

EL FENOMENO CARSTICO EN CHILE

THE KARST PHENOMENON IN CHILE

GIOVANNI CECIONI

Departamento de Geología y Geofísica de la Universidad de Chile

ABSTRACT

Evidences of Karst phenomenon by action of corrosion in Chile, have been recognized only in the Coastal Tarapaca Cordillera, in the Upper Paleozoic limestones of the Patagonian Archipiélago and in the limestone of the El Loa Formation as well as in the clay limestones member of the Cerro Toro Formation at the Ultima Esperanza Province. The observed forms are karren, a few sink-hole type dolines, wide and flat and great uvalas. It is possible that some of these latter might correspond to poljas; however, an appropriate study of this phenomenon has never been carried out. The extration of the Guarello limestones let out cavern with sink at the roof and lateral horizontal grottos at sea level. By the action of solution, in the Atacama Andes salt deposits, two embrionary and recent sink-holes have been observed. In the Uppermost Jurassic Main Gypsum, near the Maipo Gorge, there are numerous well developed dolinas, partially covered by a salt glacier. While at the northern chilean sector the lime karst landscape is a "fossil" feature, at the south it is very active and it has developed over limestones which really are similar to the "marmo ordinario" of Carrara, of lower most quality.

Key ideas: Shortly known phenomenon; northern fossil, landscape, perhaps active in depth; landscape in development on the Archipelago Antrocolitic.

Ideas Claves: Fenómeno poco conocido; paisaje cárstico "fósil" norteño, tal vez activo en profundidad; paisaje en desarrollo en el Antrocolítico del Archipiélago.

1. INTRODUCCION

Con excepción del Dr. Walter Biese, (1945, 1950, 1956, 1957), muy pocos de los geólogos o geomorfólogos que trabajan o trabajaron en Chile, observaron el paisaje cárstico, y sólo de paso. Incidentalmente NARANJO & PASKOFF (1981) mencionan dolinas y filtraciones en la caliza de la Formación El Loa; LLIBOUTRY (1950) menciona fenómenos de disolución en el Valle del Yeso, y CHARRIER (1981) una "dolina" en aluviones encima del mismo Yeso Principal.

1.1. OBSERVACIONES DEL AUTOR

Estas se efectuaron de paso haciendo otros tipos de trabajos; generalmente de tipo económico con ENAP (Empresa Nacional del Petróleo) en Chile, con la Sociedad Aragón y con los alumnos de esta Universidad desde 1960. El autor tiene experiencia en fenómenos cársticos por haber trabajado en el Norte de Dalmacia, especialmente en la Isla de Luxino, y en las calizas yesosas y yesos de la Somalia y en Italia apenínica.

Sin embargo, nunca vió un paisaje cárstico "fósil". Las siguientes observaciones y conclusiones son respectivamente exiguas y dudosas. Se espera, sin embargo, a que en el futuro se dedique más tiempo a este espectacular fenómeno.

1.2. LIMITACIONES

A pesar de las críticas que fácilmente se pueden hacer contra quien abre caminos nuevos en una región, el autor considera una obligación divulgar estos antecedentes de algunas partes de Chile, sin haber llevado a cabo estudios intencionales.

1.3. CONDICIONES QUE FAVORECEN EL FENOMENO

Este fenómeno sobre caliza, más o menos margosas, mármoles más o menos finos, tiene por base el factor climático. Litológicamente los mármoles finos no están afectados por este fenómeno siendo muy pequeños los cristales; en los otros la dilatación térmica diferencial es muy notoria, y se abren poros transformando los mármoles ordinarios (Archipiélago Patagónico) en setazos. Las sucesiones y alternancia de distintos tipos de caliza favorece el karst, palabra céltica derivada de kras, que en serbo-croato significa "desierto". La permeabilidad secundaria favorece el fenómeno. Si la primaria se sobrepone a la secundaria, la acción de esponja de las calizas es increíble, como en los mármoles paleozoicos del Archipiélago Chileno. Los mármoles estatuarios (sacaroideos finos) son exentos de fenómenos cársticos, como por ejem. los mármoles de Carrara y de Paros, en los cuales no existe "percolatio", como escribió, primeramente Vitruvio el año 27 A. de C. (ROVERETO, 1923). El presente autor dió a conocer el fenómeno cárstico en la Somalia (CECIONI, 1939-1940), empero en yesos; fenómeno entonces de disolución. En los tratados se hace en general bastante confusión en la terminología.

Cualquier proceso sobre la superficie de nuestro planeta capaz de transformar material, transportarlo y luego dejarlo, es un agente geomórfico.

Los principales agentes geomórficos son: 1º Erosión, 2º Disolución y 3º Corrosión. Se admite aquí que estos agentes actuaron también en el pasado y con la misma intensidad (actualismo y uniformitarianismo).

Los procesos de disolución y de corrosión son generalmente confundidos o usados como sinónimos. Una solución podrá favorecer la formación de nuevos

compuestos. Sin embargo, es ésta una acción totalmente distinta de la corrosión, que es un efecto protónico (hidrógeno disociado con carga positiva). Este estado de la materia es prácticamente inexistente o instantáneo porque no se encuentran ácidos inorgánicos en la naturaleza, si no tan sólo sus sales inmediatas.

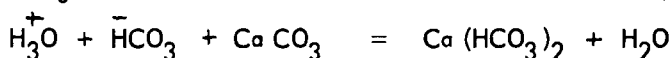
En lo que se refiere al fenómeno cárstico, CECIONI (1940) puso en evidencia, que podemos observar formas idénticas debidas a dos fenómenos diferentes: disolución y corrosión. El primero está ejemplificado por el yeso de la Serie de Taleh (Somalia), ilustrando tal vez el más grande sumidero existente en Africa. El segundo fenómeno es provocado por la acción del agua y anhídrido carbónico sobre el carbonato de calcio o de magnesio.

Como este segundo fenómeno tiene a su vez una acción destructiva (removiendo carbonatos) y una acción constructiva (deposición de estalagmitas, estalagmitas, travertino, onix mexicano, etc.), pudiéndose constatar el aumento o disminución de bicarbonatos en las aguas cársticas, podemos afirmar que el fenómeno cárstico sobre carbonatos es esencialmente corrosivo.

Para que se realice el fenómeno cárstico en carbonatos (generalmente calizas y dolomías), se necesita agua de lluvia y CO_2 . Estos dos últimos compuestos reaccionan entre sí de acuerdo con la siguiente ecuación:



La presencia del ión hidronio, H_3O^+ , imprime al agua un carácter ácido que permite la siguiente reacción al actuar sobre un substrato calcáreo (o dolomítico):



El bicarbonato de Ca es unas 30 veces más soluble que el CaCO_3 , cuya solubilidad en condiciones ambientales es de unos 0.014 gr/l. Un aumento de temperatura combinado con un aumento de presión favorece la siguiente reacción:



La cual implica la constitución de los productos a base de carbonatos (estalagmitas, etc.), más agua y anhídrido carbónico. Este último producto vuelve al aire, pero en ciertas cavernas o cámaras, selladas inferiormente por agua (lagos subterráneos), la respiración para el ser humano es difícil, y el autor piensa de que se debe a la presencia de fuertes cantidades de CO_2 . En la literatura nada se menciona al respecto.

Las condiciones químicas del desarrollo del fenómeno cárstico se presentan bastantes claras. Los paisajes cársticos también recibieron y reciben bastante atención.

Cuando semejantes paisajes se encuentran en lugares donde las reacciones arriba mencionadas son prácticamente imposibles, quiere decir que se trata de un paisaje "fósil", como el de Le Baux, Francia, en caliza jurásica, cubierta por el Cretáceo.

No hay que olvidar que en áreas volcánicas o industriales la atmósfera se está enriqueciendo también de SO_2 y NO_2 . Ambos gases en la atmósfera son también de naturaleza espontánea (terremotos y relámpagos). SCHNEIDER (1981) pone en evidencia que estos gases están aumentando la concentración del ión hidronio.

BRYAN (et al, 1982) añaden, que las "lluvias ácidas" se pondrán todavía más activas por el incremento de CO₂ en la atmósfera. Es de moda hablar de "ecología" (palabra que tiene un siglo de vida), empero este aumento de acidez de las "lluvias ácidas" no ha sido mencionado, según los conocimientos del autor, en los procesos químicos que producen el fenómeno cárstico. Tal vez valga la pena desarrollar estudios geoquímicos de esta naturaleza en las aguas cársticas de las áreas industriales y las del Archipiélago Patagónico, porque esta acidez atmosférica ha sido registrada hasta en la Antártida.

En lo que se refiere a las disoluciones, las formas cársticas especialmente en el yeso se presentan bastantes semejantes a las que se producen en las rocas carbonatadas. La diferencia está principalmente, en que en las lomas, con series horizontales, las capas apicales (areniscas, calizas, yesosas o silíceas), a veces aparentan domos. Esto es debido a flaqueza, porque el material arcilloso-yesoso subyacente, y más soluble, se cae paulatinamente: difícilmente presentan fracturas o diaclasación fuerte debido a la lentitud del fenómeno (CECIONI, 1939). La disolución del yeso en agua es de 5 a 9 veces más grande que la de la caliza a temperatura inferior a 25° C.

Si en 10.000 partes de agua se solubilizan 0.3 de carbonatos la cantidad de bicarbonato removido por corrosión es 37 veces superior.

2. LOS ESTUDIOS ANTERIORES

En Chile hay solamente 2 publicaciones específicas (BIESE 1956 y 1957). En la República Argentina ROVERETO (1923, con bibliografía) habla extensamente sobre este fenómeno. Feruglio, cuyas primeras publicaciones en Italia antes de transferirse a Argentina (y después de su retorno a Italia) fueron especialmente sobre el fenómeno cárstico, no lo menciona en sus publicaciones sobre Argentina. El que suscribe trabajó 3 años en la Caliza Dolomítica cretácica del Norte Argentino y no vió aparentemente manifestaciones cársticas, las cuales parecen ser desarrolladas en la Patagonia Argentina.

2.1. BIESE: (1945)

Afirma que en la Formación Pelantaro hay los fenómenos cársticos más australes del planeta, en la caliza que consideró de edad cretácica.

2.2. LLIBOUTRY: (1956)

Señala el fenómeno cárstico por disolución en una dolina al oriente de Rancagua. Se trata de disolución del Yeso Principal. CHARRIER (1981) señala una "dolina" en los aluviones que cubren el mismo yeso, unos kilómetros más hacia el Sur. Señales de dolinas en el mismo yeso, dispuestas en rosario, indicó al suscrito verbalmente el Prof. Estanislao Godoy Pirzio-Piroli. Esta corrida de dolinas parece controlada por una fractura en el diapiro.

2.3. BIESE: (1956)

Afirma que no existe el fenómeno cárstico en el Desierto de Atacama. Añade que en el Archipiélago Patagónico (visitó exclusivamente la Isla Diego de Almagro, por prospecciones de mármoles) existen sumideros (klüfte o gouffres), de 20 metros de profundidad, lo que no había señalado anteriormente ni señalará posteriormente. Considera los sumideros como las formas más avanzadas allí del fenómeno cárstico. Cita erróneamente una publicación de Muñoz Cristi, del 1950 (Geografía Económica de Chile) donde según Biese se señalarían fusulínidos en calizas.

2.4. BIESE: (1957)

Pone en evidencia varios lugares con karren (lápias) en la Isla Diego de Almagro, exactamente en el Seno Huemul y Puerto Pelantaro. Salvo unos sumideros (BIESE 1956), no se sospechan formas más avanzadas de este fenómeno. Los bosquecillos rodean generalmente sumideros de 1 a 2 metros de diámetro, y las zonas topográficamente planas, sin embargo, presentan dolinas. Los karren (BIESE 1957, foto 5) del Seno Huemul son típicos de todas las calizas del Archipiélago cuando masivas. En la foto 7 del trabajo de Biese se observa a este autor con los pies metidos en un sumidero de 1 metro y con karren profundos que dan la impresión de haberse formado por fusión de sumideros a lo largo del plano de fractura o clivaje. Biese menciona justamente karren-trapp (en escalera).

2.5. CECIONI: (1955)

Hace dos viajes por el Paleozoico del Archipiélago Patagónico en 1952 y 1953, levantando los sedimentos a la escala 1: 250.000. Sus observaciones sobre el fenómeno cárstico quedaron inéditas. Los fusulínidos recogidos por primera vez en varios lugares fueron determinados por el Dr. R. V. Holligsworth (CECIONI 1955), siendo esta la primera publicación oficial e independiente. Desde entonces no fueron hallados nuevos lugares fosilíferos con fusulínidos. Desde el comienzo de la década pasada (MEYERHOFF & TEICHERT, 1971) se encontraron corales nunca antes estudiados y ubicados en mapas. No se mencionó el fenómeno cárstico.

2.6. DOUGLAS: (1976)

Volvió a recolectar solamente en algunos de los lugares fosilíferos anteriormente establecidos por el suscrito; presenta un magnífico estudio paleontológico; sin embargo no hace referencia del fenómeno cárstico.

2.7. NARANJO & PASKOFF: (1981)

Tienen defectos notables en sus trabajos: no citan Hoffstetter et al, ni mencionan a los estudios del Dr. Walter Biese. Ellos presentan dos fotos de dolinas en la Formación El Loa, calcárea, afirmando que la "red subterránea de este modelado cárstico se mantiene activa hoy en día". Aquí presentamos una reproducción a tinta china de la foto N°4 (fig. 10) de los mencionados autores. Dicho fenómeno será recordado en el capítulo "Filtraciones (4-5) de este trabajo.

2.8. CECIONI: (1957)

Inédito, ENAP, sospecha un fenómeno cárstico fósil y reconoce en el Norte Grande de Chile (p. 5) "que el área de El Godo, Sta. Rosa, Barrenechea, etc., se caracteriza por planos intramontados que no sobrepasan de los 1.000 metros y cuya génesis al autor parece oscura y dudosa". Este informe inédito, desde mediados de 1958 fué puesto por ENAP a disposición de los interesados en la geología y la geomorfología del país, y usado en publicaciones en las cuales no se menciona el fenómeno cárstico. Es la primera sospecha de carst en aquel desierto, que DE MARTONNE & AUFRERE, (1928) justamente llamaron "atenuado".

Dos geólogos, como mínimo, al levantar la Cordillera de la Costa Tarapaqueña, terminados y divulgados los levantamientos efectuados por ENAP, mencionan

formas debidas al viento en caliza (y son karren) y cavidades circulares o elípticas (dolinas y uvalas) pensando en una génesis eólica por remolinos, o enormes marmitas, tal como se pensaba para las dolinas en el Yeso Principal al Este de Santiago, en el Valle del Yeso.

3. DESCRIPCION DE LAS FORMAS

El suscrito tiene cuadernos de apunte sobre todas las regiones visitadas en el país, y donde pone en evidencia fenómenos geológicos o geomórficos independientes de las investigaciones petroléas. Hasta la fecha, el presente autor nunca publicó sobre este tema en Sudamérica. Las fotos, por distintas razones, no tienen la bondad para reproducirse. El Sr. Roberto Muñoz las usó bosquejando los rasgos fundamentales por transparencia; las fotos están en el archivo del autor.

3.1. KARREN (FELDER) O LAPIAZ O CAMPOS CANALICOLADOS

En todos los lugares donde se ha reconocido el fenómeno cárstico en Chile, están presentes estas formas que serán llamadas karren por prioridad y brevedad.

Estas son muy extensas en el área de la batalla de Dolores, en la caliza caloviana bastante pura y blanca. Aquí son pequeños; muy grandes en el Archipiélago Patagónico.

3.1.1. Cordillera de la Costa de Tarapacá: En general pequeños y en el lado oriental; las crestas aparentan ser destruidas por el viento, en ciertos lugares. Se consulta la estratigrafía en CECIONI y GARCIA (1960).

3.1.1.1. Pampa de la Perdiz: A lo largo de esta pampa son visibles karren pequeños en el Caloviano Alto-Oxfordiano.

3.1.1.2. Negreiros: Se presentan más grandes, cortantes, en caliza de la misma edad.

3.1.1.3. Agua Santa: En la homónima formación, al W. de Negreiros, se tiene 20 metros de yeso en la parte alta del Oxfordiano. Hay pequeños karren en las paredes verticales.

3.1.1.4. Dolores: En el vallecito al W. del Monolito hay pequeños karren que afectan estalagmitas embrionarias mamelonares. Se observan a veces hasta dos hoyos por cada mamelón para la salida del agua carbonatada. Se observan paredes no tanto verticales cuando inclinadas inversamente a la pared de valle (fig. 1).

3.1.1.5. Area al SE de Iquique: Poco abundantes empero en la Formación Choluta, caloviana, al borde E de la cordillera, la caliza es semimetamórfica.

3.1.2. Pedernales: (GARCIA 1967 p. 50) en los 100 metros apicales en la Formación Montandon (Lias-Bajociano), los karren son muy desarrollados.

3.1.3. Calizas en el Archipiélago Patagónico: Partes de estas calizas son de edad carbonífero Superior-Permico, según muestras indicadas en el mapa (CECIONI, 1955): más al norte parecen ser más modernas y al sur más antiguas, como lo demuestra la estructura y la distribución geográfica de los fusulínidos, según el mencionado autor.



Fig. 1. Valle al W del Monolito a la Batalla de Dolores: Caliza blanca caloviiana. Pequeños karren con estalagmitas embrionarias mamelonares con una o dos pequeñas aberturas. La pared está inclinada hacia el interior del Cerro Dolores. (foto Cecioni).

3.1.3.1. Formación Seno Eleuterio: En estas calizas que están presentes en todo el Seno Eleuterio, Monte Roberto, Isla Tarlton y Puerto Guarello (parte occidental), se presentan las mayores formas cársticas, además de antiguas líneas de Costa (CECIONI, 1955, p. 206, foto 1, fig. 6). Estas antiguas líneas de costa podrían llamarse "acanaladuras de oleaje fósil". Los karren están muy cerca uno de otro profundos y alineados más o menos, según la pendiente de los cerros (fig. 2). Producen laderas con salientes calcáreas pronunciadas semejantes a los badland ("calanchi" en la arcilla pliocénica apenínica). En general los bosquecillos en las partes altas de los cerros disfrazan surtideros aparentemente profundos y de un diámetro no mayor de 2 metros. Los antros han sido puestos en evidencia en las minas de caliza de la CAP (Compañía de Acero del Pacífico); son bastantes altos (20 metros) y tienen en el techo la parte inferior del sumidero. Los antros han sido notablemente excavados literalmente pasando de uno a otros por cavernas horizontales ampliadas artificialmente. El método de explotar la caliza en los antros es sin duda un delito contra las bellezas naturales del país (por cierto no frecuentadas por turistas), empero favorece el trabajo, el cual, a tajo abierto, se habría desarrollado más lento por las lluvias eternas en aquellas regiones.

3.1.3.2. Formación Isla Cerda: (CECIONI, 1955). Presenta cavernas y karren.

3.1.3.3. Formación Cabo Ladrillero: Caliza constituyente en farellón; encima hay, discordante, una arenisca amarilla conglomerádica, (CECIONI, 1955) la cual posteriormente no se menciona en la literatura. Podría ser cretácica o contemporánea, por su litología, a la que se presenta inmediatamente al lado W del Cabo Froward (Cabo Holand). En la magnífica Caleta Patria (o Angostura) hay "almiros" (del griego: surgente de agua semidulce (amarga) en el mar, produciendo hervideros locales de origen cárstico) cerca del contacto con las cuarcitas de la Formación Isla Negra. Las calizas tienen que ser las de la Formación Eleuterio, pero no hay pruebas paleontológicas. Siempre cerca de este contacto se han observado manifestaciones de hidrocarburos. Aquí trabajaron la Phillips, Arco y Amoranda-Hess Petroleum Companies; perforando se encontró más de 1.000 mts. de arcilla pliocénica sin perspectivas económicas.



Fig. 2. Seno Eleuteria visto desde el Monte Roberto; al fondo parte de la costa de la Isla Tarltom. El cutter "Juanito" entonces de ENAP, (ahora "Beagle" de la Armada Nacional) está navegando de NE a SW, hacia el Océano Pacífico. Se observa una acanaladura de oleaje de una antigua línea de costa. En italiano "Solco di battigia". Impresionantes, largos, profundos karren. Los bosquecillos arriba esconden generalmente sumideros abiertos, angostos al parecer bastantes profundos (foto Cecioni).

3.1.3.4. Formación Isla Blanca: (CECIONI 1955) Su edad podría ser del Pensilvaniano inferior. El autor observó sólo karren y pequeñas dolinas aplanadas profundas 2-3 metros, en esta caliza, la cual es más metamórfica que la de Guarello.

3.1.3.5. Formación Isla Verde: Sus bancos calcáreos como los anteriores y con espesores de 2 a 3 metros; sólo pequeños karren.

3.1.3.6. Formación Cerro Pelantaro: (BIESE 1945) Caliza metamórfica ("mármol ordinario" de Carrara según él), con enorme desarrollo de karren que el "mármol ordinario" de Carrara no tiene; hay también sumideros y dolinas.

BIESE (1957) observó sólo karren, pero fotografió también dolinas, anchas y chatas, que él no reconoció (foto 6, aquí reproducida en la fig. 3); en la foto 7 de su trabajo se ve al Dr. Biese (1957) con las piernas, en una pequeña dolina de 1 metro de diámetro. Una foto parecida se observa en BIESE (1956) reproducida aquí en la fig. 4. BIESE (1945) puso en el Cretácico esta caliza y luego, conociendo la publicación del suscrito (CECIONI 1955) la pasó al Paleozoico Superior, sin datos. En realidad aparenta ser más antigua de las calizas arriba mencionadas y fosilíferas; nunca fueron publicados, y ubicados en mapas, nuevos hallazgos de fósiles.



Fig. 3. Isla Diego de Almagro, entrada NE Seno Huemul se observan a la derecha tres dolinas (D) colindantes y que forman una pequeña uvala. Se observa una dolina también, hacia la izquierda, donde hay dos hombres. Sacado de la foto 6 Biese (1957).



Fig. 4. Dolina en el Seno Huemul, Isla Diego de Almagro en mármol blanco atravesado (alto izquierda) por filones de lamprófiros (de Biese, 1956).

3.1.3.7. Formación Isla Tortuga: (CECIONI, 1955). Parece estar por debajo de la anterior; idénticas formas cársticas (fig. 5).

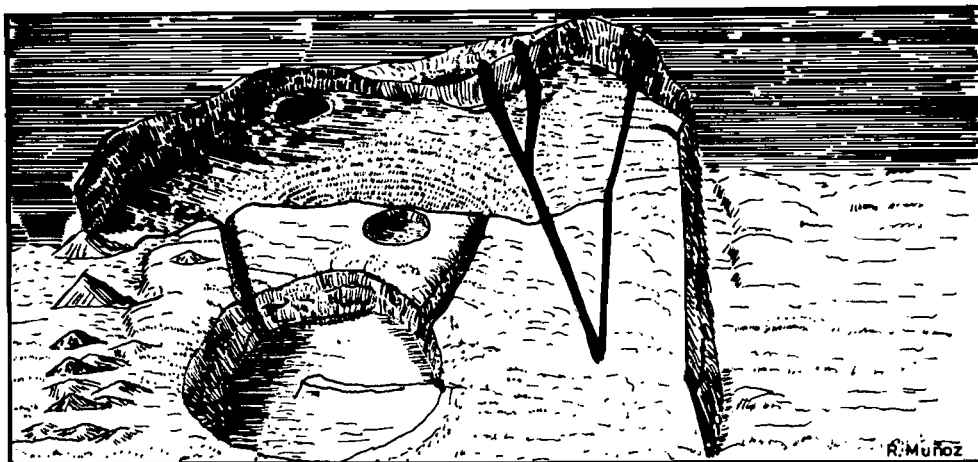


Fig. 5. Islas Tortugas. Las calizas están cortadas por filones básicos. Al fondo aparenta haber una uvala con una dolina; al frente tenemos dos dolinas conectadas con la uvala anterior y topográficamente más baja. Hum a la izquierda. La caliza de 20 metros de espesor está encima a los esquistos de la Formación Tortuga. Todo está por debajo de la Formación Pelantaro (foto Cecioni).

3.1.3.8. Conclusiones: Se considera los karren como formas iniciales y embrionarias de fenómenos cársticos. Como esto se desarrolla, los karren se ponen más grandes hasta formar "salientes cortantes", debido a la roca homogénea; así es por la rápida degradación en los bad-land y en los "calanchi" toscanos (Volterra). En Chile, ahora, se ha reconocido cómo estos karren comienzan (Dolores) y cómo terminan (antros del Archipiélago). Los karren que están presentes en la faja oriental de la Cordillera de la Costa Atacameña, representan la última etapa de la primera fase del fenómeno cárstico. En el sur estas grietas profundas abrieron cañadones largos que ya han perdido las características cársticas, siendo bastante distintas de lo que el autor observó en el karst lugar típico en 1939. Al parecer este fenómeno tiene allá 5 siglos de existencia debido a que la República Véneta desforestó parte de estos Alpes por su comercio marítimo con el oriente; necesitaba una gran flota a la vez mercante y de guerra. En los años 1936-1938 el presente autor observó, en los yesos de la Somalía, pequeños karren que semejan a los de Istria y a los de la ladera oriental de la Cordillera de la Costa Atacameña (CECIONI, 1939, 1940).

Los karren en las calizas del Archipiélago Patagónico, con su inusitada hondura, podrían ser favorecidos, también por la cubierta de nieve que a veces se forma en invierno. La nieve es un agente que favorece el fenómeno cárstico: efectivamente ella permite a su agua de deshielo actuar lentamente, en presencia del CO_2 de la atmósfera entrampada en la nieve, y así formar el ión hidronio, indispensable al fenómeno en estudio.

3.2. DOLINAS

En Chile han sido descritas muy pocas; algunas fueron vistas y hasta en parte involuntariamente, fotografiadas sin reconocerlas. Debido a las intercalaciones de lavas jurásicas en los depósitos calcáreos del Norte Grande, su desarrollo es algo distinto que en otras partes, pudiendo producir uvala (dolinas reunidas

superficialmente) y con el tiempo otras dolinas en los planos de fondo de uvalas.

3.2.1. Area Aragón-Zapiga: Caliza muy pura especialmente la caloviana, en general, con jirones de Oxfordiano en el techo. Las dolinas desventradas tienen alrededor de 100 metros de diámetro, se encuentran escalonadas si su base en general ha sido morfológicamente alterada por la excavación del salitre. Se presenta una reproducción de foto aquí dibujada en la fig. 6, al W de Zapiga. Hay cavernas naturales horizontales que literalmente atraviesan un cerro (fig. 7).



Fig. 6. Cordillera de la Costa, área Zapiga. Sedimentos calcáreos oolíticos del Caloviano. Se observan a la derecha, es decir hacia la oficina Aragón, varias dolinas con paredes cubiertas por derrubios (foto I. Silva).

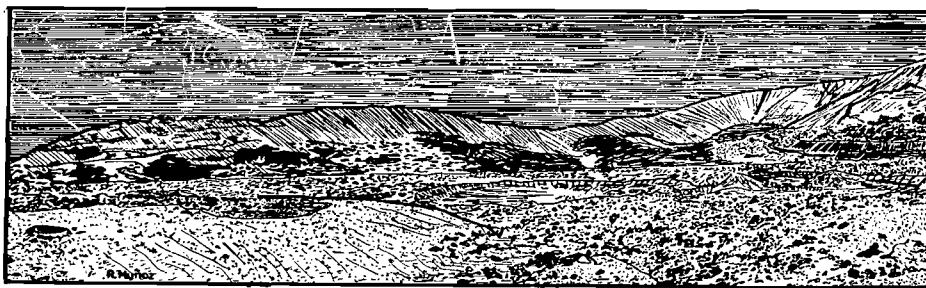


Fig. 7. Extremo sur del Cerro Aragón al Norte de Dolores; sedimentos calcáreos oolíticos en parte margosos, con areniscas y tobas hacia la base. En la serie hay muchas vetillas interestratificadas de salitre y yeso. Dolinas desventradas hacia la derecha. En el medio del cerro, siempre hacia la derecha, hay numerosas calicheras. A la izquierda, una galería en este cerro alcanza una caverna cárstica que atraviesa horizontalmente todo el cerro Aragón (foto I. Silva).

3.2.2. Negreiros: La misma litología y de la misma edad. También aquí están presentes dolinas sobrepuestas en calizas muy salitrosas, de edad especialmente caloviana. Por debajo de estas, hay antros que parcialmente se derrumbaron tanto por efecto cárstico como antropogénico debido a la explotación del salitre, que allí fué intensiva. Estos antros tienen cavernas horizontales. Fueron observadas por los señores F. García, L. Urruticoechea y el autor.

3.2.3. Pampa de la Perdiz: Se encontraron dolinas, la mayoría abiertas y con paredes cóncavas hacia los planos intramontanos, en calizas intercaladas en lutitas y areniscas verdes que van del Bajociano al Titónico Inferior. Hay niveles de brechas volcánicas andesíticas, muchas de estas aparentemente del Bathonianiano. En estos planos intramontanos se observan algunas dolinas muy típicas y

bien conservadas en caliza oxfordiana, en general; entre Punta Mejillones y Caleta Buena hay dolinas desventradas y escalonadas, formando saltos. Las dolinas presentes a lo largo del camino Iquique-Humberstone, aparentan estar en rosario, según líneas de fracturas NW-SE (fig. 8). La costa arriba mencionada se presenta sumamente escarpada, de tipo "brava", y localmente tiene cierta semejanza, vista desde el mar, con la costa dalmata (o longitudinal) porque las directrices del relieve son bastante en paralelo a la costa misma, rectilínea.

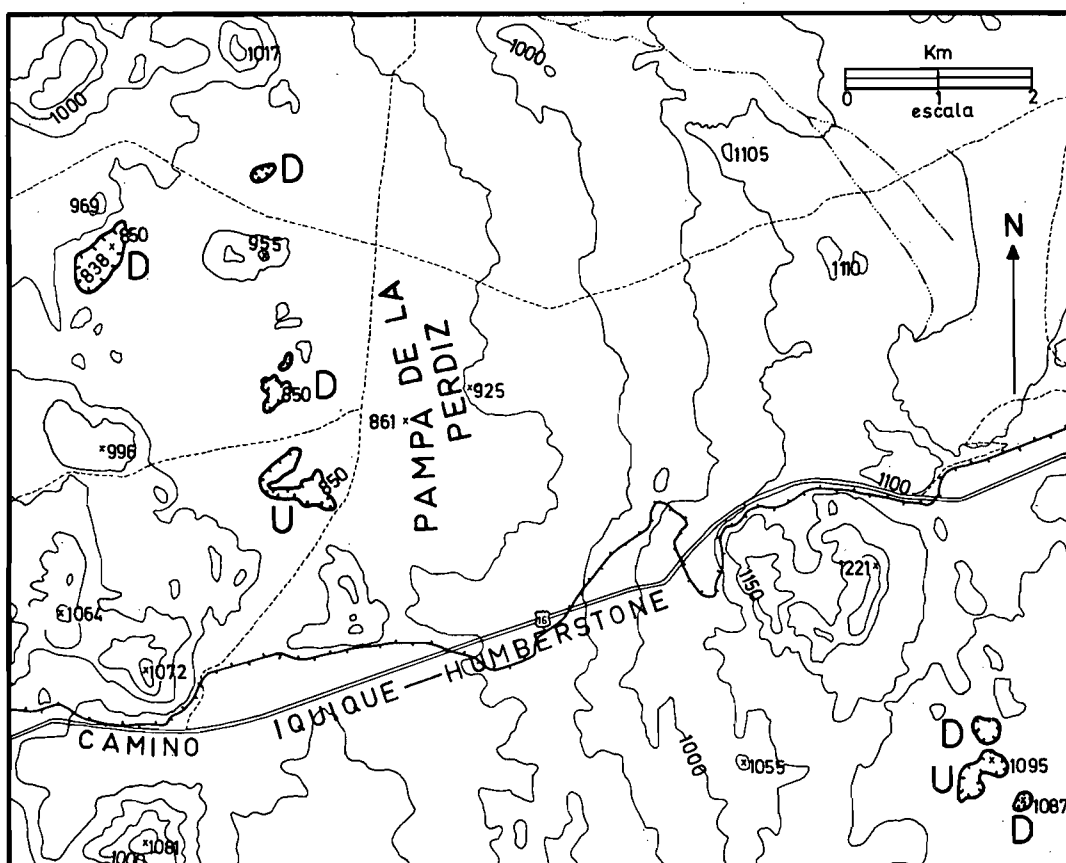


Fig. 8. A unos 30 kms. hacia el E de Iquique: Dolinas (D) y uvalas (U). (Mapa Inst. Geogr. Mil.).

3.2.4. El Godo al SE de Iquique: Se observan restos de dolinas en los márgenes de las uvalas, muy nítidos (fig. 9). Es aquí donde el autor empezó a sospechar un paisaje cárstico "fósil". Aparentan en parte haberse formado según líneas de fracturas; podría ser también que un levantamiento geológico tan fino aquí (inédito) haya puesto en evidencia fallas muy pequeñas, que en otras partes no fueron detectadas con el mismo detalle.

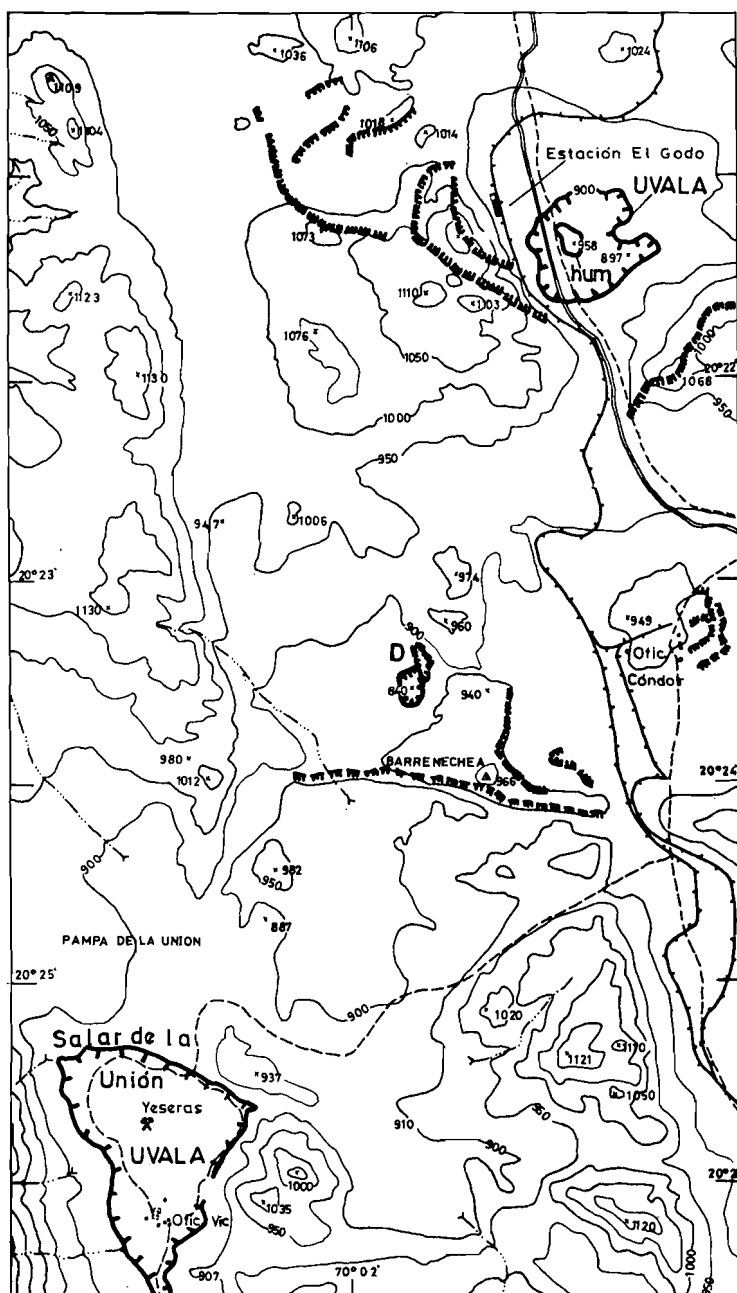


Fig. 9. Area Estación FF.CC. El Godo; a unos 20 kms. al SE de Iquique: D=Dolina (Mapa Inst. Geogr. Mil).

3.2.5. Entre Chichu y Calama: NARANJO & PASKOFF (1981) mencionan la presencia de dolinas en la Formación El Loa, caldrea. Aquí se reproduce en tinta china la foto N°4 de los mencionados autores (fig. 10).

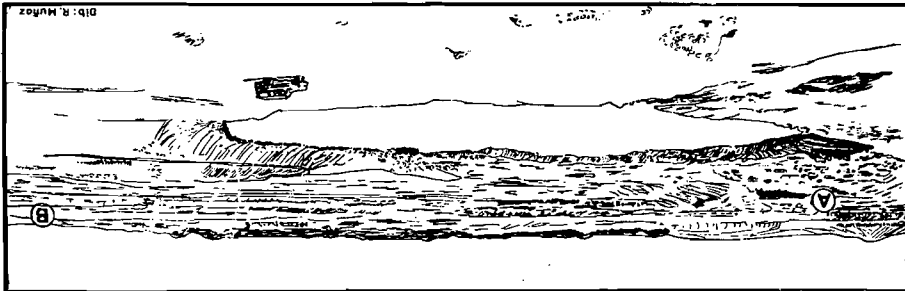


Fig. 10. Al este de Chichu, Calama, Antofagasta, II Región. La dolina (laguna de Chichu) se formó por corrosión de la Formación El Loa (B), la cual se encuentra por debajo de limos y arcillas (A) de la Formación Chichu (de Naranjo y Paskoff, 1981).

3.2.6. Salar Agua Caliente III: (en los Andes Atacameños) VILA (1974) foto 14) presenta una foto de un verdadero "sink-hole" de 30 cm. de diámetro en costra sulfatada. Se produce aquí, en tinta china la foto del Sr. Vila (fig. 11).

Habría sido de importancia económica el estudio de un pozo, en el Salar de Pedernales, a una cuadra al sur de la famosa manifestación petrolífera. Este pozo tiene dos metros de diámetro y está lleno de agua fría, salada sulfatada y limpia, sin tener alguna manifestación de hidrocarburos. Estas, pocos metros al norte, son muy superficiales, y las presuntas capas asfálticas del Lías, son carbonosas. El presente autor observó estos hechos con varios geólogos de ENAP en 1959 (F. García y M. Marino) y estima la manifestación de Pedernales como una burla o fraude (CECIONI, en prensa).

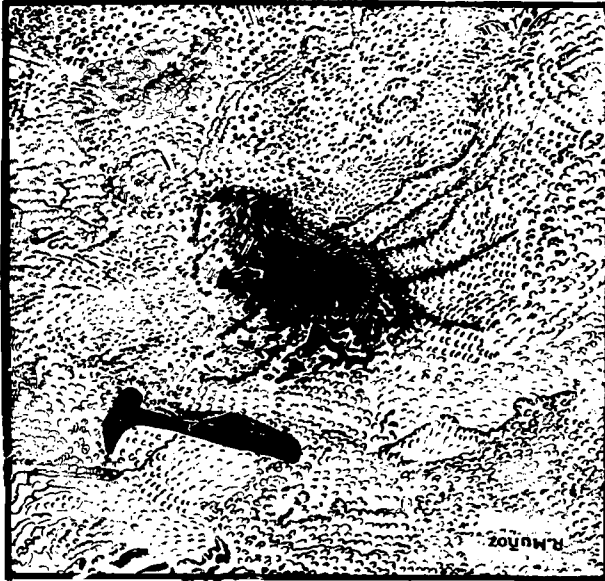


Fig. 11. Salar de Agua Caliente III. Sumidero de disolución en costra sulfatada. Nótese la estructura concrecionada de la costra debido a la capilaridad. Esta costra semeja mucho al famoso "Hortstein" de África Oriental (foto de T. Vila).

3.2.7. Cordilleras de Santiago: LLIBOUTRY (1956: 421) escribe que en el Valle del Yeso al E de Santiago, "hay una morrena muy rica en yeso con su pequeño aspecto cárstico típico (una curiosa pirámide en medio del valle se debe a un bloque de conglomerado glacial que ha, sin duda, basculado al borde de una dolina)". En el mismo Yeso Principal (empero 30 kms. más hacia el sur), CHARRIER (1981), en el río de Las Leñas, menciona la presencia de una "dolina" como efecto superficial de la disolución de un yeso probablemente subyacente. En realidad se presenta como un hundimiento en aluvión, el cual también podría haberse formado por derretimiento del "hielo muerto" o a compactación diferencial de un eventual lente de turba.

El Prof. Juan Varela me indicó, en fotos aéreas, la presencia de profundos hoyos circulares en el mismo Yeso Principal oxfordiano, y hacia el oriente del Cajón del Maipo. Se habían interpretado como marmitas. Se trata en cambio de numerosas dolinas en yeso, cuya forma es bastante similar a la que el suscrito había observado y fotografiado (CECIONI, 1940) en Ogadén, Somalía; sin embargo no se presentan excepcionales como ésta. En el Cajón del Maipo, hacia al este de estas dolinas hay un inmenso glacis de sal; podría ser anhídrida que pasa a yeso, aumentando ocho veces su volumen inicial; este glacis cubre la parte oriental del campo de dolinas. El presente autor los reconoció y los encontró muy semejantes a los mencionados por TALBOT & ROGER, (1980) en Irán.

Las dolinas observadas y fotografiadas por el Prof. E. Godoy Pirzio-Pirolí están en rosarios, probablemente a lo largo de fracturas al margen de un diapiro de yeso (fig. 12).



Fig. 12. Valle del Yeso, al E de Santiago. Dolina en rosario probablemente según fracturas marginales de un diapiro salino (de una foto del Prof. E. Godoy Pirzio-Pirolí).

Es posible que en el Neuquén Septentrional se tenga otro glacis de sal. Efectivamente, LEANZA & ZOLLNER (1949) citan una "brecha que llama la atención (por ser) constituida por fragmentos completamente angulosos de yeso, dolomita, pocos esquistos y caliza dolomítica. Se trata de una brecha típicamente endógena causada por elaboración marina. Hay perturbaciones pequeñas, en el mismo arroyo Chacai-Melehue que ni siquiera cobran el carácter de verdadera tectónica de sal". Así mismo los citados autores observan deslizamiento de yeso post-glacial.

En la Cordillera de la Costa, área de Navidad (CECIONI, 1980), cerca de Santiago, hay una pequeña gruta (de la Virgen) la cual aparenta ser debida a la corrosión eólica, meteorización diferencial, lavaje pluvial y en parte también por corrosión. Que exista este último fenómeno, ha sido comprobado por un típico planchón de travertino (fig. 13). A unos 12 kms. al sur de Rosario del Solis, existe una cueva muy grande, cuyo origen podría ser similar; hay restos de cerámica prehistórica, encontrado por el Dr. José Frutos y el suscrito, hace 15 años.



Fig. 13. Gruta de la Virgen, área de Navidad. La parte alta de la serie está constituida por areniscas calcáreas. En alto, a la izquierda una plancha superficial de Travertino. La parte central oscura es una costra de mangenoso; inmediatamente debajo está el miembro 3, conglomerado fosilífero. Poco más arriba de la estatua hay areniscas amarillentas con concreciones y estratificación cruzada y de pro-delta, la cual, cerca de la cruz, tiene hojas (foto del Sr. Carlos García Human).

3.2.8. Archipiélago: Hay sumideros que inyectan agua en los antros amplios con exigua producción de estalagmitas o, mejor, de paredes revocadas, como en Guarello. En la base de estos antros se abren galerías horizontales (como al Oeste de la Oficina Aragón) y que están unos pocos metros arriba del nivel de base marino. El nivel frético tiene que estar muy poco por debajo de estas galerías, cuyo piso tiene generalmente charcos de agua cuando hay fuertes lluvias, ya que la permeabilidad cárstica no alcanza a eliminarla rápidamente. Las grandes cavernas de donde se extrae la caliza para la CAP son en parte de origen natural y en parte artificiales o ensanchadas. Se comprueba esto porque hay (o entonces había, 1952-1953) unos cuantos sumideros abiertos en el techo, y por alguno de estos, es posible observar el cielo. También aquí, al contacto de caliza con otras rocas, se puede apreciar los mencionados almiros. Las dolinas se encuentran donde no hay vegetación y en caliza aparentemente horizontal; estamos en la Formación Pelantaro. Las dolinas se presentan planas, amplias, poco profundas y sin sumideros. Obsérvese la parte derecha de la foto 6 del Dr. W. Biese, (1957) aquí reproducida en la fig. 3.

3.2.9. Conclusiones: Las dolinas más clásicas se encuentran completa y esporádicamente en Pampa de la Perdiz, al resguardo de los vientos del Oeste. Son de tipo sink-hole anchos con planos poco profundos y sin aparente sumidero. Hacia el Norte estas dolinas se encuentran sobrepuestas y desventradas, produciendo cañadones en saltos. Todavía más hacia el norte el fenómeno cárstico se apaga al llegar a las lavas brechosas de las Formaciones La Negra y Cuya (GARCÍA 1967). En el archipiélago se sospecha que el fenómeno cárstico se interrumpe donde las aguas ácidas llegan al nivel del mar en la costa; en el interior no hay observaciones, especialmente relacionadas con las antiguas líneas de costa. Los llanos intramontanos del Norte, rodeados por dolinas tal vez podrían llamarse ljust según ROVERETO 1923). Los de El Godó aparentan haberse formado de líneas de dolinas desventradas a lo largo de áreas de menor resistencia, a causa de las numerosas fallas radiales; estas son debidas al emplazamiento del granito que se encuentra en la parte sur de El Godó. Esta área fue levantada con un detalle excepcional a 1: 20.000 con alidada telescópica; el mismo origen puede ser la causa del karst hacia el norte, donde el levantamiento no fue tan detallado. La única indicación de un sink-hole en costra sulfatada ha sido señalada por Tomas Vila. Este hecho es concomitante con el basculamiento reciente de todos los Salares Atacameños (VILA, 1974; CECIONI, 1978). Es de importancia económica el sink-hole en el salar de Pedernales. Extensos campos de dolinas se encuentran desarrollados en el Yeso Principal de los Andes Principales en el área de Santiago, acompañados por sobrepuestos glacis salinos.

3.3. UVALA

Son un conjunto de dolinas en contacto coalescentes una con otra y con paredes parcialmente eliminadas; tienen un fondo en común; dificultosa es la distinción entre uvala y ljust; estos últimos parecen tener los fondos de dolinas a altura muy distinta y escalonada.

3.3.1. Area entre Iquique y Pisagua: Probablemente son ljust los cañadones escalonados entre Caleta Buena y Punta Mejillones que el autor reconoció desde el mar, y presentó en su informe a ENAP (CECIONI, 1958, inédito). El viaje se efectuó con el Cutter "Albacora" del Hotel Prat de Iquique. Esta área, de difícil acceso por tierra, tendrá que ser estudiada con detalles; se sospecha la presencia de Valles Ciegos (Blind Valleys). Se puede consultar el mapa Caleta Buena, 1: 50.000, Instituto Geográfico Militar, 1977. En Pampa de la Perdiz se observan típicas dolinas y uvalas (fig. 14).

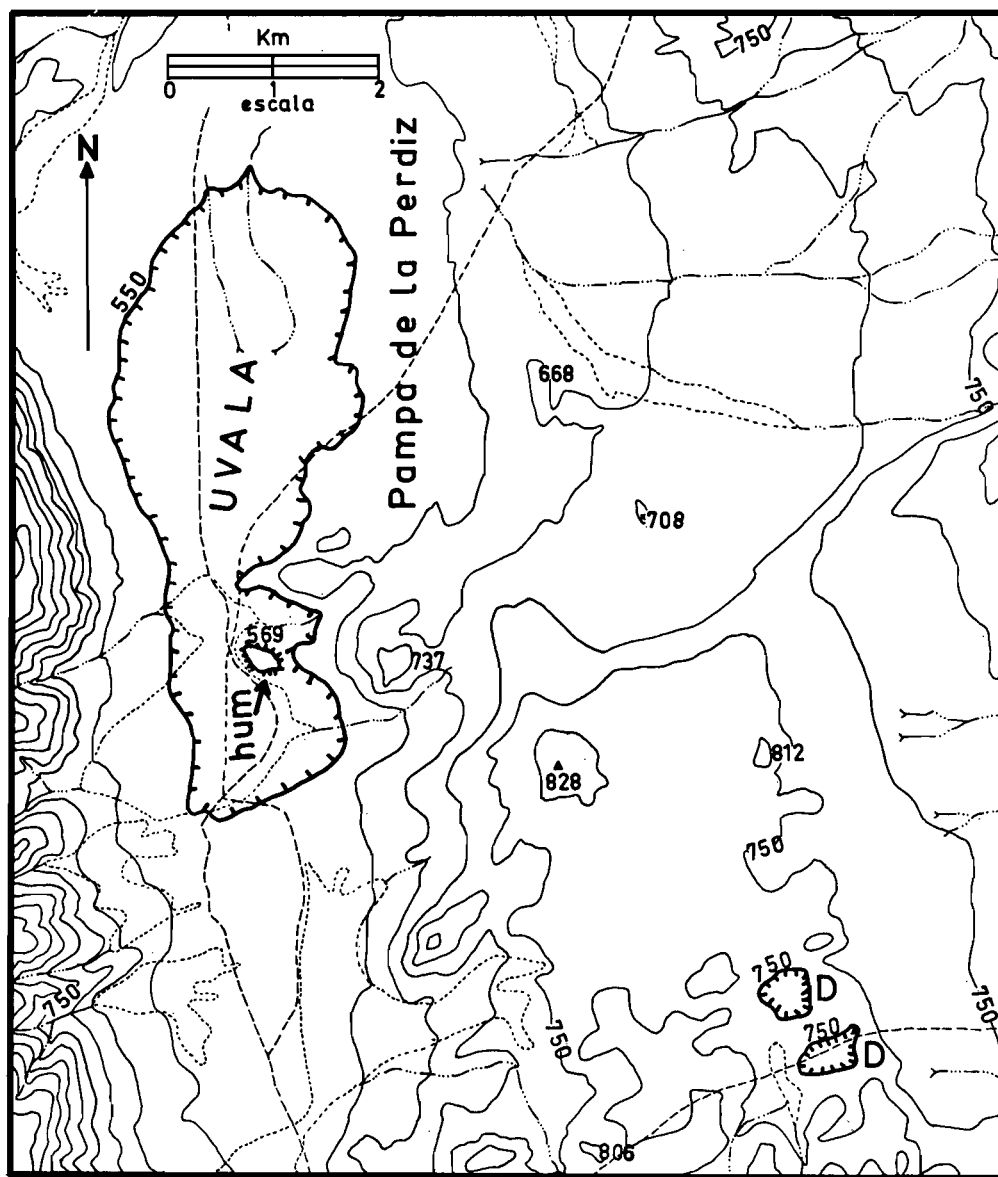


Fig. 14. Pampa de la Perdiz, 15 kms al NNE de Iquique. Dolinas típicas a la derecha (D); uvala al norte con un "hum". Mapa Inst. Geogr. Mil., Iquique, 1:50.000 1977.

3.3.2. Cuencas intramontanas al Norte de Iquique: Hacia el Este de los presuntos ljust, anteriormente mencionados, se presentan algunas cuencas cerradas que aparentan ser uvalas, tal vez más grandes de lo que se presentan en el mapa geológico, porque en el umbral entre uvala y uvala hay todavía restos de afloramientos de rocas jurásicas. En esta área lo que maravilla es el arresto rápido del fenómeno cárstico en profundidad debido a las lavas, según levantamiento especialmente del amigo y colega Floreal García en los años 1957-1958. La corrosión y la disolución especialmente del yeso y salitre permite la formación de galerías laterales, subhorizontales como la que atraviesa el Cerro Aragón en la cercanía de Zapiga. Hay que mencionar que si las brechas volcánicas localmente son de poco espesor, y por debajo hay calizas, aquí se forman dolinas topográficamente más bajas que hacen derrúmbar las brechas sobreyacentes que tienen permeabilidad secundaria.

3.3.3. Cuencas intramontanas al SE de Iquique (área El Godo): Esta área fue levantada por el suscrito en 1958, a la escala 1: 20.000 entre el Salar La Unión y Mina Sta. Rosa. Este estudio geológico puso en evidencia muchas pequeñas fallas que forman cuñas, y grandes fallas E-W y N-S. En las primeras los bloques sur están desplazados hacia el W, y las N-S se disponen formando pequeños anticlinales con cierre hacia el N y abiertos hacia el S. El Bajociano es arcilloso (flysch), el Batoniano está representado por brechas andesíticas, el Caloviano y el Oxfordiano son calcáreos. Las estructuras mencionadas son muy favorables al fenómeno cárstico, a lo largo de los ejes calcáreos de los anticlinales. El Salar de La Unión aparenta ser uvala o polja, que se cierra hacia el S en brechas andesíticas y granito.

Hacia el E de la estación del FF.CC. El Godo (fig. 9) existe una depresión en caliza y cuyo plano es una brecha andesítica. Esta depresión es una uvala típica con una lomita (hum) en el medio. Una dolina está al N del vértice Barrechea. Esto es visible también en el mapa 1: 50.000 del Instituto Geográfico Militar, 1977. Sin embargo, en el plano geológico del suscrito aparecen otras depresiones comparables a uvalas. Una vez que el suscrito publique el mapa geológico de esta área, será de gran valor un estudio geomórfico de esta región tan interesante.

3.3.4. Archipiélago Patagónico: No hay ninguna observación buena; los cerros se presentan muy recortados y a pique. Sin embargo, BIESE (1957 p. 129, fig. 6) fotografió un conjunto mínimo de dos dolinas anchas y muy bajas, pero algo unidas las cuales parecen indicar el comienzo de la formación de una uvala chata, según el presente autor; efectivamente Biese no reconoció estas formas; su foto, pasada a tinta china, a sido reproducida en nuestra fig. 3. Esta estructura se encuentra en el "marmo ordinario" de la Formación Cerro Pelantaro, donde personal técnico, sin ningún conocimiento de la extracción de bloques de marmol usó cargas de dinamita por kgs, cuando normalmente se usa un cuarto de cartucho y cuñas de madera mojada. El resultado económico fue evidentemente un desastre. Se necesitará ir allá con marmolista proveectos.

3.4. POLJAS

Estas formas cársticas fueron definidas por CVIJJIC (1893) como unión de uvalas. Polja quiere decir valle con fondo en U; en realidad se trata de campos cultivados en valles excavados en un distrito calcáreo. De este llano sobresalen unas jorobas pequeñas calcáreas, llamadas hum. Si no fuera por el cultivo en efecto se llamarían uvalas; sin embargo se siguen llamando polja según VON ENGELN (1942) cuando el llano inferior aluvional tiene una superficie superior a 100 mi-

llas cuadradas. El presente autor no acepta definiciones donde se aplica un "grande y pequeño". Siempre dejando a fuera la definición con cultivos intensos, muy humana, DE MARTONNE (1932-34) escribe que en Macedonia los que allí llaman polja son cuencas cerradas interiores en ambiente calcáreo, genéticamente representando graben (cfr, también DERRUAU, 1966; y VON ENGELN, 1942).

El que suscribe estima oportuno aceptar la definición original de Cvijic (valles ciegos con drenaje cerrado y agricultura), añadiendo el concepto de Von Engeln, es decir con paredes verticales y, el de ROVERETO (1923) con colmatación aluvional; hay que tener presente que las "lluvias ácidas" se transforman en "alcalinas" en las poljas.

3.4.1. Area Iquique Pisagua: Las numerosas búsquedas efectuadas con los amigos Floreal García y Mario Marino en las uvalas entre Iquique y Caleta Buena, no pusieron en evidencia que estos llanos intramontanos hubiesen sido cultivados en el pasado. Antiguos y numerosos restos de cultivos fueron encontrados por los mismos geólogos muy hacia el oriente y extensos por 100 km en el sentido N-S. En el margen de una uvala cerca de Zapiga, se encontró un amplio campamento indio, al parecer lugar de descanso de las caravanas que transportaban pescados, guano y tierra salitrosa hacia el interior. Al parecer, entonces, había un charco de agua. El carbón recogido fue datado por GEOCHRON y arrojó una edad reciente: más o menos 320 d. C.

Al aceptar la definición de De Martonne (depresión tectónica en ambiente calcáreo), algunas depresiones del Norte Grande podrían ser interpretadas por poljas, especialmente entre Pampa de la Perdiz y Dolores. Es un atractivo programa en el futuro, especialmente el estudio de las depresiones al SW de Negreiros y al W de Zapiga.

De la literatura citada se desprende que la base de las poljas es el techo de la napa freática y cerca del nivel de base local; este será un concepto rector en los estudios futuros.

3.4.2. Polja El Godo: El Salar de La Unión (Yesera), área El Godo, en vez de ser una uvala podría ser una polja rellenada, no por aluviones, si no por gran cantidad de yeso solubilidad aumenta de 2,5 a 3,5 veces la normal en presencia de cantidades variables de NaCl.

3.4.3. Conclusiones: No tenemos definiciones aceptables de los poljas, ni prueba de terreno de que estos, de una manera u otra, podrían estar en Chile, a pesar de la sospecha presentada por ROVERETO (1923), en relación a los salares de la Puna.

3.5. FILTRACIONES

Las calizas, aunque superficialmente aparezcan no afectadas por corrosión, en general presentan microcarst actual o pasado.

3.5.1. La caliza de la Formación El Loa: En la terminación meridional de la Pampa Tamarugal, es aparentemente masiva; sin embargo, hay pruebas de que está afectada por un microcarst del cual las aguas filtran transportando sales de arsénico y uranio, nocivos para el hombre. Efectivamente NARANJO y PASKOFF (1981) reconocieron que el fenómeno es actualmente activo.

3.5.2. En la Provincia de Ultima Esperanza: Fué excavado un canal de desagüe

en la década del 40. Fue una tentativa de conectar el río de Las Chinas con el Lago Toro, según la distancia menor de 400 metros. Cuando el río de Las Chinas tiene una crecida, su desembocadero natural (de tipo deltaico) frente a La Península, se inunda con graves pérdidas agropecuarias.

Al excavar el canal, el espesor de los aluviones disminuyó mucho y, en partes, empezó a aflorar el miembro calcáreo-margoso de la Formación Cerro Toro (CECIONI 1957); este miembro está afectado por microcarst, y las aguas del río de Las Chinas, al entrar en el canal artificial, se infiltran inmediatamente en las calizas. No sólo el canal por efecto del fenómeno cárstico nunca funcionó, sino que, por impericia, abastece de agua, paradójicamente, la Pampa Argentina; en efecto la Formación Cerro Toro está inclinada hacia el Este, es decir, bajo el Cerro Cazador, en la cumbre del cual pasa el límite internacional Argentina-Chile.

3.5.3. Conclusiones: La falta de geólogos, de geomorfólogos y de geógrafos físicos en Chile significó en el pasado ciertas pérdidas para la nación. Se considera que el fenómeno cárstico no tiene sólo un aspecto académico sino económico en lo que se refiere a salud, construcciones, agricultura y planificación urbana.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

También por el incremento de CO_2 en la atmósfera del 8%, en los últimos 25 años (BRYAN et al., 1982), las "lluvias ácidas" se pondrán todavía más activas; se registrará así en el futuro un mayor desarrollo del fenómeno cárstico en el archipiélago, y, de forma críptica, en la Cordillera de la Costa Atacameña. Los karren se encuentran generalmente en la ladera este de la mencionada cordillera, donde son de pequeño a tamaño medio. Contrariamente, en las calizas del archipiélago son enormes. Al norte tenemos el desierto más seco del planeta; en el archipiélago una de las muchas regiones más lluviosas, con precipitaciones continuas y con vientos a menudo impetuosos, prácticamente durante todo el verano. Aquí escasean las dolinas, y las uvalas son contadas, mientras que aparentan estar presentes antros y cavernas horizontales, algo arriba del nivel de base marino, bastante variable. En el Norte Grande, antros y cavernas escasean, y la altura de ellos varía entre 1 y 3 metros; sin embargo allí abundan uvalas, habiendo sido desventradas en su mayoría las dolinas, de las cuales, unas pocas representan reliquias. Al norte, seco y con dunas, el fenómeno cárstico constituye un paisaje típico, camuflado posteriormente por la "fisión desértica": el alejamiento entre sí (y separación) de los diferentes minerales, por su diverso calórico específico y dilatación térmica diferencial, según los ejes cristalográficos.

Se trata entonces de un paisaje cárstico "fósil", y su desarrollo tiene que haber declinado desde el óptimo climático hace 5.000 años, cuando en la Pampa del Tamarugal llovía, había bosque, así como inmensos campos labrados con maíz; luego los indios tuvieron que construir canales de regadío en la pampa, de los cuales uno es todavía visible y llega desde el oriente de la Pampa del Tamarugal hasta el importante centro arqueológico de Aragón, en el comienzo del camino que lleva a Pisagua. Posteriormente los vientos cubrieron parcialmente de arena este canal, el cual todavía hoy ha sido observado por Floreal García y el suscrito; su profundidad no es mayor de 30 cms.

En el desierto de Atacama se dieron hace tiempo, las condiciones más favorable para el desarrollo del fenómeno cárstico. Este empezó desde la costa

debido a la mayor pluvialidad, y avanzó hacia el oriente, donde su desarrollo horizontal terminó por factores climáticos; sin embargo el presente autor tiene datos ulteriores, inéditos y de carácter confidencial, como para pensar de que el fenómeno cárstico allá sigue por debajo, en calizas bastantes puras, las cuales manteen normalmente hacia el norte.

En el archipiélago calcáreo el fenómeno cárstico parece haber empezado en el Pleistoceno; las antiguas líneas de costa han sido recortadas recientemente y la corrosión se acentúa todavía más por la excesiva penetración de las "lluvias ácidas", a través de esta caliza sumamente pura, marmórea, pero no fina, ni sacaroide; en los famosos mármoles estatuarios, ahora escasísimos, de Carrara y de Paros, nunca tuvo lugar el fenómeno cárstico; empero sí, por disolución, en las estatuas entalladas en alabastro, por los etruscos, las cuales efectivamente fueron dejadas a la intemperie.

Como muy a menudo termina un estudio, la moraleja de éste no es aquí retórica: es necesario hacer presente que el fenómeno cárstico en Chile es desconocido y que no podrá ser estudiado bien sino es acompañado por estudio geológico, siendo muchos de sus productos el resultado de una actividad también pasada.

5. AGRADECIMIENTOS

El autor agradece la colaboración de los colegas y amigos Raúl Campillo, Arnoldo Ortiz y Clemente Sepúlveda. Los dos primeros pusieron a disposición del autor, fotos de satélite en falso color 1: 250.000; el tercero por su dedicación y sugerencias en la interpretación de la foto mencionada. Esto no excluye que la responsabilidad de la forma y del contenido sea del presente autor. El autor desea agradecer también al colega Leopoldo López por sus sugerencias sobre el quimismo del fenómeno. Se agradece al Sr. Ricardo Muñoz por la perfección técnica y artística de los dibujos. Es necesario aquí agradecer, de una manera especial la generosa ayuda económica proporcionada por la entonces Sociedad Anglo-Lautaro, y por el amigo Luis de Urruticoechea, de Iquique. La Srta. M. Bornand transcribió con cuidado el manuscrito.

6. BIBLIOGRAFIA

- BIESE, W. 1945. Informe geológico sobre los yacimientos de caliza y mármoles de la Isla Diego de Almagro (inédito).
- BIESE, W. 1950. Travertino y mármol, una nueva industria en Chile. *Bol. Minero*. (598): 89-99.
- BIESE, W. 1956. Über Karstvorkommen in Chile. *Die Hohle*, 7 Jahrg. : 91-96.
- BIESE, W. 1957. Auf der Marmor-Insel Diego de Almagro (Chile). *Natur und Volk*. 87 (4) : 123-132.
- BRYAN, D., F. G. KONRO, S. MANABE, & M. J. SPELMAN. 1982. Transient climate response to increasing atmospheric carbon dioxide. *Science*. 215 (4528): 52.
- CECIONI, G. 1939. I cedimenti come nuovo aspetto carsico. *Atti Soc. Tosc. Sc. Nat., Memorie*, 48 : 12.
- CECIONI, G. 1940. La Buca del Mullah. *R. delle Colonie* Vol. gennaio : 41-48.
- CECIONI, G. 1955. Prime notizie sopra l'esistenza del Paleozoico Superiore n° I' Archipelago Patagonico tra i paralleli 50° e 52° sur. *Atti Soc. Tosc. Scien. Nat., Memorie*. 48 Serie A : 201-224.

- CECIONI, G. 1957. Geología del Area al Sur de Iquique (inédito) ENAP.
- CECIONI, G. 1957. Cretaceous flysch and molasse in Departamento Ultima Esperanza, Magallanes Province, Chile. *Am. Ass. Petrol. Geol. Bull.* 41 (3): 538-564.
- CECIONI, G. 1958. Observaciones geológicas a lo largo de la costa entre Iquique y Arica con el cutter Albacora. Mapa geológico 1:250.000. ENAP, Inédito.
- CECIONI, G. 1978. Observaciones geomorfológicas en Ultima Esperanza y consideraciones sobre la elasticidad de la corteza terrestre. *Inform. geogr. Chile.* (25) : 3-20.
- CECIONI, G. 1980. Darwin's Navidad Embayment, Santiago Región, Chile, as a Model of the Southeastern Pacific Shelf. *Petroleum Geol.* 2 (3): 309-321.
- CECIONI, G. (en prensa). Chile, oil off limit area. In: E.N. Tiratsoo (ed): World oil and gas Prospects 1980-2000: 36 *The Scientific Press Ltd.* Beaconsfield, England.
- CECIONI, G. & F. GARCIA. 1960. Stratigraphy of Coastal Range in Tarapaca Province, Chile. *Am. Ass. Petrol. Geol. Bull.* 44 (19): 1609-1620.
- CVIJIC, J. 1893. Das karst Phänomen. *Geol. Abh.* 5: 217-330 (según Rovereto).
- CHARRIER, R. 1981. Geologie der chilenischen Hauptcordillere zwischen 34° und 34°30' Südlicher Breite und ihre tektonische, magmatische und paläogeographische Entwicklung. *Berliner geowiss. Abh. (A).* Berlín.
- DE MARTONNE, E. & L. AUFRERE. 1928. L'extension des regions privées d'écoulement vers l'océan. *Unión Geograph. Internat. Publ.* N°3,, *Presse Universitaire*, París Saint-Amand.
- DE MARTONNE, E. 1932-34. *Traité de Géographie Physique.* Vol. 3 *Librairie A. Colin.* París.
- DERRUAU, M. 1966. Geomorfología. *Ed. Ariel*, Barcelona.
- DOUGLAS, R. C. & M. K. MESTEEL. 1976. Late Paleozoic Foraminifera from Southern Chile. *U. S. Geol. Surv. Prof. Paper* N°858. Washington.
- ENGELN (Von) 1956. Geomorphology, Sistematic and Regional. *Mac Millan.* N.Y.
- GARCIA, F. 1967. Geología del Norte Grande de Chile. *Soc. Geol. de Chile y ENAP.* : 138. Santiago de Chile.
- LEANZA, A. & W. ZOLLNER, 1949. Acerca de la edad del "Yeso Principal" y su composición litológica. *R. As. Geol. Arg.* 4: 25-35.
- LLIBOUTRY, L. 1956. Nieves y glaciares de Chile. *Fundamentos de Glaciología.* *Ed. Univers. de Chile.* Stgo.
- MEYERHOFF, A. & C. TEICHERT, 1971. Continental drift. *Journ. of Geol.* 79 (3): 285-321.
- NARANJO, J. & R. PASKOFF, 1981. Estratigrafía de los depósitos cenozoicos de la región de Chiuchiu-Calama, Desierto de Atacama. *Rev. Geol. de Chile.* (13-14) : 79-85.
- ROVERETO, G. 1923. *Trattato di Geologia Morfologica*, Vol. II. *Ed. U. Hoepli.* Milano.
- SCHNEIDER, D. W. 1981. Sulfur dioxide emissions. *Science.* 214 (4524): 1074.
- TALBOT, C. & E. ROGER, 1980. Seasonal Movements in a Salt Glaciers in Iran. *Science.* 208 (4442): 395-397.
- THORNBURY, W. D. 1966. Principios de Geomorfología, II ed. *Collacx ed.* Bs.As.
- VILA, T. 1974. Geología y Geoquímica de los salares Andinos, Provincia de Antofagasta. (memoria inédita).