismología, Universidad de Chile, pp 206-215.

Paskoff, R. (1979) *Le Chili Semiárid*. Recherches geomorphologiques Biscaye Freres Imprimeurs, Bordeaux, 420 pp.

Thomas H., (1967) *Geología de la Hoja Ovalle*, Provincia de Coquimbo. Instituto de Investigaciones Geológicas, Boletín N° 23, 58 pp.

AGRADECIMIENTOS

Se deja constancia que la realización de éste Proyecto de Investigación ha sido posible gracias al financiamiento proporcionado por el Fondo Nacional de Ciencias y Tecnología de Chile (Proyecto 1010-89 FONDECYT)