

HIDROLOGIA DE LA CUENCA DEL ACONCAGUA. SELECCION DE EJEMPLOS

por T. WILGAT, A. KOSIK, K. WOJCIRCHOWSKI

INTRODUCCION

La expedición de la Sociedad Polaca de Geografía, realizada en 1965-66 a bordo del yate "Smialy", tuvo entre otros objetivos, el de realizar investigaciones hidrográficas en Chile (1). De común acuerdo con el Sr. Rómulo Santana Aguilar, entonces Director del Instituto de Geografía de la Universidad de Chile en Santiago, escogimos el río Aconcagua como objeto de dichas investigaciones.

Los antecedentes hidrométricos indispensables nos fueron proporcionados por ENDESA y por el Departamento de Riego del Ministerio de OO. PP. Sin embargo, dichos antecedentes no caracterizaban todos los aspectos de la circulación del agua y eran insuficientes para explicar las condiciones hidrográficas. La investigación sobre el terreno resultaba entonces indispensable. Para ello aplicamos un método de investigación elaborado en Polonia que analiza las condiciones geográfico-hidroológicas a partir de levantamientos hidrográficos detallados (2). Este método se basa en el estudio de los fenómenos y en su variabi-

(1) Nuestras investigaciones encontraron un franco interés de las autoridades y de las instituciones científicas chilenas. Esta primera publicación basada en los materiales reunidos durante nuestra estada en Chile nos brinda la oportunidad de expresar nuestra profunda gratitud a todos aquellos que nos ayudaron. Quisiéramos expresar nuestro particular reconocimiento al Dr. Rómulo Santana Aguilar, entonces Director del Instituto de Geografía de la Universidad de Chile en Santiago por la cordialidad con que nos acogió y por los contactos que pudo lograrlos. Al Gral. Tomás Opazo Santander, Director del Instituto Geográfico Militar, quien nos proporcionó un precioso material cartográfico. Al Sr. Augusto Matte, Jefe de la Sección Hidrología de ENDESA, y al Sr. Enrique García, del Ministerio de OO. PP. que nos proporcionó informaciones hidrométricas. Vaya también nuestro reconocimiento a la Dirección de la Escuela de Alta Montaña que nos prestó una inestimable ayuda para acceder a los difíciles rincones de la Cordillera Andina.

(2) Instrucciones concernientes a la elaboración de una Carta Hidrográfica de Polonia 1:50.000. Warszawa, 1964.

lidad en el tiempo y en el espacio, en el contexto de todos los elementos que constituyen el medio geográfico. Dicho procedimiento permite precisar el papel del agua en el medio y sacar conclusiones prácticas para una economía racional del agua, capaz de eliminar cambios indeseables en el medio natural.

En lo que concierne al Valle del Aconcagua, no fue posible utilizar el método del levantamiento hidrográfico detallado. La cuenca tiene una extensión importante (7.222 Km²) (3) con un relieve muy contrastado. Los terrenos de alta montaña carecen de caminos practicables lo que dificulta aún más las condiciones de trabajo. Del equipo total cuatro personas realizaron investigaciones de terreno en un breve período (9-v al 7-vi-1966). En esa circunstancia fue necesario modificar el método conservando sus principios fundamentales.

Así, decidimos limitar el área de investigaciones sobre el terreno a la zona de la alta montaña que constituye el sector que alimenta de agua a la cuenca. En la parte central de ella sólo hicimos observaciones en áreas escogidas y en la parte inferior debimos conformarnos con una revisión muy rápida. En el sector de alta montaña, en lugar de utilizar el método espacial que se había adoptado en Polonia, pusimos en práctica el método de investigación a lo largo de un itinerario. Allí donde la configuración del terreno lo permitía (zona de la alta montaña y sobre caminos al interior mismo de la montaña) nos servimos de un vehículo capaz de trabajar en cualquier terreno. Pero a menudo tuvimos necesidad de recurrir a caballos y mulares para transportarnos.

La carencia de cartas detalladas constituyó una gran dificultad. Para una parte de nuestro territorio de investigación existe una carta hipsométrica, en colores, a escala 1:100.000 y otra en blanco y negro a 1:25.000. Los terrenos situados al W del meridiano 70°30' carecen de cartas topográficas recientes. Una antigua carta 1:10.000 en blanco y negro presenta el relieve y la localización de manera imprecisa e incluso errónea.

Para nuestras investigaciones obtuvimos del Instituto Geográfico Militar en Santiago, toda la cartografía necesaria. Igualmente nos premunimos de fotografías aéreas para la parte alta y media de la cuenca.

Trabajamos en parejas, pero en el sector alto de la cuenca tuvimos que recurrir a guías debido a las dificultades del terreno y a la carencia de cartas.

Nuestra labor consistía en registrar todos los fenómenos hidrográficos encontrados y observar las condiciones en que se producían. Se anotaban los lugares en que afloraban a la superficie las aguas subterráneas, el carácter de la fuente, determinando, en la medida de lo posible, su gasto aproximado. De igual manera se registraban todos los afluentes de los ríos cuyos recorridos seguíamos. En la confluencia de dos ríos de igual importancia relativa en cuanto a su gasto, procedíamos a realizar mediciones con el fin de establecer la categoría de los cursos de aguas respectivos en el sistema fluvial estudiado. Nos interesaba tam-

(3) Medidas personales.

bién distinguir los cursos de agua permanentes de aquellos que eran temporales, hecho que estuvo facilitado por ser fin de estación: después de un largo período de sequía todos los cursos de agua no permanentes carecían de agua. Tuvimos igualmente en consideración el carácter de los lechos fluviales y de los valles al igual que los rasgos de toda acción generada por las aguas corrientes. Nos esforzamos también en seguir de cerca las condiciones de la infiltración y del escurrimiento superficial y, en consecuencia, el carácter de las rocas y de los productos de meteorización situados en el fondo de los valles, la vegetación y el grado de consolidación de las laderas. En las partes inferiores de la cuenca, donde se observa la influencia del hombre sobre las condiciones hidrográficas, tratamos de establecer las relaciones mutuas que existen entre la utilización del agua y las condiciones hidrográficas. En relación con esto registramos todas las instalaciones hidráulicas y realizamos una encuesta entre los usuarios del agua y los especialistas en el aprovechamiento del agua.

Los materiales reunidos están llamados a lograr una mejor apreciación sobre el papel de los factores que influyen en la circulación del agua. Estos factores están relacionados con los terrenos de la cuenca y dependen de las formas del relieve, de la estructura geológica, y del tapiz vegetal, pero dependen también de la actividad humana.

La debilidad de nuestros documentos reside en que ellos representan estrechas bandas de terreno a lo largo de nuestros itinerarios. Debido a este procedimiento, importantes sectores de la cuenca no pudieron ser objeto de observaciones directas. A fin de tener una visión sobre el conjunto de la cuenca alta y media, debimos servirnos de las fotografías aéreas. La interpretación de éstas, complementadas con nuestras propias observaciones, constituyen una suerte de extrapolación de las observaciones hechas en el terreno sobre partes que la observación directa no había podido abarcar.

Para apreciar las posibilidades de aprovechamiento de las fotografías aéreas en nuestras investigaciones, procedimos, a título de ensayo, a la interpretación de las fotografías de tres fragmentos de la cuenca (fig. 1). Escogimos sectores diferenciados desde el punto de vista de las condiciones naturales y del grado de valorización económica. Ellos representan tres tipos característicos del medio geográfico del río Aconcagua: la alta montaña, casi intacta desde el punto de vista de la actividad humana; la media montaña, donde el papel del hombre está fuertemente marcado y, por último, la baja montaña considerablemente transformada por la acción antrópica.

Este artículo da una caracterización geográfica e hidrográfica de los terrenos escogidos, apoyados en la interpretación de las fotografías aéreas, en investigaciones parciales realizadas en el terreno y en los antecedentes hidrometeorológicos disponibles. Lo consideramos como un intento de análisis de los factores que modifican las condiciones hidrogeográficas. Juzgamos que esta tentativa era indispensable antes de proceder a la elaboración de un estudio de conjunto

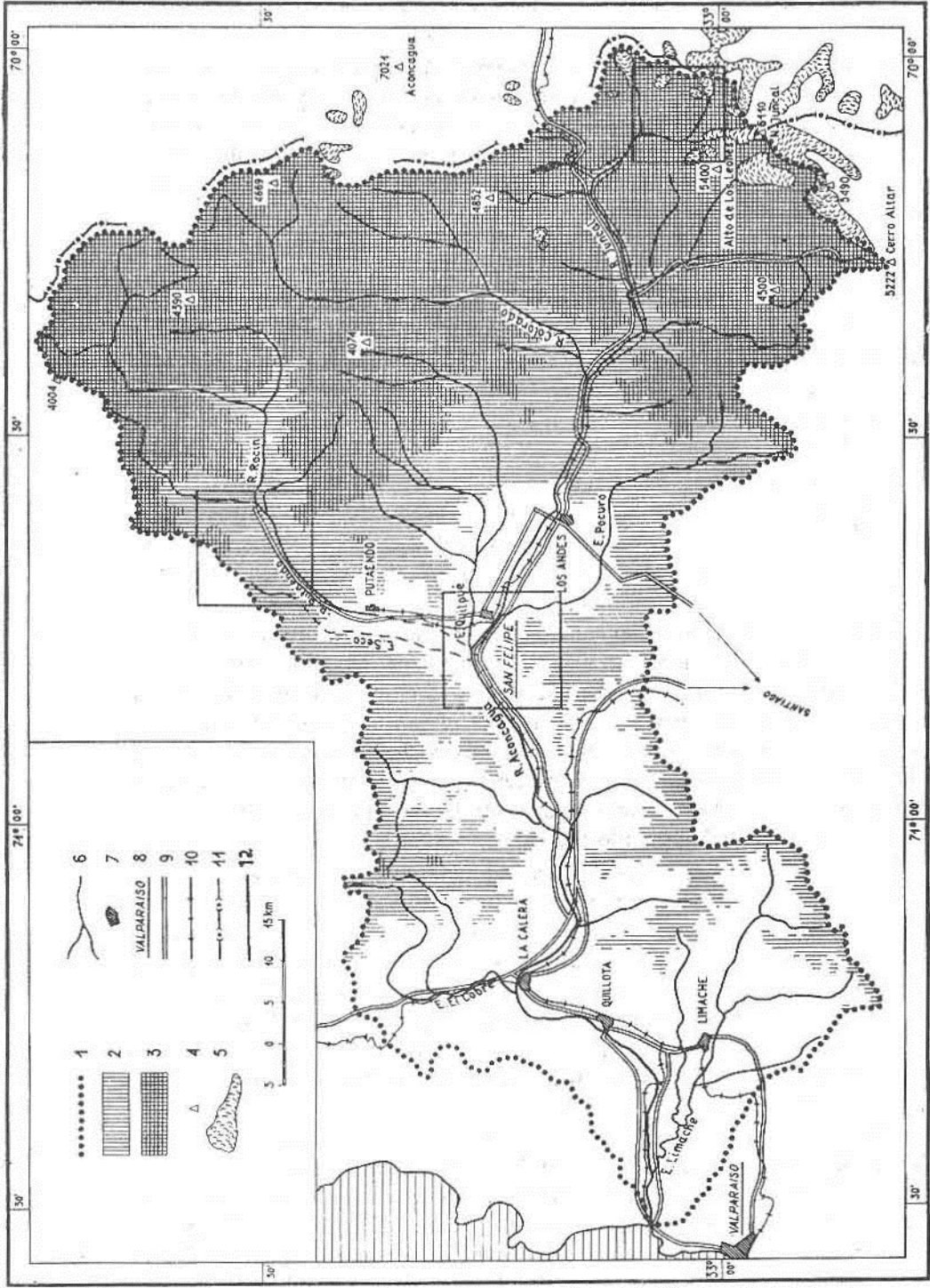


Figura 1

CUENCA DEL RIO ACONCAGUA

1. Línea Divisoria de Aguas.
 2. Terrenos situados sobre 3.000 pies (914 metros).
 3. Terrenos situados sobre 7.000 pies (2.137 metros).
 4. Cumbres (Alturas en Metros).
 5. Glaciares.
 6. Cursos de Aguas.
 7. Ciudades.
 8. Capitales de provincias.
 9. Caminos principales.
 10. Ferrocarriles.
 11. Frontera Internacional.
 12. Arcas descritas en el artículo.

de la cuenca, debido a que, incluso en los trabajos de síntesis que comprenden cuencas muy amplias, la influencia del medio geográfico y las transformaciones producidas por el hombre sobre la circulación del agua, no pueden ser apreciadas convenientemente sino a partir de un análisis detallado de los factores en su diversidad espacial.

Las fotografías aéreas de la parte alta de la cuenca del río Aconcagua datan de enero-marzo de 1955. Fueron tomadas por la U. S. Army Map Service, utilizando cámaras Fairchild T-II, provistos de un objetivo Metragon, de foco $f = 6$. Su escala aproximada es 1:70.000. Al fotografiar el avión volaba a una altura de 10.500 m., aproximadamente (4).

En numerosos lugares las fotografías disponibles tenían un traslapo insuficiente, hecho que dificultaba la fotointerpretación.

El índice $\frac{W}{H}$ (distancias de continuidad con relación a la altura del vuelo) varía entre los límites 0,34 y 1,48. Se utilizó película Kodak Aerographic Safety Film I A pancromática. Para las pruebas que fueron puestas a nuestra disposición se había utilizado papel semimate. El terreno cubierto por las fotografías es de aproximadamente 5.000 km².

Durante el trabajo de interpretación utilizamos el estereótopo SLS-2 (producción P 20) que permite la observación del modelo en tres dimensiones con una ampliación 3,5 x. Adoptando el índice medio $\frac{3}{4}$ como 0,58 a partir de la fórmula de Zorn (5) modificada

$$q = \frac{D}{C} \times \frac{B}{H} \times \frac{260}{E}$$

Se calculó el gasto de ampliación del modelo estereoscópico en 3,2. Conviene subrayar que en lo concerniente a las fotografías aéreas de alta montaña, se observan en algunas fotografías desniveles del orden de 2.800 m., lo que provoca importantes deformaciones.

Las fotografías fueron tomadas en verano y comienzos del otoño. En la región de la alta montaña, casi completamente desprovista de vegetación, la cubierta de nieve y hielo aparece sólo en aquellos lugares no influido por las estaciones. Amplias superficies rocosas que carecen de cubierta nival o de vegetación permiten discernir de manera aceptable los principales elementos de la estructura geológica y del relieve de alta montaña. En lo que respecta a los sectores más bajos (Los Patos y San Felipe), las fotografías fueron tomadas durante la estación seca. Ahí los rasgos de la vegetación y de la explotación agrícola aparecen como un elemento particularmente importante para la información indirecta de las condiciones hidrográficas locales. Las fotografías fueron tomadas

(4) No es posible hacer un análisis completo del traslapo transversal puesto que en el conjunto de fotografías de que dispusimos faltan algunas líneas de vuelo.

hacia mediodía (10,55-11,15 hrs.). El ángulo de incidencia de los rayos solares en verano para la localidad de Juncal es de 67° , Los Patos 50° , San Felipe 75° .

Las sombras no dificultan en gran medida la interpretación de las fotografías en la región de la alta montaña. Estas y las manchas de nieve hacen que las fotografías de la alta montaña presenten marcados contrastes cromáticos. Como las superficies de los tonos constituyen los contrastes extremos, su interpretación se hace difícil en razón del número reducido de detalles registrados o de la imposibilidad de su identificación.

Para las fotografías escogidas, preparamos transparentes de fotointerpretación sirviéndonos del análisis estereoscópico de la imagen. Los elementos de las fotografías, aislados conforme a las leyendas eran trasladados sobre el transparente aplicado a la fotografía.

Los transparentes de la fotointerpretación no constituyen una imagen cartométrica por cuanto conservan todas las deformaciones propias o las fotografías originales. Juzgamos inútil eliminar estas deformaciones en razón que éstas no influyen en la caracterización hidrográfica del terreno. En una segunda etapa del trabajo se buscará obtener, a partir de los documentos de fotointerpretación analítica, una imagen cartométrica, bajo la forma de una carta de conjunto del territorio en cuestión.

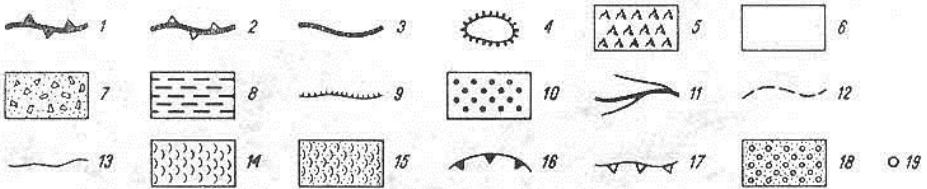
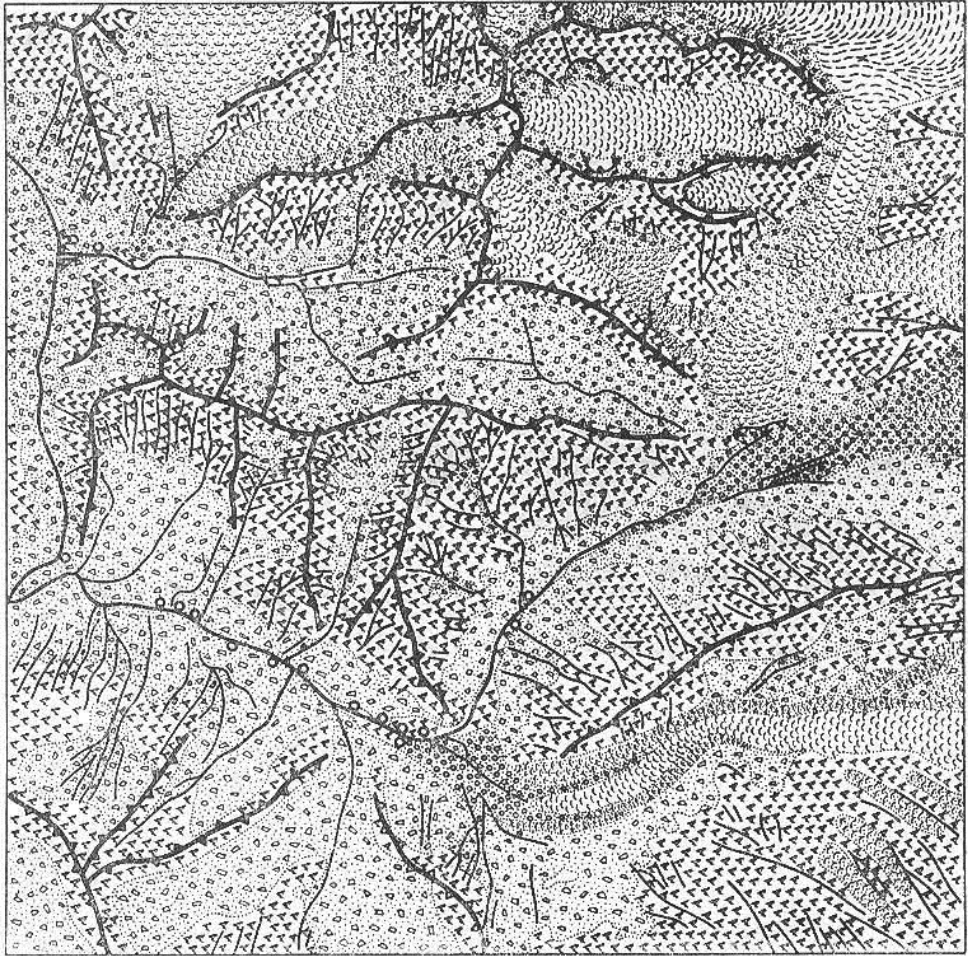
LA REGION DEL ALTO RIO JUNCAL

La región que presenta la fig. 2, se encuentra situada en la parte sur de la cuenca del río Aconcagua. Ella comprende el curso superior del río Juncal y un fragmento de su afluente más importante que es el estero Navarro. Es una región de alta montaña cuyos puntos culminantes sobrepasan 5.000 m. Las partes más elevadas se sitúan en el límite SE de este territorio, sobre la divisoria continental de aguas, cubierta por glaciares. Esta línea coincide con la frontera chileno-argentina. Sobre la divisoria, en el extremo austral del sector considerado, se encuentra el punto culminante de la cuenca, el nevado Juncal 6.110 m. El punto de menor altura (2.500 m. aprox.), se localiza en el extremo de la región, en la confluencia de dos cursos de agua.

El primer itinerario nos condujo a lo largo del Juncal, desde el borde N de la fotografía hasta el frente del glaciar que cubre el sector superior del valle. En los Monos de Agua, afluente derecho que desemboca en el valle principal aguas abajo del frente del glaciar alcanzamos la longitud geográfica límite del sector superior del valle, sector predominantemente glacial (fotog. 1). El segundo itinerario nos permitió seguir el estero Navarro, hasta el afluente izquierdo (San José) que desemboca en el sector más amplio del valle, y luego reco-

(5) Manual of Photogrammetry. Ann. Soc. of Photogrammetry, 1966, pp. 309-310.

Figura 2 REGION DEL ALTO RIO JUNCAL



- | | | |
|-----------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| 1. Cumbres rocosas. | 8. Terraza de acumulación. | 15. Hielo muerto. |
| 2. Cumbre cubierta de detritos. | 9. Borde abrupto del lecho fluvial. | 16. Circo glacial. |
| 3. Cumbre suavizada. | 10. Lecho pedregoso. | 17. Umbral glacial en el valle. |
| 4. Cerro testigo de denudación. | 11. Curso de agua permanente. | 18. Formas de acumulación glacial. |
| 5. Ladera rocosa. | 12. Curso de agua intermitente. | 19. Fuentes. |
| 6. Ladera cubierta por derrubios. | 13. Canal. | |
| 7. Cono de deyección. | 14. Glaciar. | |



Foto 1. Glaciar Juncal Norte

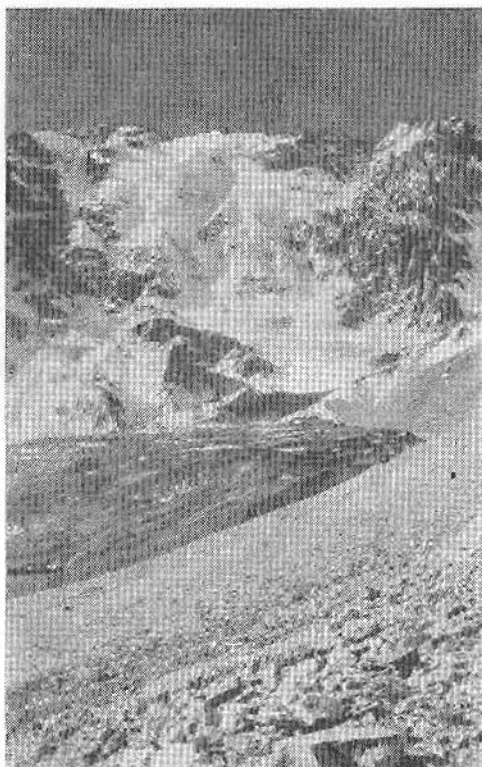


Foto 2. Valle del Estero Navarro. Laderas cubiertas de detritos

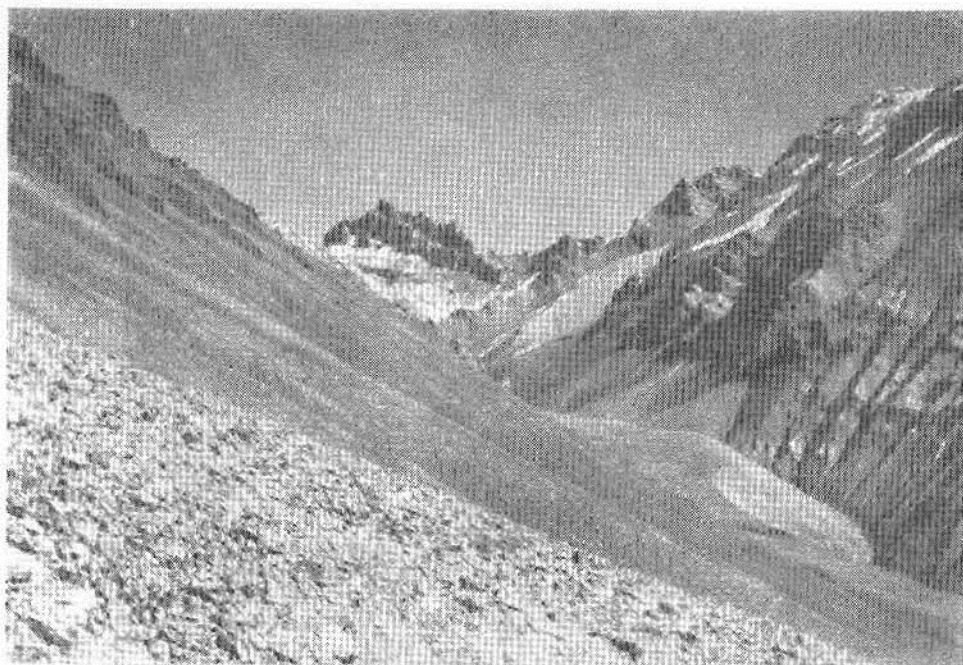


Foto 3. Glaciar del Estero Navarro

como sedimentarias: calizas marinas y continentales, areniscas, conglomerados y yeso que es la roca más característica de esta formación. El relieve de este territorio es típico de alta montaña, allí dominan las cumbres dentadas y fuertemente modeladas por procesos de meteorización. En la parte inferior de las laderas rocosas se acumulan materiales de descomposición que rellenan los valles y cubren las laderas hasta una altura considerable. La extensión del manto detrítico es tan considerable que las montañas parecen apenas emerger por sobre ellos. Sobre las fotografías analizadas la cubierta de meteorización ocupa aproximadamente el 40% de la superficie total, es decir, *grosso modo*, la misma extensión que los afloramientos de la roca sana.

Los procesos de ahogamiento de los Andes remontan el Pleistoceno, período en que la montaña sufrió varias pulsaciones glaciales (7). Existieron en esos momentos condiciones favorables a intensos procesos de descomposición y la evacuación del material por la acción del hielo y del agua fue insuficiente, dada la enorme cantidad de aportes detríticos. Por otra parte, aun en nuestros días, los fenómenos de desintegración de las rocas aparecen también caracterizados por una intensa actividad, lo que se explica por el carácter mismo de las rocas que fueron fuertemente diaclasadas durante los procesos tectónicos. El clima crea condiciones favorables que comportan una alta insolación debido a la altura del Sol en verano, la presencia de una atmósfera enrarecida y transparente y grandes amplitudes térmicas diarias.

La cantidad de las precipitaciones está considerablemente diferenciada si se considera que el territorio en estudio se encuentra en una zona de fuertes precipitaciones. Según E. Almeyda Arroyo (8) los sectores situados al NW del territorio reciben aproximadamente 500 mm. por año, mientras que al S caen 1.500 mm. aproximadamente. Las precipitaciones se concentran de preferencia en otoño e invierno bajo la forma de intensas nevadas. Las nevazones acompañadas de fuertes vientos, tienen el carácter de torbellinos de nieve. Debido a esto y al carácter accidentado del terreno, el espesor de la capa de nieve varía considerablemente y alcanza en algunos sectores una decena de metros. En las partes más altas de la montaña, donde existen condiciones favorables a la acumulación de nieve, se forman glaciares. En el sector aquí analizado, los glaciares y los campos de hielo muerto ocupan una superficie estimada en 20% de la superficie fotografiada (fotogs. 4 y 5). En verano, la nieve y el hielo funden rápidamente y la acción erosiva del agua se adiciona a los procesos destructivos. Los testimonios de esta acción estacional se observan en todas las laderas rocosas, ocupadas por cárcavas de erosión. El agua juega también un papel importante en lo que concierne al transporte de los materiales des-

(7) A. Olszowski. Some problems of Contemporaneous and Pleistocene glaciations in South America. *Czasopismo Geograficzne*, xxxviii, 3, 1967.

(8) E. Almeyda Arroyo, F. Sáez Solar. Recopilación de datos climáticos de Chile y mapas sinópticos respectivos. Santiago, 1958.



Foto 4. Valle del estero San José.
Ladera de hielo muerto cubierta de detritos



Foto 5. Río Juncal durante el estiaje

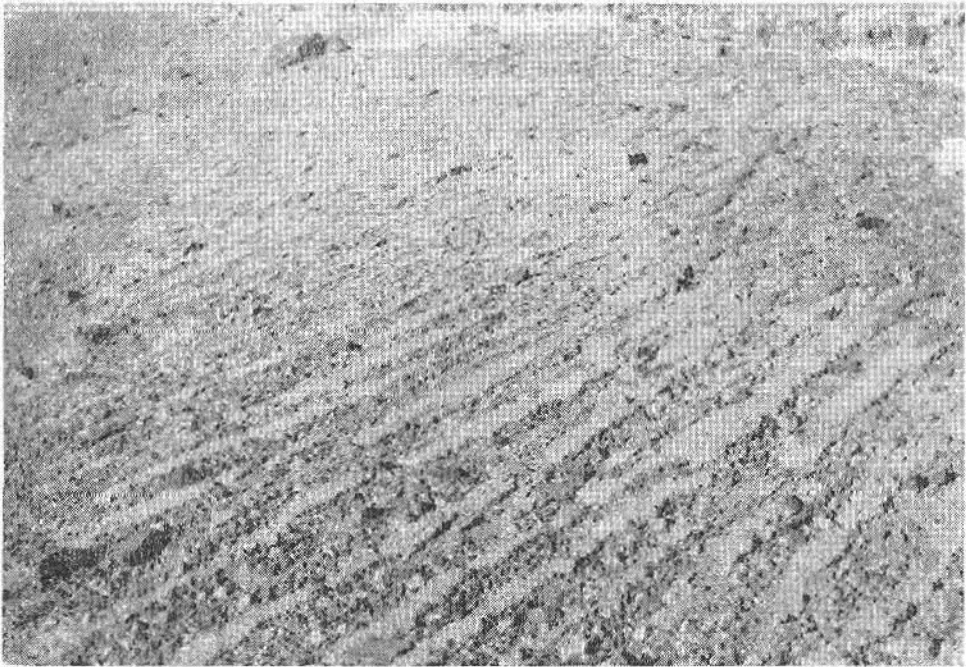


Foto 6. Superficie del hielo muerto

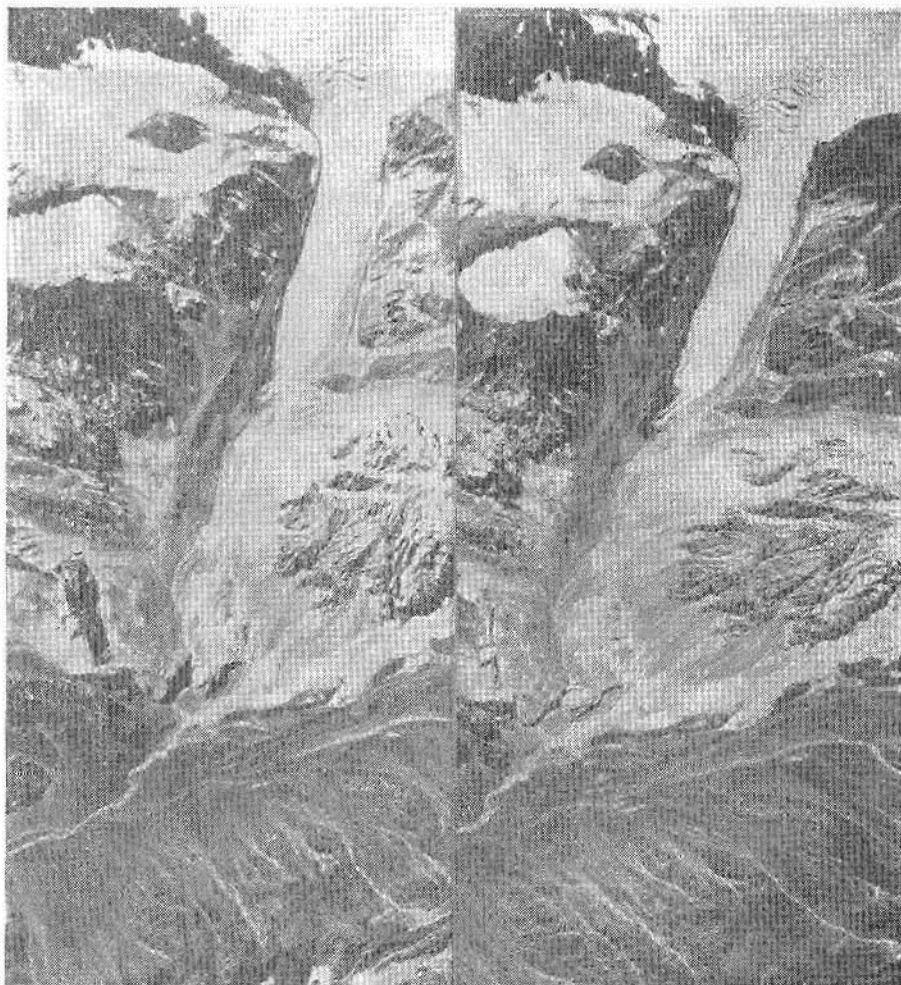


Figura 4. Glaciar del Estero Monos de Agua



Figura 5. Hielos muertos en el Cajón de San José

glaciar atestiguan su vitalidad. En mayo de 1966 el frente del glaciar había retrocedido aproximadamente en un kilómetro con relación a las fotografías aéreas tomadas en 1955. La extensión considerablemente superior alcanzada por el glaciar se encuentra materializada por grandes morrenas laterales recientes que bordean el valle hasta la desembocadura del estero Monos de Agua al cual bloquean además, el hielo muerto adherido a las laderas del valle, testimoniando también las dimensiones que alcanzó en otra época el glaciar. Ellas se extienden a lo largo del valle en forma de morrenas laterales.

El hielo muerto constituye un elemento esencial y muy original del paisaje. Aparece bajo la forma de bloques de hielo en los valles, de bandas alargadas en las laderas del valle, de lenguas negras a causa del material descompuesto que lo cubre, o todavía, bajo la forma de amplios campos de hielo que rellenan los nichos. Las formas más interesantes aparecen en el sistema del estero Navarro. En las cabeceras del valle principal, fuera del terreno que abarca la fotografía, las montañas alojan importantes masas de hielo. Las lenguas de hielo muerto cubiertas por detritos se observan en el fondo de los valles como prolongaciones de los glaciares activos. Las mayores acumulaciones de hielo muerto se encuentran en los valles laterales, parte NE de la fotografía (fig. 5). Se accede allí desde La Lagunilla a través del valle de San José, bloqueado por materiales morrénicos que forman un importante umbral irregular. La fotografía aérea muestra que los materiales del umbral provienen del valle lateral. La morfología del umbral permite suponer que el material rocoso está mezclado con hielo muerto. En el valle lateral se observan morrenas diseminadas sin orden alguno. Paralelo al eje de este valle, el lado sur, se extiende una eminencia detrítica que hace pensar en una morrena lateral, pero que es en realidad el borde del hielo muerto cubierto de detritos. En el abrupto aparecen interesantes formas de crioturbación. La superficie del hielo muerto está cubierta de nieve. Alrededor se observan rocas multicolores de formas caprichosas. La fotografía aérea muestra también, en la disposición de los elementos, la influencia del movimiento del hielo, fenómeno que escapa fácilmente al observador que se encuentra en el terreno mismo. Los valles fluviales, a pesar de la importancia de la glaciación pleistocena y actual, no presentan la clásica forma de U. La razón estriba en la importancia de la denudación que cambia el carácter de las laderas, y rellena el fondo de los valles indistintamente. La acción de los hielos por el contrario se manifiesta en valles laterales suspendidos sobre valles principales, así como en los circos glaciales y en los umbrales, si se trata de la parte superior de la montaña.

Los valles de menor importancia tienen el carácter de formas de erosión. Los lechos actuales son habitualmente estrechos y se encajonan poco en el fondo de acumulación. La profundidad del encajonamiento aumenta allí donde un fondo estrecho obstruido por los detritos obliga al río a tallarse un camino mediante el encajonamiento. Allí donde los valles se estrechan, como ocurre

en el sector inferior del estero Navarro, ellos toman el carácter de un cañón.

Tales valles no son, sin embargo, los más frecuentes. Las formas aterrazadas se encuentran sólo en determinados lugares. Las superficies planas sobre los valles son restos de morrenas laterales a las cuales se superponen los detritos provenientes de las laderas. La estructura geológica y el relieve influyen de manera decisiva sobre las condiciones hidrográficas de la región analizada.

En la zona de rocas compactas y descubiertas su papel principal se manifiesta en el favorecimiento del rápido escurrimiento superficial. La cantidad de agua es retenida en función de la estructura y de la textura de las rocas, de las fisuras y de las deformaciones tectónicas. Sin embargo, incluso cuando las rocas favorecen la infiltración del agua, la alimentación de las napas subterráneas en la zona de roca desnuda debe ser bastante insignificante a causa de la débil extensión de esta superficie y a causa de la importancia de la inclinación de la ladera. El clima es el responsable del carácter estacional de los fenómenos hidrográficos: a una estación de intenso escurrimiento, que corresponde al período de fusión de la nieve, se oponen las estaciones de estancamiento invernal, la sequía estival durante la cual los cursos de agua cesan de funcionar cuando se han agotado las reservas de nieve (fot. 6). Es debido a esto que las partes rocosas tienen pocos cursos de aguas permanentes y la mayor parte de la forma de erosión provocadas por el agua sólo tienen escurrimientos periódicos.

La red de cursos de agua permanentes está muy lejos de ser densa en el conjunto de la región. Las aguas corrientes permanentes no se encuentran sino en los valles principales y en algunos valles laterales. Ella se encuentra rara vez en las laderas cubiertas de materiales descompuestos. Incluso los cursos de agua estacional no son numerosos allí. El escurrimiento se realiza principalmente bajo la superficie topográfica. De allí provienen las numerosas fuentes y afloramientos líquidos que se encuentran en los fondos de los valles. Las fuentes subterráneas se concentran en tres sectores del territorio examinado:

Las de mayor importancia se encuentran agrupadas en el valle del río Juncal, aguas abajo de su unión con el valle Monos de Agua. Ocupa un vasto territorio en el fondo del valle. En sus alrededores, las morrenas laterales y frontales obturan el valle aguas arriba de las fuentes. Los conos de derrubios están desprovistos de humedad. A pesar de la sequía de los sectores adyacentes, el fondo del valle es rico en agua en su mayor parte: agua corriente, agua en el suelo, cubierta vegetal herbácea y musgos. En medio de la vegetación se encuentran surgencias de agua en gran parte cubiertas de vegetación. La más importante parece tener un gasto importante, imposible de medir por cuanto la fuente presumiblemente no es una sola y se encuentra escondida por la vegetación y el acceso al lugar es muy difícil.

Hay también fuentes de agua subterránea en el lecho del río. Este lecho se entalla en el fondo del valle. Al momento de las crecidas las fuentes del lecho se encuentran bajo el agua. La terraza sobre la cual se produce la surgencia

está constituida por un material mal clasificado aunque la fracción fina tiene allí una gran importancia.

Fuentes abundantes se encuentran en la confluencia del valle de Navarro y de su afluente izquierdo, el San José. El valle, que allí se ensancha, se llama La Lagunilla (fig. 5). Ahí se encuentran fenómenos de surgencias: una a la salida, otra un poco al fondo del valle lateral. El emplazamiento de estas dos surgencias hace pensar en una acción del valle de San José, que drena una cuenca bastante amplia donde el escurrimiento superficial es muy débil. Sin embargo, tampoco se podría eliminar la hipótesis de una alimentación kárstica en lo que concierne a la fuente inferior. Observamos en las inmediaciones gran cantidad de yeso, también calizas metamorfoseadas, y los depósitos de laderas están constituidos casi exclusivamente por fragmentos de estas rocas. Esta gran cantidad de agua que aparece en numerosos lugares parece confirmar una hipótesis semejante.

La segunda fuente se encuentra al pie de una morrena formada de materiales dispuestos en forma caótica. Su edad reciente queda comprobada por un corte erosivo moderno. El río que ha producido este corte es de muy escasa importancia aunque drena una cuenca bastante amplia. En el valle hay importantes fuentes que prueban que el drenaje de la cuenca se hace en gran parte por vía subterránea.

El tercer grupo de fuentes se encuentran en el sector en que el valle del estero Navarro forma un cañón, aguas arriba de la desembocadura del valle del río Juncal (fig. 5).

Desde un pequeño cono, que se levanta apenas sobre el fondo del valle, se escurre una considerable cantidad de agua. Se pueden distinguir nueve lugares de escurrimiento concentrado. Como en los casos precedentes aquí también es difícil medir el gasto de las fuentes. Se trata en todos los casos de un valor del orden de varias centenas de litros por segundo.

En lo que respecta a la situación de las fuentes de gran gasto hay que llamar la atención sobre la relación que existe entre ellas y los puntos de unión de los valles lo que hace pensar en el papel de esas formas en el drenaje subterráneo. El hecho que ellas se sitúen sobre líneas tectónicas así como sus importantes gastos, autorizan a pensar que se debe atribuir un papel no despreciable a las fisuras en la circulación de las aguas subterráneas.

Las condiciones climáticas y aquellas del terreno intervienen de manera específica en la circulación del agua en la región estudiada. Lo que es significativo es el carácter estacional del escurrimiento cuyo ritmo es función de las condiciones térmicas y no de las precipitaciones. El escurrimiento superficial es sumamente limitado a causa de la extensión y gran capacidad de retención del material descompuesto. Esto tiene consecuencias para la erosión que se detiene o se debilita notablemente durante la mayor parte del año. La sublimación de

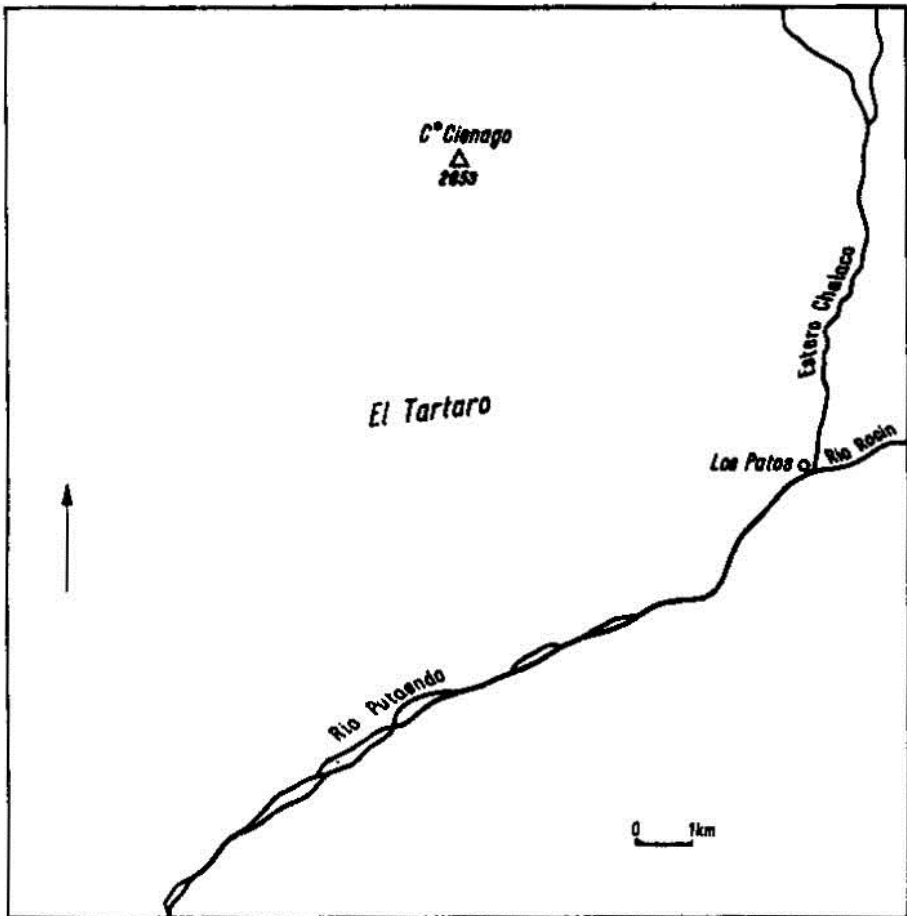


Figura 6. Croquis de situación, alrededores de Los Patos

la nieve juega, seguramente, un papel fundamental en las pérdidas de humedad, pero faltan antecedentes para dilucidar esta cuestión.

LOS ALREDEDORES DE LOS PATOS

Se trata en este caso de un fragmento de la cuenca del río Putaendo, afluente derecho del río Aconcagua (figs. 6 y 7). Sobre la carta se puede ver el sector del río situado aguas abajo de la confluencia del río Rocín con el estero Chalaco, de cuya unión resulta el Putaendo (fot. 7). Es un sector situado al borde de la cadena andina principal hecho que explica que sus alturas sean claramente inferiores de aquellas de la cuenca del río Juncal. Las montañas vecinas sobrepasan los 3.000 m. pero en los límites de la carta el punto culminante no



Figura 7. Alrededores de Los Patos (ver leyenda Fig. 2)

alcanza sino 2.656 m. (C^o Ciénago). El punto más bajo del valle de Putaendo no sobrepasa los 900 m. Los desniveles del terreno alcanzan hasta 1.200-1.500 m. Aquí la organización de la encuesta de terrenos se hizo de manera diferente a lo que había sido la investigación en la alta montaña. A partir de nuestra base en Los Patos hicimos excursiones a pie. Nos interesamos de manera particular en la cuenca de Los Patos y en las montañas circunvecinas así como en los valles de los ríos principales.

El territorio considerado que dista 60 km. en línea recta del río Juncal, presenta diferencias climáticas considerables. Esto se explica en parte por las diferencias en las alturas absolutas. Las temperaturas son en los alrededores de Los Patos más altas. La media del mes más frío (julio) es de 8 a 10°C en el

valle del río (9). La parte fría del año comporta frecuentes temperaturas negativas. En los valles hay heladas nocturnas y en la montaña las medias diarias caen incluso bajo 0°C. La diferencia más importante entre las dos regiones consiste en la cantidad y el carácter de las precipitaciones. La región de Los Patos se sitúa en la zona donde la media anual no alcanza a 500 mm. (10). Para Los Patos, el monto de precipitaciones media anual, basada en 16 años de observaciones, es de 370 mm. y para Putaendo (curso medio del río), de 328 mm. en un promedio de 31 años. Debido al monto de las temperaturas, las precipitaciones en los valles se presentan en forma de lluvias, la nieve aparece sólo en raras ocasiones. En la montaña las caídas de nieve son, al contrario, frecuentes, pero la cubierta de nieve no permanece tanto como en la alta montaña. Las precipitaciones tienen un carácter netamente estacional. En Los Patos las caídas medias de 16 años se dividen así: 51% en invierno, 24% en otoño, 18% en primavera y 7% en verano. Cuando la observación se extiende sobre un período más largo, esas diferencias se acentúan aún más. En Putaendo las precipitaciones invernales suben a 67% mientras que las de verano descienden a 3% solamente. Así, es legítimo admitir que para la región estudiada las precipitaciones de otoño e invierno exceden al 80%. Junto a esto las precipitaciones se caracterizan también por su irregularidad, tanto en los montos anuales cuanto en la distribución a lo largo del año. Se observa a menudo un máximo en julio. Pero este máximo puede situarse también en otro mes invernal o de otoño e incluso en otra estación (11) Geológicamente la región de Los Patos está constituida por rocas volcánicas del Cretáceo (formación Las Chilcas). La diferenciación litológica es menor que en la zona de la alta montaña. Por todas partes aparecen tobas, a menudo de estructura porfírica, así como conglomerados y brechas volcánicas.

La roca aflora en la superficie en sectores de reducida extensión, a menudo ella está cubierta por materiales detríticos. Las rocas descubiertas se encuentran en los sectores escarpados y sobre las laderas donde las porfiritas constituyen roqueríos prominentes.

En lo que al relieve se refiere, los elementos dominantes son las cumbres y las laderas de montañas. Las cumbres de ancho considerable, presentan formas estampadas. La cubierta de materiales meteorizados se conserva en todos los lugares en que existen débiles pendientes. Los depósitos aparecen por todas partes y la roca no aflora sobre las laderas sino en aquellos sectores de fuerte pendiente. En las laderas observamos afloramientos de origen estructural o de erosión lo que indica el carácter poligenético del relieve.

Las laderas están recortadas por cárcavas de erosión. Las entalladuras poco profundas se disponen en forma de abanico. Al unirse dan origen a la cárcava

(9) Almeyda Arroyo, E.: op. citada.

(10) Idem.

(11) Anuario Meteorológico de Chile.

por destrucción de la cubierta detrítica. Incluso se encajan sobre las roca subyacente. Las cárcavas toman a menudo la forma de una garganta. Su fondo es irregular y desprovisto a veces de acumulaciones. Allí se encuentran grandes bloques, pero en la parte inferior de los laderas la importancia de los sedimentos aumenta y las cárcavas de erosión se entallan en la capa detrítica.

La parte más baja de las laderas de ambos costados del río Putaendo está cubierta por un manto casi compacto formado por los conos de deyección. En la formación de los conos la gravedad juega un papel que se manifiesta en la acumulación de grandes bloques rocosos en el tramo inferior de los conos. Su papel aparece también en la estratificación, visible gracias a los numerosos cortes que afectan a los conos. El rasgo más distintivo de éstos es la heterogeneidad de los detritos, al lado de las gravas, hay bloques angulosos y un importante porcentaje de material fino.

En la rinconada de El Tártaro nos encontramos frente a la más vasta extensión de acumulaciones de tipo cono. Los constituyen un abanico abierto sobre el valle de Putaendo en la parte central de la carta. Numerosas cárcavas de erosión han atacado las laderas en el sector central de la rinconada enteramente cubierta sin llegar hasta el valle principal.

Las laderas presentan grados de consolidación. Allí donde hay débiles inclinaciones y una vegetación de matorral relativamente densa, la ladera da la impresión de estar estabilizada. Cuando las inclinaciones son más fuertes, del orden de una decena de grados, se perciben trozos de transporte del material sobre las laderas: disposición de los fragmentos de roca conforme a la pendiente, pequeños regueros de material fino, fragmentos de roca apoyados sobre los troncos de cactus, etc. (fotg. 8). En resumen, las formas más activas son las cárcavas de erosión y los conos no presentan ninguna huella de consolidación.

El terreno estudiado abarca un solo valle de importancia: el del río Putaendo y su prolongación hacia en N, que es el valle del estero Chalaco. En la periferia hay algunos valles de interés secundario. Estos últimos tienen una forma típica de erosión: laderas muy escarpadas, algunas veces incluso abruptas, fondo estrecho y pedregoso.

Por sus dimensiones el valle del río Putaendo difiere notablemente de sus congéneres. Su ancho en ciertos lugares es superior a 1,5 km. En esos lugares muy anchos las laderas se transforman lentamente. Pasan de conos anchos cada vez menos inclinados, a una terraza cubierta por formaciones microgranudas. Estas han sido aluvionadas por las aguas de inundación en el período que precedió la formación de los lechos actuales.

En la terraza se inscriben los depósitos de rodados actuales. La diferencia de altura entre la terraza y el depósito de rodados es de 4 a 6 m. en la confluencia del río Rocín y del río Chalaco. Aguas abajo, se reduce a 1-1,5 m. en Los Patos. En el mismo sentido la incisión disminuye y el río se divide en numerosos brazos que se entrecruzan sobre los depósitos de rodados.

La región estudiada es pobre en fenómenos hidrográficos superficiales. Existen fuentes en la parte superior de la cuenca y se destaca la ausencia de exutorios al pie de las laderas como un hecho muy típico de la alta montaña. Los ríos son poco numerosos. Algunos cursos de agua apenas atraviesan el territorio presentado sobre la carta, la mayor parte de las formas de erosión están desprovistas de cursos de agua permanentes.

El río principal, el Putaendo, en el perfil de Los Patos tiene un gasto de 8,6 m³/seg. (gasto medio para el período 1940-65). El escurrimiento estacional está en completo desacuerdo con la distribución de las precipitaciones. En verano se escurre el 40% del agua, en primavera 34%, mientras que en la estación húmeda el escurrimiento disminuye considerablemente (otoño 12%, invierno 14%). Las precipitaciones otoñales y de invierno en las partes bajas de la cuenca son demasiado escasas para aumentar notablemente los valores mensuales del escurrimiento, mientras que en la alta montaña, zona principal de alimentación, prevalecen las precipitaciones sólidas que alimentan los ríos durante la estación cálida del año.

El río Putaendo tiene, entonces, un régimen nival. Su gasto más importante corresponde a los meses de noviembre (20 m³/seg.) y diciembre (18,7³/seg.), es decir hacia fines de primavera y principios del verano. La baja latitud geográfica de la cuenca es responsable de que el máximo del escurrimiento mensual se sitúe más temprano, en primavera, con relación al máximo de verano. En verano, el escurrimiento disminuye rápidamente para alcanzar el máximo hacia fines del otoño (mayo 3,9 m³/seg.). Al mínimo de mayo sigue un lento aumento de los valores medios del escurrimiento, aumento que se debe a la llegada de las lluvias. El agua es proporcionada, en primer lugar, por el estero Chalaco en la cuenca del cual, a pesar de presentar alturas absolutas menores, las caídas de agua juegan un papel más importante que en la cuenca del río Rocín. Las primeras crecidas de primavera deben ser igualmente relacionadas con la alimentación del estero Chalaco donde la fusión de la nieve comienza antes que en la alta montaña.

La variabilidad de las precipitaciones sólidas y las condiciones de la fusión de la nieve provocan importantes fluctuaciones del escurrimiento en la estación cálida, de octubre a enero. En el mes de diciembre, el escurrimiento medio fue de 54,0 m³/seg. en 1955 y de sólo 4,1 m³/seg. en 1946. El escurrimiento puede ser todavía menor en lo que concierne a los otros meses, con excepción de noviembre para el cual durante 26 años nunca se ha registrado un gasto medio inferior a 7,2 m³/seg. Según sean las condiciones prevalecientes, el Putaendo puede presentarse como un río minúsculo en cualquier estación del año (fotog. 9). Sin embargo, el escurrimiento medio no podría alcanzar valores muy importantes en cualquier mes del año. El invierno, de abril a agosto, las medias mensuales son siempre bajas (la máxima media absoluta alcanzó 8,8 m³/seg. en junio de 1960). Los meses restantes pueden presentar gastos impor-

tantes: en verano especialmente la abundancia de agua supera a veces considerablemente la mediana. La situación es un poco diferente en lo que respecta a las crecidas de poca duración. Las mayores ocurren también en verano. El gasto medio máximo registrado en noviembre de 1961 fue de 96,0 m³/seg. En otoño e invierno los gastos máximos son netamente inferiores, pero incluso esas estaciones conocen a veces crecidas provocadas por las lluvias. En junio de 1960 el gasto medio diario fue de 39,8 m³/seg., en mayo de 1957, 37,2 m³/seg. Los gastos mínimos de todos los meses con la sola excepción de noviembre son inferiores a 4 m³/seg. y entre enero y septiembre menores a 2 m³/seg.

El río Putaendo presenta una gran variabilidad en las medias anuales. Su coeficiente de irregularidad es 5,2. La variabilidad estacional, por el contrario, se encuentra suavizada con relación al régimen nival típico. La disminución de la desproporción cuando nos referimos a los gastos, se explica por las lluvias de otoño e invierno que caen en las partes más bajas de la cuenca, por las reservas de agua almacenadas en los mantos detríticos que alimentan al río durante la época de estiaje, por último, en parte debido a la actividad humana. Los primeros canales de irrigación se encuentran aguas arriba de la estación de Los Patos.

La distribución de las precipitaciones y del escurrimiento condicionan el papel del agua en tanto factor del modelado e influyen en la explotación de los recursos hidráulicos. Las lluvias de invierno y la nieve que funde a menudo en la montaña baja, favorecen tanto los escurrimientos superficiales de corta duración como la infiltración del agua en la cubierta de materiales detríticos. Las cárcavas de erosión con sus conos aluviales situados en el extremo inferior no son sino obra de las aguas que se escurren en la superficie. Numerosas formas de erosión testimonian la universalidad del fenómeno. Su escasa profundidad o su ausencia en la vecindad de los conos, prueba la reducida intensidad de estos procesos. La erosión no se manifiesta con fuerza sino en las superficies fuertemente inclinadas donde las cárcavas toman la forma de zanjones cuyo fondo, desprovisto de sedimentos finos, está tapizado por grandes bloques de piedra. Se pueden desarrollar movimientos de gravedad en lapsos relativamente breves. Su eficacia depende de la inclinación de los conos y de la cubierta vegetal. Muchos conos, incluso cubiertos por una vegetación muy pobre, están bastante bien consolidados. Sobre superficies de mayor inclinación se observan huellas de deslizamientos de materiales de descomposición. Los procesos más intensos se destacan en el momento de las crecidas y atacan las terrazas. La ausencia de precipitaciones de verano, hace a la economía rural tributaria del agua fluvial (12). Cuando el río trae grandes caudales la demanda es también la más alta. Esto elimina la necesidad de crear reservas. Basta llevar

(12) R. Barahona, X. Aranda, R. Santana U.: Valle de Putaendo (estudio de estructura agraria), Santiago, 1961.

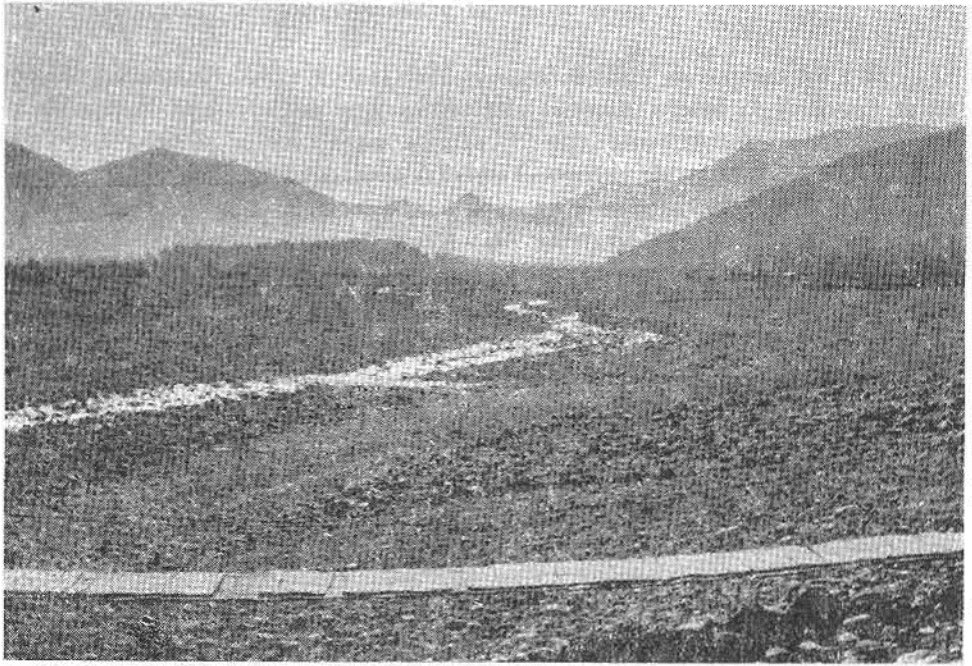


Foto 9. Lecho del río Putaendo durante el estiaje.

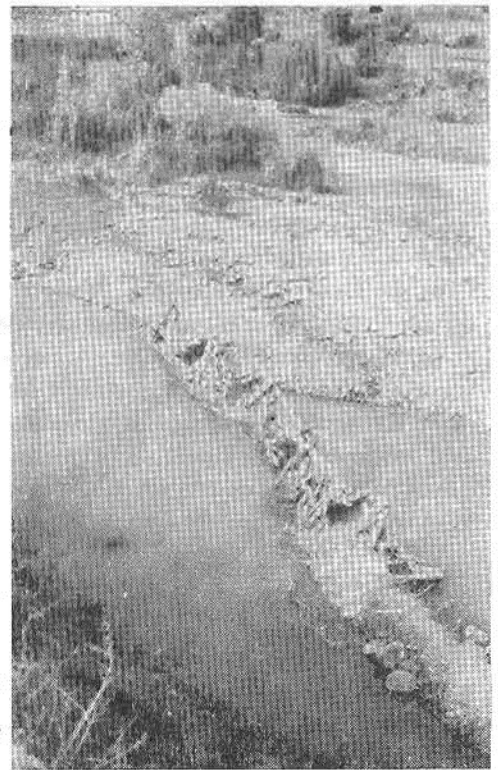


Foto 10. Dique primitivo que conduce el agua hacia los canales.

el agua a los campos de cultivo. Esto se hace con la ayuda de canales abiertos en el flanco de la ladera, sobre la alta terraza que es el terreno susceptible de ser explotado agrícolamente (fig. 8). Desde estos canales el agua llega, por gravedad, a los campos de cultivo. Todas las propiedades tienen un complicado sistema de pequeños canales para eliminar sus campos. Diversos trabajos de mejoramiento permiten enriquecer el terreno irrigado en partículas arcillosas y coloidales lo que permite disminuir la permeabilidad del suelo y retener por más tiempo la humedad, preciosa para la producción agrícola.

Para evitar la construcción de represas, las captaciones de los canales de irrigación se sitúan muy por encima de los terrenos a irrigar. El agua se escurre naturalmente por los canales por cuanto su fondo es de menor altura que el del río que se sangra. A veces se construye un dique primitivo (fotog. 10). Los largos canales siguen casi exactamente la horizontal a lo largo de las laderas. A veces unos corren en líneas paralelas, constituyendo un elemento característico del paisaje de los sectores habitados. El agua fluvial satisface todas las necesidades. Las aguas subterráneas no se utilizan en ningún sector agrícola. Un sistema semejante de explotación del agua modifica fuertemente su circulación natural. Grandes cantidades de agua desviadas de los lechos fluviales no retornan al río y se incorporan a la atmósfera al ser evacuadas por la transpiración vegetal o al ser evaporadas directamente por el Sol. Las pérdidas deben ser considerables dado el estilo de construcción de los canales, habitualmente a tajo abierto, y donde no se destaca la provisión por las pérdidas de agua. Es cierto que en los canales se produce un lento relleno, sin embargo, en numerosos lugares el agua de los canales se infiltra en el suelo y luego se evapora.

En comparación con la región de la cuenca del río Juncal, ya descrita, aquella de Los Patos se caracteriza por rasgos geográficos e hidrográficos diferentes. Las causas son múltiples:

- a) Diferencia en el clima. Menores precipitaciones, a menudo en forma de lluvias y temperaturas menos contrastadas a lo largo del año;
- b) Caracteres diferentes de la estructura geológica y del relieve. Menor diversidad litológica del basamento y frecuente presencia de mantos detríticos;
- c) Cubierta vegetal casi inexistente en la parte alta de la montaña;
- d) Alimentación fluvial proveniente de sectores lejanos donde existen condiciones litológicas y de medios diferentes;
- e) Actividad humana que influyen en la circulación del agua.

ALREDEDORES DE SAN FELIPE

La tercera región escogida se encuentra cerca de San Felipe, capital de la provincia de Aconcagua (figs. 9 y 10). Esta región está constituida por un fragmento de una amplia cuenca situada en medio de cordones montañosos



Figura 8. Fragmento del valle del Putaendo

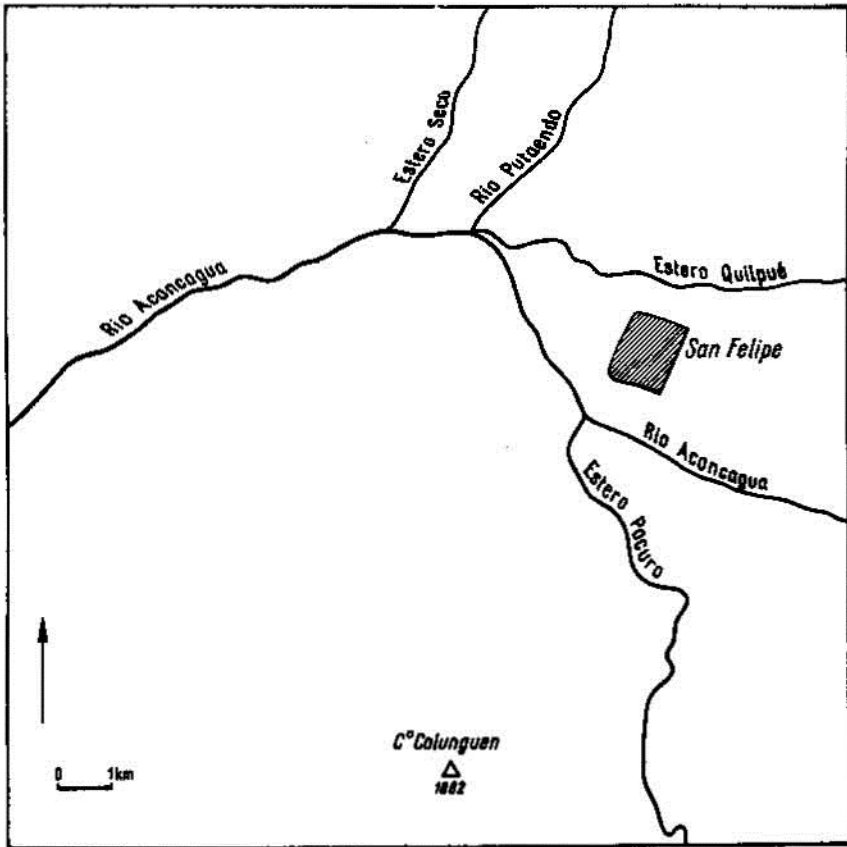


Figura 9. Croquis de ubicación alrededores de San Felipe

que pertenecen a la cadena andina. La carta está atravesada por el río Aconcagua en el cual desemboca al N el río Putaendo y, un poco aguas abajo, el estero Seco. De las tres regiones consideradas, la de San Felipe presenta el relieve menos acusado. En la cadena del cerro Calvario (borde NE de la carta) las alturas absolutas sobrepasan apenas 2.000 m. En la parte S, la cumbre principal, el cerro Colunquén, se eleva a 1.862 m. El río Aconcagua abandona el sector presentado en la carta a una altura de 515 m. aproximadamente. A partir de nuestra base en San Felipe reconocimos el sector en vehículo.

La cuenca de San Felipe, separada de la influencia oceánica por cordones de montaña, no recibe precipitaciones abundantes. La media anual para 47 años de observación es de 250 mm. (13) (mediana de 45 años (14)). Su latitud

(13) E. Almeyda Arroyo, op. cit.

(14) Pluviometría de Chile. Fasc. II, 1965.



Figura 10. Alrededores de San Felipe (ver leyenda Fig. 2)

geográfica determina los principales rasgos del clima, típicamente mediterráneo: veranos muy cálidos, inviernos suaves, precipitaciones netamente estacionales. La temperatura media anual en San Felipe es de $14,8^{\circ}\text{C}$, la media de enero $21,5^{\circ}\text{C}$, la de julio $8,7^{\circ}\text{C}$. Las precipitaciones se concentran principalmente en los meses de otoño e invierno (más de 80%). El verano desconoce casi totalmente las precipitaciones (en San Felipe 1% de la precipitación anual, en Los Andes 2,9%). El mes de junio recibe en promedio más del 25% de la precipitación anual.

Este carácter marcadamente estacional se acompaña de una gran irregularidad de las precipitaciones. Ella compromete incluso las medias anuales. En Los Andes

(15) los valores extremos, en lo que se refiere a las precipitaciones anuales entre 1907 y 1951, han sido de 682,6 mm. en 1926 y 49,5 mm. en 1942. El coeficiente de irregularidades es, entonces, muy elevado: 13,8. La oscilación de las sumas mensuales es todavía más marcado. Cualquier mes del año puede carecer de precipitaciones y en verano los meses sin precipitaciones son habitualmente más frecuentes que aquellos con alguna precipitación:

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
28	28	23	12	2	—	4	2	2	6	22	30

En junio, el mes más rico en precipitaciones y el único que en 45 años ha tenido siempre alguna precipitación, se registran cuotas mensuales bastantes reducidas: en 1913, p. ej., 0,5 mm. El período sin lluvias puede durar varios meses, incluso a mediados de año (p. ej., de noviembre 1948 a abril 1949).

Las sumas mensuales máximas son considerables algunas veces incluso en verano (febrero 1945: 80,7 mm.). Sin embargo, los altos valores corresponden al invierno (junio 1926: 364,0 mm.; mayo 1921: 272,2 mm.; julio 1926: 245,9 mm.). Las precipitaciones de un mes pueden sobrepasar, en algunos casos, aquellas del año. Las precipitaciones de junio 1926 excedieron la media anual de numerosos años y se mostraron superiores a las sumas anuales de los 31 años del período estudiado.

El número de días con precipitaciones es muy reducido. Durante el período seco del año el monto mensual cae en uno o dos días. En invierno se observa, como regla general, algunos días con lluvia. Las precipitaciones son, en consecuencia, más bien abundantes. En mayo 1957 la media mensual en San Felipe, que alcanzó a 209 mm., se registró en 5 días. La caída diaria máxima fue de 82 mm. (19-v-57) y en el curso de tres días sucesivos (19-21-v) cayeron 162 mm. Las precipitaciones poco abundantes y mal armonizadas con las exigencias de la vegetación hacen que las plantas se refugien sólo allí donde el agua no escasea.

La fotografía aérea muestra dos sectores bien diferentes: la zona agrícola irrigada y la zona de secano, que no posee un tapiz vegetal continuo (fig. 11). La primera corresponde, *grosso modo*, al fondo de los valles y de las cuencas rellenas de sedimentos holocenos. Lo restante es el dominio montañoso con una vegetación de matorral xerófito. Muchas laderas carecen prácticamente de vegetación. Como en la región de Los Patos, la montaña está constituida por formaciones volcánicas de edad cretácea (formación Las Chilcas) cuyos pliegues alojan rocas

(15) Para San Felipe no disponemos de antecedentes detallados relativos a una época estadísticamente válida.

graníticas del jurásico. Rasgos estructurales de gran similitud relacionan los alrededores de San Felipe con la cadena andina principal.

El relieve de los terrenos montañosos es más suave que aquel de la región de Los Patos. Las cumbres, anchas y suavizadas, están cubiertas al igual que las laderas por un manto detrítico que sólo en contados lugares deja aflorar la roca del basamento. Las lluvias no proporcionan suficiente agua para producir una fuerte acción erosiva. Algunas entalladuras de erosión poco profundas marcan las laderas sin llegar a cortar la capa detrítica. Cada surco aparece rematado por un cono aluvial. Allí donde las condiciones favorecen el escurrimiento, los aguaceros que se producen de cuando en cuando provocan intensos procesos erosivos y de transporte, pero éstos comprometen sólo pequeños sectores. Existe una evidente relación entre los terrenos que recogen las precipitaciones, la extensión del cono aluvial y la constitución de la fuerza erosiva. En la desembocadura de las grandes cuencas de recepción, los conos son extendidos, se alojan en las rinconadas y alcanzan una altura considerable. Las aguas estacionales inscriben en los conos lechos profundos de varios metros. Sin embargo, a menudo estos lechos no alcanzan a recorrer todo el cono. Esto muestra que la fuerza de transporte del agua se debilita: al escurrirse, el agua desaparece absorbida por el material permeable. La pobre clasificación del material de los conos nos permite deducir los rasgos del transporte. Como en la región de Los Patos, los conos comportan elementos granulométricos muy diversos, casi sin estratificación. Las aguas que se escurren están probablemente cargadas a tal extremo que toman el carácter de coladas de barro. La acción erosiva actual se puede observar casi exclusivamente en los lechos de los cursos de agua estacionales. De manera muy accidental las laderas o los conos presentan pequeñas entalladuras recientes o rasgos de destrucción, a pesar de su débil cubierta vegetal.

Los sectores excavados que presenta la carta corresponden a tres unidades fisiográficas distintas. El sector oriental forma parte de una amplia cuenca donde se sitúan dos ciudades: San Felipe y Los Andes (que se encuentra fuera de los límites de la carta). La depresión que se sitúa al N pertenece al tramo meridional de un gran valle, de un ancho variable (2 a 4 Km.) recorrido por el río Putaendo y el estero Seco. La depresión que se abre al W, a pesar de su amplitud, puede considerarse como el valle del río Aconcagua.

Todos estos sectores excavados están ocupados por aluviones fluviales. El escaso número de sondajes profundos impide precisar la configuración del substrato. De las perforaciones realizadas sólo dos atraviesan la cubierta aluvial. Ambas están, por otra parte, fuera de la carta y más bien próximas a la periferia de la cuenca. En Santa María, cerca del límite N de la cuenca, se alcanzó el piso formado por rocas volcánicas porfíricas, a una profundidad de 82,2 m. En Los Andes, cerca del límite SE, se encontró la roca a 56,5 m., pero a 45,2 m. la sonda detectó una roca muy meteorizada, presumiblemente in situ. Las tres perforaciones realizadas en San Felipe no alcanzaron la roca fundamental. La

más profunda llegó a 86 m. El fondo rocoso de la cuenca es seguramente accidentado como se deduce del hecho que algunas colinas emergen de la napa aluvial como islote de roca fundamental.

El carácter de los materiales de relleno evidencian cambios frecuentes en las condiciones de sedimentación. Al lado de materiales bien clasificados, que son los más frecuentes, se encuentran aglomerados de grava, arenas y fracciones arcillosas. La variedad del perfil consiste en la diferente proporción de fracciones detríticas, o bien en el calibre de los componentes. Las capas constituidas únicamente por arenas o gravas son más bien raras y su espesor es reducido. La única excepción se encuentra en el perfil de Santa María donde las arenas y gravas prevalecen con buena clasificación.

Las descripciones de Tricart, Hirsch y Griesbach (16), que se refieren a sedimentos semejantes de la cuenca de Santiago, definen las formaciones de arena y grava como fluvio-glaciales. En cambio las formaciones de fracción diferente son relacionadas con la acción de aguas glaciales fuertemente cargadas de materiales de origen volcánico, o bien con coladas de barro originadas por deslizamientos de ladera o polvos volcánicos recientes arrastrados por el escurrimiento de las aguas. El rasgo común de estas formaciones es la diferenciación de la fracción detrítica. Lo que las diferencia es el papel de la fracción más fina que influyen sobre la permeabilidad. Todas las formaciones detríticas que rellenan la cuenca de San Felipe son permeables, pero sólo aquellas compuestas por aluviones fluvio-glaciales son capaces de contener una gran cantidad de agua. Gracias a la gran permeabilidad de algunas capas y a la importancia del espesor de todo el complejo, las formaciones detríticas que rellenan la cuenca constituyen un gran reservorio de aguas subterráneas. La superficie de las llanuras aluviales forma una terraza donde las aguas de los cursos actuales se encajonan débilmente. Este encajonamiento es frecuentemente de unos dos metros. Considerada en el marco general de la cuenca es una sola terraza que hacia la periferia pasa a ser reemplazada por conos coluviales. El límite que separa ambos dominios es ambiguo, a menudo hay un paso insensible hacia la ladera. El límite de la utilización agrícola tampoco aclara el problema por cuanto los cultivos comprometen de manera indistinta la terraza y la parte inferior de los conos.

Debido a la explotación agrícola ininterrumpida desde hace tres siglos la terraza se encuentra visiblemente transformada. Existe una red de canales de irrigación de los cuales los más importantes son permanentes, mientras que los restantes sufren cambios en función de los tipos de cultivo y de sus necesidades de agua. A causa del sistema anacrónico de la utilización del agua, la red de canales da una imagen caótica. La dirección en que se escurren las aguas cana-

(16) J. Tricart, A. R. Hirsch y J. C. Griesbach, *Géomorphologie et eaux souterraines dans le bassin de Santiago du Chili*. Bull. de la Faculté des Lettres de Strasbourg, Vol. 43, N° 7, 1965.

lizadas no tiene casi ninguna relación con la orografía. Los principales canales conducen las aguas en largos recorridos y las captaciones se encuentran muy alejadas de los terrenos irrigados. A veces las ramificaciones de los canales llegan incluso a cuencas vecinas. Así, p. ej., la parte SW de la cuenca de San Felipe, situada sobre el estero de Pocuro, recibe aguas del río Aconcagua las que son captadas cerca de Los Andes. El agua que no se utiliza es vertida en el estero Pocuro. El agua del estero Quilpué es conducida por dos canales a través del río Putaendo y del estero Seco hacia los terrenos situados en la vertiente derecha del río Aconcagua, aguas abajo del estero Seco.

La prolongada irrigación de las terrazas hace que las tierras se encuentren enriquecidas con elementos arcillosos y coloidales, que aumenta su capacidad de almacenamiento líquido.

Los lechos fluviales, encajonados en la terraza, se distinguen por estar constituidos por gravas de mayor calibre y por bloques. El ancho del lecho pedregoso es muy variable. En el Aconcagua es superior a 1 Km. En San Felipe se reduce a algunas decenas de metros. Estos hechos son típicos de ríos que tienen regímenes variables. El lecho es accidentado, canales de diferente dimensión se concentran o se ramifican, formando una red anastomosada durante el estiaje. Muchas veces esta red carece totalmente de agua. En este período el río Putaendo y el estero Seco carecen totalmente de agua, y el escurrimiento del Aconcagua se reduce a un solo brazo. Durante las crecidas, por el contrario, todo el fondo se encuentra bajo el agua. El gasto de los ríos depende de tres factores principales: En primer lugar, de la alimentación que proviene de la alta montaña. Los Andes entregan importantes cuotas en el momento en que funden la nieve y el hielo. En segundo lugar, de los aportes de las precipitaciones de otoño e invierno y, por último, de la utilización del agua para la irrigación. Estos factores son los responsables de las grandes variaciones que se producen en el escurrimiento. Los gastos diarios medios del río Aconcagua pueden llegar a varias centenas de $m^3/seg.$, mientras que en algunos momentos los gastos superan los 1.000 $m^3/seg.$ La alimentación variable y las captaciones de agua en el curso superior son responsables de la gran irregularidad del ritmo del río Aconcagua en San Felipe. Las crecidas se producen con mayor frecuencia e intensidad en verano, pero también se presentan en el período de precipitaciones de la estación fría del año. La falta de agua puede producirse en cualquier mes. En los años secos las necesidades de la irrigación son tan grandes con relación al gasto que incluso en verano, el nivel del agua en el río desciende de manera alarmante.

Al lado de los lechos de los grandes ríos, el territorio presentado comporta todavía los lechos de dos cursos de agua de menor importancia: el estero Quilpué y el estero Pocuro. El primero atraviesa la parte N de la cuenca de San Felipe y se une al río Aconcagua a las proximidades de la confluencia de éste con el Putaendo.

El nacimiento del estero Quilpué se encuentra en la cadena andina, se com-

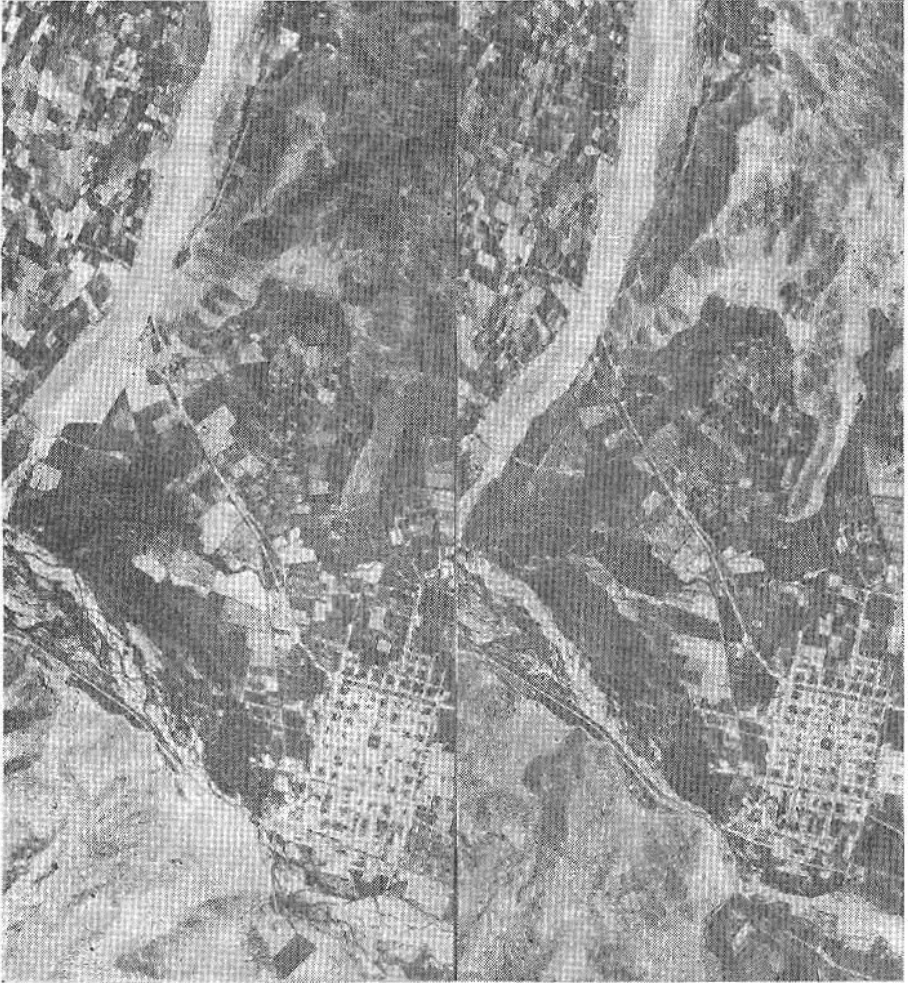


Figura 11. Alrededores de San Felipe

pone de las cuencas de los esteros San Francisco, El Cobre, Soino y Jahuel. Desde la confluencia de estos canales aparece el nombre de Quilpué. La estrechez de su lecho no traduce de manera alguna los rasgos de un río que drena más de 500 Km. Este modesto aspecto no prueba en absoluto la pobreza de la cuenca. Las cadenas montañosas que se elevan a más de 3.500 m. en el sector oriental de la cadena reciben importantes precipitaciones durante el año, pero como el período de lluvias se sitúa en la época fría del año y como el espesor de la cubierta detrítica absorbe fácilmente el agua, las pérdidas por evaporación son relativamente insignificantes. Esta es la razón de la permanencia de los cursos de agua en la parte alta de la cuenca. El escurrimiento estival es mucho más reducido. Este descenso se explica por el agotamiento de las reservas subterráneas, por la ausencia de la alimentación y todavía por la utilización del agua para usos agrícolas. La cuenca está habitada hasta una altura considerable y ya en el curso superior es drenada para alimentar los campos de labranza. En la cuenca misma los lechos de los ríos que nacen en la montaña se secan en verano, sangrados totalmente por la agricultura.

El lecho del estero Pocuro recorre en la parte SE de la carta, el límite de la cuenca y desemboca en el río Aconcagua frente a San Felipe. El Pocuro nace también en la alta montaña andina, en el borde SE de la cuenca. En la montaña misma recibe algunos afluentes de poca importancia y su gasto medio anual en el Sifón se acerca apenas a $1 \text{ m}^3/\text{seg}$. El río bordea la cuenca al pie de las laderas del lado S. No recibe afluentes permanentes y se alimenta sólo de los arroyos estacionales y del agua del río Aconcagua transportadas por los canales de irrigación. A pesar de la ausencia de afluentes permanentes, su gasto en la desembocadura sobrepasa probablemente aquel del curso superior (en los años 1930-1932 era de $6 \text{ m}^3/\text{seg}$. en término medio). En la montaña, por su ritmo anual, el estero Pocuro recuerda los cursos de agua de la cuenca del estero Quilpué.

En el curso inferior este ritmo se encuentra totalmente desfigurado por la intervención humana. Allí los lechos de ambos ríos asumen la función de canales que se cargan de los excedentes de agua de los períodos de crecida, mientras que, en los períodos secos, forman parte del sistema de riego. Ellos proveen también de agua potable a las ciudades. En los sectores más bajos de las depresiones, la erosión se limita exclusivamente a los lechos fluviales, pero también en la superficie de las terrazas un proceso de incisión debe producirse en algún momento en relación a la acción de las aguas de inundación. Los efectos de la erosión lineal son perfectamente visibles en la parte W de la carta, al S del río Aconcagua. Esos efectos no podrían relacionarse con la erosión del Pleistoceno, porque la utilización agrícola secular ya las habría hecho desaparecer.

Una singularidad para un sector tan seco como el de San Felipe es la existencia de un pantano situado en el fondo del valle, en la confluencia del río Aconcagua con el Putaendo (fig. 11). Su presencia se debe seguramente a un estrechamiento del valle en la parte terminal de la cuenca lo que produce una

subida de aguas aluviales. La subida del nivel de las aguas subterráneas explica también la presencia de agua en los sectores inferiores de los cauces del río Putaendo y estero Seco. En esta zona pantanosa la explotación agrícola es imposible sin previo desecamiento de los terrenos. Sobre los terrenos desecados la agricultura sufre, como en toda la región, de un déficit de agua. Aunque el agua de irrigación proviene de tres fuentes (Aconcagua, Putaendo y Quilpué), el sistema de distribución de las aguas hace que en los años secos ésta falte sobre los terrenos. Sin embargo, no se utilizan para el riego las aguas subterráneas a pesar de su fácil acceso. Ellas se encuentran sólo a una pequeña profundidad.

CONCLUSION

Un estudio de hidrografía debe comportar, como parte integral, el análisis de los factores que condicionan el escurrimiento del agua. Los antecedentes fundamentales para semejante análisis, en la medida que conciernen al conjunto medio natural en sus múltiples interdependencias, se reúnen durante las investigaciones en el terreno. Los métodos modernos, que buscan una mayor precisión, la reducción del tiempo necesario para recolectar los antecedentes, utilizan en gran medida las fotografías aéreas, tanto como apoyo de trabajo en el terreno como en las tareas de laboratorio. La técnica de la fotointerpretación encuentra así un excelente campo de aplicación en el estudio de terrenos poco explorados o en aquellos para los cuales no se dispone de buenas cartas. Las dificultades de acceso y la necesidad de obtener rápidos resultados imponen la utilización de nuevas técnicas de investigación. Tal es el caso de la cuenca del río Aconcagua en cuyo estudio el aprovechamiento de las fotografías aéreas se debe considerar como indispensable.

La leyenda de los gráficos de fotointerpretación se ha elaborado en función de las investigaciones hidrográficas. Registran allí 19 signos de los cuales sólo tres se relacionan con fenómenos hidrográficos puros. En razón de la época en que se tomaron las vistas aéreas, las fotografías aéreas permiten precisar la red de cursos de agua permanentes. En las cuencas y valles muy amplios, donde durante la estación seca los ríos no ocupan totalmente sus lechos, la detección de los cursos de agua no plantea dificultad alguna. Los problemas surgen cuando se interpretan las fotografías aéreas de alta montaña donde las diferencias entre vaguadas secas y drenadas carecen de nitidez. Sin embargo, el fenómeno mismo del escurrimiento es en esas regiones tan variable en el tiempo que no es absolutamente indispensable distinguir los cursos de agua permanentes de los estacionales.

Los canales de irrigación constituyen otro elemento de importancia geográfico-hidrográfica. Las fotografías permiten seguir sus cursos en todos sus detalles. La presencia de agua en dichos canales es algo secundario en la medida en que ello depende de una regulación humana, es más una cuestión de orden económico que de tipo natural.

Sobre los calcos transparentes en que se registraban los signos de la interpretación se marcaron, entre otros, algunos exutorios de aguas subterráneas. Estos aparecen en las fotografías aéreas por tonos de color oscuro debido a la cubierta vegetal. Sin embargo, cuando hay rocas en las proximidades que se manifiestan en tonos análogos la distinción es mucho más difícil. Así, por ejemplo, sería casi imposible descubrir sobre la fotografía las poderosas fuentes del curso inferior del estero Navarro sin haberlas detectado previamente en el terreno. En la alta montaña marcamos los fenómenos glaciales. Las fotografías permiten discernir fácilmente los campos de neviza y las lenguas glaciares que se caracterizan por su blancura. Pero resulta mucho menos fácil detectar los hielos muertos que, cubiertos por detritos, no se diferencian casi de los depósitos detríticos vecinos, o de las rocas. Es la estructura fluidal de la forma lo que denuncia a veces su presencia.

Todos los signos restantes de la leyenda se refieren a formas o conjuntos morfológicos. Entre ellos las laderas tienen una importancia fundamental para las condiciones hidrográficas en la medida que ellas determinan la intensidad del escurrimiento. No menos importante es la permeabilidad de las rocas que condicionan la facilidad de la infiltración del agua en el suelo. Los signos adoptados tienen por objeto poner en evidencia este aspecto preciso y es la razón por la cual la leyenda no considera la génesis ni la edad de las formas. Contrariamente al uso común de las cartas geomorfológicas se insiste sobre las formas y el tipo de materiales que las componen.

Las cumbres de las montañas y las laderas determinan el sentido de escurrimiento. Se distinguieron las cumbres escarpadas de aquellas de formas suaves. Las laderas vecinas permiten deducir si se trata de roca descubierta o si ellas están ahogadas por depósitos detríticos. De esta manera hemos podido subrayar las condiciones que favorecen más o menos el escurrimiento y la infiltración como también aquellas que hacen posible la acumulación de la nieve. También procedimos a la división de las laderas en rocosas, donde la infiltración del agua está determinada fundamentalmente por la cantidad de fisuras, y laderas cubiertas de detritos, que presentan capacidades más o menos grandes para absorber agua.

Símbolos especiales señalan los conos de deyección que favorecen la infiltración de las aguas de escurrimiento debido a su composición detrítica. Al lado de las formas convexas y de las superficies inclinadas, distinguimos las formas planas aterrazadas. Utilizamos para este efecto un solo signo sin considerar edad ni altura absoluta o relativa de las terrazas. Despreciamos los pequeños fragmentos de las terrazas superiores, importantes desde el punto de vista morfogénico, pero sin gran significado para la circulación actual del agua. Tampoco tratamos de distinguir en detalle las terrazas de las superficies aplanadas en las partes inferiores de los conos, por cuanto desde el punto de vista de

la circulación del agua estos dos tipos de superficie juegan un papel semejante, lo que resulta del carácter muy similar de las formas y de su débil inclinación.

En lo que concierne a los terrenos planos de acumulación, tuvimos cuidado de marcar las eminencias de roca fundamental que atraviesan la capa de acumulación detrítica y que se distinguen de los sectores vecinos por su estructura y por su inclinación.

Entre las formas de acumulación tuvimos solamente las de tipo morrénico, distinguiendo aquellas laterales y frontales de aquellas de fondo. Ellas no difieren esencialmente de los conos si se considera exclusivamente sus materiales, pero la forma de aquellos materiales influye a menudo en el sentido del escurrimiento de las aguas superficiales.

Todas las formas de erosión sobre los conos fueron tratados globalmente sin distinción de forma o dimensión. Ellas concentran las aguas de precipitación y de fusión y su densidad es uno de los factores que deciden la rapidez del escurrimiento superficial. En el fondo de los valles y de las cuencas se distinguen además los lechos fluviales y en el caso de la presencia de depósitos de rodados, los lechos de estiaje.

Los símbolos introducidos clasifican los terrenos desde el punto de vista morfológico, pero es una clasificación específica que tiene por objeto una mejor comprensión de las condiciones hidrográficas. La cuestión que se plantea es la de saber si es suficiente la simple interpretación de las fotografías aéreas sin apoyo de investigación sobre el terreno.

No hay ninguna duda que las fotografías aéreas proporcionan una abundante información para el análisis hidrográfico. La ubicación de ciertos fenómenos tales como los depósitos de rodados, las formas de erosión lineal, canales de irrigación, glaciares, etc., pueden ser estudiados con mayor precisión sobre la fotografía aérea que sobre el terreno. Otros fenómenos, tales como los hielos muertos o antiguas líneas de escurrimiento de difícil detección en el campo se percibe fácilmente sobre la fotografía. De igual manera es posible obtener interesantes informaciones sobre la configuración del terreno y sobre el carácter del substrato. Pero la encuesta se torna difícil cuando se trata de caracterizar una cuenca desde el punto de vista de las posibilidades de escurrimiento y de infiltración.

Para dar cuenta del papel de esos procesos es indispensable disponer de informaciones suplementarias que son proporcionadas por estudios cartográficos especiales o, en caso de no existir éstos, por la observación del terreno. Es indudable que se puede deducir la permeabilidad de un terreno a partir de los antecedentes hidrográficos proporcionados por la fotografía, pero sólo el examen, aunque sea simplemente visual de esas cubiertas detríticas y de las rocas del substrato, permiten apreciar su influencia sobre la circulación del agua.

La fotografía aérea es todavía menos elocuente cuando se trata de fenómenos hidrográficos puros. Incluso su situación no se deja determinar con absoluta

certeza (pequeños torrentes, fuentes, etc.). La fotografía no denuncia caracteres tan esenciales como la pérdida de un río, el encajonamiento de su lecho, el tipo de sedimentos que se encuentran en él, los rasgos que hablan del carácter de los cursos de agua y del dinamismo de su acción. En resumen, ella constituye una fuente insuficiente en lo que se refiere al conocimiento de las condiciones del terreno para las necesidades de la hidrografía.

Al describir los sectores escogidos en la cuenca del Aconcagua nos percatamos de la existencia de lagunas en la información, lagunas que no se dejan llenar por breves investigaciones de terreno ni por la vía de la fotointerpretación, hecho que dificulta la solución del problema de la circulación del agua y del papel que le corresponde al agua en el medio geográfico. Se trata de fenómenos que requieren observaciones sistemáticas o investigaciones especiales. A título de ejemplo se pueden mencionar la cuestión de las precipitaciones en la alta montaña, de la cubierta nival y de los procesos de fusión de la nieve, aquel de la evaporación, de la influencia de los movimientos sísmicos sobre los fenómenos hidrográficos, de la influencia de la actividad humana sobre la erosión de los suelos. En los estudios monográficos; en particular aquellos de vastos territorios, las lagunas documentales son, por así decirlo, normales, y no deben amedrentar las tentativas de resolver los problemas. Esta observación vale también para el estudio hidrográfico de la cuenca del río Aconcagua. Lamentamos realmente no disponer de mayor antecedentes pero, al contentarnos con aquellas que hemos obtenido, lo que importa es decidir la manera más eficaz para tratarlos a fin de hacerlos rendir al máximo.

La tentativa que emprendimos permite verificar que las investigaciones fragmentarias en el terreno, conjuntamente con la interpretación de las fotografías aéreas, pueden proporcionar elementos necesarios para obtener una apreciación de la influencia de las condiciones del terreno sobre la circulación del agua y, unidos con los escasos informes hidrometeorológicos, llegar a una caracterización de las condiciones hidrográficas.

La fotografía aérea sola, o bien las investigaciones sobre el terreno realizados sobre sectores escogidos, sin ayuda de las fotografías, son incapaces de proveer bases para un estudio profundizado que comporten aspectos múltiples. Para tener una visión exacta de las condiciones que determinan la constitución de fenómenos hidrográficos es necesario dilucidar la naturaleza de las relaciones que se establecen entre esos fenómenos y el conjunto del medio geográfico, hecho más aprehensible en una investigación directa sobre el terreno. Una segunda condición indispensable consiste en disponer de una imagen espacial, lo que en el caso del territorio en cuestión no es posible sino a través de la fotografía aérea.

El artículo que presentamos es una contribución a la aplicación de este método a la totalidad de la cuenca del río Aconcagua donde se han hecho observaciones sobre el terreno y para el cual existen fotografías aéreas.